



Bundesamt  
für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe

# SEMFreS

Szenarien, Evaluation und Messtechnik bei Freisetzung  
chemischer und explosionsgefährlicher Stoffe

Forschung im  
Bevölkerungsschutz

**Band 25**





Bundesamt  
für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe

# Szenarien, Evaluation und Messtechnik bei Freisetzung chemischer und explosionsgefährlicher Stoffe (SEMFreS)

Forschung im Bevölkerungsschutz

Autoren:

Dr. Björn Ahrens

Dr. Uwe Annel

Matthias Drobig

Dr. Sven Ehlert

Thomas Forster

Dr. Anita Hausmann

Jan Heide

Marietta Näther

Michael Pütz

René Reiss

Joachim Ringer

Stephan Rosenkranz

Frank Schuppe

Dr. Klaus Urban

Thomas Wolf

Melanie Wolff

Prof. Dr. Ralf Zimmermann



**BBK.** Gemeinsam handeln. Sicher leben.

**Herausgeber**

Bundesamt für Bevölkerungsschutz  
und Katastrophenhilfe  
Postfach 18 67, 53008 Bonn  
Tel. +49 (0)228 99 550-0  
Fax +49 (0)228 99 550-1620  
www.bbk.bund.de

**Layout, Satz, Druck**

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG  
60386 Frankfurt am Main

**Bildnachweis**

Titelbild: BKA

© 2020 Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe  
ISBN-13: 978-3-939347-97-2

Der vorliegende Band stellt die Meinung der Autorinnen und Autoren dar und spiegelt nicht grundsätzlich die Meinung des Herausgebers.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist nur in den Grenzen des geltenden Urheberrechtsgesetzes erlaubt. Zitate sind bei

vollständigem Quellenverweis jedoch ausdrücklich erwünscht.

Dieses Werk darf ausschließlich kostenlos abgegeben werden. Weitere Exemplare dieses Buches oder anderer Publikationen des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe können Sie gerne beim Herausgeber kostenfrei anfordern.

# Inhalt

Abkürzungen	9
<b>1. Einleitung</b>	<b>13</b>
1.1 Zielsetzung	14
1.2 Projektaufbau	16
1.3 Vorgehensweise	18
<b>2. Allgemeiner Teil</b>	<b>19</b>
2.1 Erklärung der Leitbegriffe	20
2.2 Einführung in die mobile Messtechnik	24
2.2.1 <i>Prüfröhrchen</i>	25
2.2.2 <i>Colorimetrische Schnelltests</i>	28
2.2.3 <i>Halbleiter-Gassensoren</i>	32
2.2.4 <i>Infrarot-Gassensoren</i>	34
2.2.5 <i>Katalytische Wärmetönungssensoren (Ex-Sensoren)</i>	37
2.2.6 <i>Wärmeleitungs-Gassensoren</i>	40
2.2.7 <i>Elektrochemische Zellen (ECZ)</i>	41
2.2.8 <i>Flammenphotometrischer Detektor (FPD)</i>	44
2.2.9 <i>Photoionisationsdetektor (PID)</i>	46
2.2.10 <i>Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)</i>	49
2.2.11 <i>Raman-Spektroskopie</i>	54
2.2.12 <i>Infrarot-Spektroskopie (ATR-FTIR)</i>	60
2.2.13 <i>Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung</i>	66
2.2.14 <i>Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)</i>	72
2.2.15 <i>Gaschromatographie-Massenspektrometer-Kopplung (GC-MS)</i>	78

<b>3.</b>	<b>Freisetzungsszenarien</b>	<b>85</b>
3.1	Aufbau und Allgemeines	86
3.2	Einsatzmöglichkeiten von Messtechnik	88
3.2.1	<i>Transportunfall</i>	93
3.2.2	<i>Anlagenhavarie</i>	97
3.2.3	<i>Überwachung Großveranstaltungen</i>	102
3.2.4	<i>Güterkontrolle</i>	111
3.2.5	<i>Illegale Entsorgungsplätze</i>	116
3.2.6	<i>Kampfstofffreisetzung</i>	121
3.2.7	<i>Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung (USBV)</i>	126
3.2.8	<i>Aufspüren eines illegalen Labors</i>	128
3.2.9	<i>Sicherstellung illegales Labor</i>	130
<b>4.</b>	<b>Evaluation von Messtechnik</b>	<b>141</b>
4.1	Allgemeine Geräteevaluation	144
4.1.1	<i>Colorimetrie</i>	144
4.1.2	<i>Photoionisation</i>	153
4.1.3	<i>Ionenmobilitätsspektrometrie (Gase und Dämpfe)</i>	154
4.1.4	<i>Ionenmobilitätsspektrometrie (Explosivstoffe und Betäubungsmittel)</i>	157
4.1.5	<i>Flammenphotometrie</i>	162
4.1.6	<i>Raman-Spektroskopie</i>	164
4.1.7	<i>Infrarot-Spektroskopie mit abgeschwächter Totalreflexion</i>	169
4.1.8	<i>Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung</i>	174
4.1.9	<i>Röntgenfluoreszenzanalyse</i>	177
4.1.10	<i>Gaschromatographie/Massenspektrometrie-Kopplung</i>	179
4.2	Evaluation unter Laborbedingungen	182
4.2.1	<i>Colorimetrische Schnelltests</i>	182
4.2.2	<i>Photoionisation</i>	187
4.2.3	<i>IMS für Gase und Dämpfe</i>	203
4.2.4	<i>IMS für Explosivstoffe und Betäubungsmittel</i>	208
4.2.5	<i>Flammenphotometrischer Detektor</i>	216
4.2.6	<i>Raman-Spektrometer</i>	218
4.2.7	<i>ATR-FTIR-Spektroskopie</i>	227
4.2.8	<i>Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung</i>	232

4.3	Evaluation unter Realbedingungen	236
4.3.1	<i>Prüfröhrchen</i>	239
4.3.2	<i>Colorimetrische Schnelltests</i>	242
4.3.3	<i>Photoionisationsdetektor (PID)</i>	255
4.3.4	<i>Ionenmobilitätsspektrometer</i>	259
4.3.5	<i>Raman-Spektroskopie</i>	264
4.3.6	<i>ATR-FTIR-Spektroskopie</i>	267
4.3.7	<i>Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung</i>	269
4.3.8	<i>GC-MS</i>	281
<b>5.</b>	<b>Entwicklung von innovativen Probenahmetechniken für den Feldeinsatz</b>	<b>293</b>
5.1	Aufgabe und Zielsetzung	294
5.2	Umgebungsdruck-Laserdesorption (APLD)	295
5.3	Entwicklung einer Desorptionseinheit	300
<b>6.</b>	<b>Anhänge</b>	<b>303</b>
6.1	Anhang 1: Chemische Kampfstoffe	304
6.1.1	<i>Allgemeines</i>	304
6.1.2	<i>Kampfstoffgruppen und deren Eigenschaften</i>	306
6.1.2.1	<i>Nervenschädigende Kampfstoffe</i>	307
6.1.2.2	<i>Hautschädigende Kampfstoffe</i>	309
6.1.2.3	<i>Lungenschädigende Kampfstoffe</i>	311
6.1.2.4	<i>Blutkampfstoffe</i>	313
6.1.2.5	<i>Psychotoxische Kampfstoffe</i>	314
6.1.3	<i>Historie</i>	316
6.1.3.1	<i>Anwendung nervenschädigender Kampfstoffe</i>	316
6.1.3.2	<i>Anwendung hautschädigender Kampfstoffe</i>	317
6.1.3.3	<i>Anwendung lungenschädigender Kampfstoffe</i>	317
6.1.3.4	<i>Anwendung von Blutkampfstoffen</i>	317
6.1.3.5	<i>Anwendung psychotoxischer Kampfstoffe</i>	318
6.1.4	<i>Zusammenfassung</i>	318
6.2	Anhang 2: Ausgefüllte Evaluationsbögen	319
6.3	Anhang 3: Ergebnisse der Laborevaluation	550

6.4	Anhang 4: Tests zur Bedienbarkeit ausgewählter Geräte	566
6.5	Anhang 5: Ergebnisse der Messkampagne BKA	577
	Abbildungsverzeichnis	584
	Tabellenverzeichnis	587
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>591</b>
<b>8.</b>	<b>Bisherige Publikationen</b>	<b>599</b>



# Abkürzungen

%	Prozent
<	Kleiner als
>	Größer als
°C	Grad Celsius
<b>ABC</b>	Atomar, biologisch, chemisch
<b>ADR</b>	Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route (deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
<b>AEGL-Werte</b>	Acute Exposure Guideline Levels (deutsch: Störfallbeurteilungswert aus den USA)
<b>AGBF</b>	Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in Deutschland
<b>AltöIV</b>	Altölverordnung
<b>AltholzV</b>	Altholzverordnung
<b>ATF</b>	Analytische Task Force
<b>AVV</b>	Abfallverzeichnisverordnung
<b>BAG</b>	Bundesamt für Güterverkehr
<b>BAM</b>	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
<b>BBK</b>	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
<b>BG Verkehr</b>	Berufsgenossenschaft Verkehr
<b>BImSchV</b>	Bundesimmissionsschutzverordnung
<b>BKA</b>	Bundeskriminalamt
<b>BOS</b>	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsfunktion
<b>BtM</b>	Betäubungsmittel

<b>BZ</b>	Benzilsäureester
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>CAS</b>	Chemical Abstracts Service
<b>CBRN</b>	Chemisch, biologisch, radiologisch, nuklear
<b>C-Dienst</b>	Führungsdienst in der Feuerwehr (gemäß landesinternen Regelungen, oft Ebene Zugführer)
<b>CSA</b>	Chemische Schutzausrüstung
<b>CTU</b>	Cargo Transport Unit (deutsch: Beförderungseinheiten)
<b>CWA</b>	Chemische Kampfstoffe
<b>CWÜ</b>	Chemiewaffen-Übereinkommen
<b>d. h.</b>	das heißt
<b>DART</b>	Direct analysis in real time
<b>DESI</b>	Desorption electrospray ionisation
<b>DESI-MS</b>	Desorption electrospray ionisation – mass spectrometry
<b>ECHA</b>	European Chemicals Agency
<b>ECZ</b>	Elektrochemische Zellen
<b>ETW-4</b>	Einsatztoleranzwert für 4 h, gemäß vfdb-Richtlinie 10/01
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>evtl.</b>	eventuell
<b>Ex-Meter</b>	Explosions-Messgerät
<b>FPA</b>	Focal Plane Array
<b>FPD</b>	Flammenphotometrischer Detektor
<b>FTIR</b>	Fourier-Transform-Infrarotspektrometer
<b>GC-MS</b>	Gaschromatograph, gekoppelt mit Massenspektrometer
<b>HI 90</b>	Hyperspectral Imaging System
<b>HL</b>	Halbleiter

<b>i. a. R.</b>	in aller Regel
<b>i. d. R.</b>	in der Regel
<b>IC</b>	Schwellenwert
<b>IBK</b>	Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge
<b>IMS</b>	Ionenmobilitätsspektrometer
<b>IR-ATR</b>	Infrarot-Spektroskopie mit abgeschwächter Totalreflexion (attenuated total reflection)
<b>KrWG</b>	Kreislaufwirtschaftsgesetz
<b>LC</b>	Letale Konzentration
<b>LD</b>	Letale Dosis
<b>LKA</b>	Landeskriminalamt
<b>LKA KT</b>	Landeskriminalamt Kompetenzzentrum Kriminaltechnik
<b>LSD</b>	Lysergsäurediethylamid
<b>MAK</b>	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
<b>mg*l<sup>-1</sup></b>	Milligramm pro Liter
<b>mg*min*m<sup>-3</sup></b>	Milligramm mal Minute pro Kubikmeter
<b>N-Lost</b>	Stickstoff-Lost
<b>NO<sub>2</sub>-Werte</b>	Stickstoffdioxid-Werte
<b>NO-Gehalte</b>	Stickstoffmonoxid-Gehalte
<b>NWG</b>	Nachweisgrenze
<b>OEG</b>	Obere Explosionsgrenze
<b>OStrV</b>	Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung
<b>PID</b>	Photoionisationsdetektor
<b>ppb</b>	parts per billion
<b>ppm</b>	parts per million
<b>PSI</b>	Prepress sample introduction

---

<b>QCL</b>	Quantum Cascade Laser
<b>Raman</b>	Physiker C. V. Raman
<b>RFA</b>	Röntgenfluoreszenzanalyse
<b>RID</b>	Ordnung internationaler Eisenbahnbeförderung gefährlicher Güter
<b>RTW</b>	Rettungswagen
<b>S-Lost</b>	Schwefel-Lost
<b>SIFT-MS</b>	Selected ion flow tube – mass spectrometry
<b>SIGIS</b>	Scanning infrared gas imaging system
<b>SPME</b>	Solid phase micro extraction
<b>TRGS</b>	Technische Regeln für Gefahrstoffe
<b>UEG</b>	Untere Explosionsgrenze
<b>UR</b>	Universität Rostock
<b>USB</b>	Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung
<b>vfdb</b>	Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
<b>ol.-%</b>	Volumenprozent
<b>VX</b>	VX
<b>WIS</b>	Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz
<b>z. B.</b>	zum Beispiel

---

Einleitung

1

Die hohe Verfügbarkeit von Industriechemikalien und die unter Umständen gravierenden Auswirkungen bei unbeabsichtigter oder beabsichtigter Freisetzung sowie das erhebliche Schadenspotenzial von Explosivstoffen stellen Behörden vor die Aufgabe, solche Stoffe mit geeigneter Messtechnik in unterschiedlichsten Situationen zuverlässig detektieren und identifizieren zu können. Allein in Deutschland wurden im Jahr 2016 über 290 Millionen Tonnen Gefahrgüter auf den Verkehrswegen Straße, Binnen- sowie Seeschifffahrt transportiert [1].

Dies gilt unter Erweiterung der Betrachtungsweise umso mehr für den Sicherheitsbereich, da hier die sichere Detektion und Identifikation von chemischen Kampfstoffen, zum Missbrauch geeigneten sehr giftigen und/oder persistenten Industriechemikalien und von synthetischen Drogen sowie deren Vorläufersubstanzen einen essenziellen Beitrag zum Schutz der Bevölkerung, aber auch der eingesetzten Kräfte der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) liefern.

Behörden und Endnutzer, die mit der Prävention und Abwehr von Gefahren durch diese CE-Stoffe befasst sind, stehen vor der Aufgabe, die für ihre Zwecke geeignete Messtechnik auszuwählen. Der Markt bietet hier eine Vielzahl von unterschiedlichen Messgeräten und auch Messverfahren an, die auf ihre Eignung für das jeweilige Einsatzszenario beurteilt werden müssen.

Das Ziel des Projekts SEMFreS war es, diese Auswahl für den nicht wissenschaftlich mit der Thematik befassten Endnutzer einfacher zu gestalten, indem er ausgehend von einem Freisetzungsszenario und einem dazugehörigen Evaluierungsschema ein seinen Anforderungen genügendes Messgerät auswählen kann. Im Projekt wurden hierzu nach Vorgaben der beteiligten BOS relevante Freisetzungsszenarien für ausgewählte Industriechemikalien, chemische Kampfstoffe und Explosivstoffe, durch kriminelle Handlungen induzierte oder unfallbedingte Freisetzungen, präventive oder gefahrenbeseitigende Ansätze erfasst. Ausgehend von den Szenarien wurden geeignete Evaluierungsschemata erstellt, die den Belangen der Endnutzer genügen. So sollte der benötigte lagebezogene Informationsbedarf für Führungsentscheidungen und die Berücksichtigung im Planungs- und Entscheidungsprozess bei der Einsatzbewältigung, die Handhabbarkeit im Einsatz, das Ausbildungsniveau der Bediener und die analytische Leistungsfähigkeit miteinbezogen werden. Die jeweiligen Evaluierungsschemata wurden unter Zuhilfenahme von auf dem

Markt verfügbarer Messtechnik auf ihre Aussagekraft und den Nutzen für die Endnutzer hin überprüft und weiter verfeinert.

Um die unterschiedlichen Sicherheitsbereiche abbilden zu können, schlossen sich im Projektkonsortium verschiedene Sicherheitsbehörden und Organisationen zusammen.

Die Federführung übernahm das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK). Das BBK in Bonn leitete die Koordinierung der Evaluierungsaktivitäten im Bereich toxischer Industriechemikalien (TIC) unter Einbindung relevanter Endnutzer und führte Evaluierungstests an Messtechnik im eigenen Laboratorium durch. Auch die Spezifizierung von Gasproben und möglicher Kontrollanalytik waren Aufgabenbestandteil des BBK.

Das Institut für Brand- und Katastrophenschutz in Heyrothsberge (IBK) wurde in die Szenarienbeschreibung und in die Recherche zu Gefahrguttransporten und -wegen eingebunden. Weiterhin erarbeitete das IBK Freisetzungsszenarien von Gefahrgut mit unterschiedlichen Folgeereignissen. Da das IBK über Infrastruktur verfügte, mittels derer Chemikalien und typische Brandprodukte gefahrlos freigesetzt werden konnten, wurde eine der drei Messkampagnen vom IBK geplant und durchgeführt, um Auswirkungen dieser Chemikalien auf unterschiedliche Messtechnik zu untersuchen.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin leistete einen Teil der Evaluierungsaktivitäten im Bereich der Explosivstoffe. Mit großem fachlichem Sachverstand im Bereich der Einstufung und Kennzeichnung von Sicherheitsgrößen diente sie als Ansprechpartner für das Projektkonsortium. Darüber hinaus wurden kommerziell nicht verfügbare Referenzgasgemische zu Testzwecken bereitgestellt. Zugleich konnten auf dem Testgelände Technische Sicherheit (TTS) in der zweiten Messkampagne reale Szenarien unter Verwendung toxischer Industriechemikalien und Explosivstoffe demonstriert werden.

Das Landeskriminalamt Berlin (LKA Berlin) konnte mit seinem im Kompetenzzentrum Kriminaltechnik angesiedelten Sachgebiet: „Umwelt- und Explosivstoffanalytik“ auf eine vielfältige mobile Analytik zugreifen. Als Standort der Analytischen Task Force C-RN brachte sich das LKA Berlin durch vielschichtige Einsatzerfahrung sowie wissenschaftliche Expertise in das Projekt ein. Das LKA Berlin beteiligte sich aktiv an der Szenarientwicklung sowie an der Geräteevaluation.



Das Bundeskriminalamt (BKA) in Wiesbaden übernahm die Koordinierung der Test- und Evaluierungsaktivitäten im Bereich der Betäubungsmittel und Explosivstoffe. Die Organisation der dritten Messkampagne zum Einsatzszenario „illegales Labor“ mit dem Bestandteil von Messungen unter Realbedingungen oblag dem BKA. Es fungierte als Verbindungsstelle zu Zollbehörden sowie der gemeinsamen Grundstoffüberwachungsstelle.

Das Wehrwissenschaftliche Institut für Schutztechnologien – ABC-Schutz (WIS) in Munster stellte Messergebnisse chemischer Kampfstoffe von Testmessungen an unterschiedlicher Messtechnik zur Verfügung. Bei der Erarbeitung von Szenarien und Evaluierungsschemata übernahm das WIS die Rolle als Experteninstitution für Kampfstoffe und beteiligte sich aktiv an der Geräteevaluation. Der Anhang 1 zum Thema chemische Kampfstoffe wurde ebenfalls vom WIS erstellt.

Die Branddirektion Frankfurt übernahm als Mandatsträger der Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in Deutschland (AGBF Bund) eine assoziierte Partnerschaft. Die AGBF stellte einen Endnutzer aus dem Bereich Feuerwehr dar. Messtechnisch sehr gut ausgestattet, konnte sie operativ-taktische sowie wissenschaftliche Erkenntnisse beitragen. Zusätzlich unterstützte die AGBF die Arbeiten zur Definition der Szenarien, Evaluationsschemata und Ziele im Projekt SEMFreS.

Die Universität Rostock, speziell der Lehrstuhl für Analytische Chemie, befasst sich seit Jahren mit der Entwicklung von Nachweismethoden für Gefahr- und Explosivstoffe im Spurenbereich. Zudem konnte das Projekt durch relevante Forschungserfahrungen in den Bereichen Probenahme von Gas-, Flüssig- und Festphasen, entsprechenden Anreicherungs- und Trennverfahren (z. B. GC, SPME) und den jeweiligen Kopplungstechniken zu ionenselektiven Nachweisgeräten wie Massenspektrometern und Ionenmobilitätsspektrometern profitieren. Ziel in diesem Projekt war die Entwicklung der feldtauglichen Probenahme für mittel- und schwerflüchtige Stoffe als Anhaftung an Oberflächen. Zusätzlich wurde eine Anreicherungseinheit zur Aufkonzentration leichtflüchtiger Stoffe im Gasphasenbereich entwickelt. Für die Erprobung dieser Techniken nahm die Universität Rostock an den drei Messkampagnen im Projekt SEMFreS teil.

Im allgemeinen Teil (Kapitel 2) wurde die zur Verfügung stehende mobile Messtechnik von den Projektteilnehmern ausgewählt. Um dem Leser einen kurzen Überblick über die unterschiedlichen Messtechniken zu geben, wurden diese und das zugrunde liegende Messprinzip beschrieben. Gleichzeitig erfolgte eine Sortierung nach Komplexität der jeweiligen Messtechnik.

Im Kapitel „Freisetzungsszenarien“ wurden unterschiedliche Modelle zur Abfolge möglicher Ereignisse mit chemischen oder explosiven Stoffen erstellt, die für die Endnutzer wichtige Aspekte enthalten. Die im Einsatz zur Lagebewältigung benötigten Informationen variieren je nach Aufgaben- und Problemstellung; mit Hilfe dieser Modelle kann ein passendes Messgerät oder die Kombination verschiedener Messgeräte für die jeweilige Lage bzw. Situation und den Informationsbedarf bestimmt werden. Aus einem Szenario können anschließend ein oder mehrere Evaluationsschemata für verschiedene Typen von Messgeräten abgeleitet werden.

Im Kapitel „Evaluation von Messtechnik“ erfolgt die systematische Bewertung der ausgewählten Messtechnik nach den erarbeiteten Schemata. Die Arbeiten umfassen theoretische Tests, Laboruntersuchungen sowie Untersuchungen unter Realbedingungen.

Im letzten Kapitel werden die Forschungsergebnisse der Universität Rostock zusammenfassend beschrieben.

# Allgemeiner Teil

2

Häufig sind die Begriffserklärungen so verfasst, dass die Erklärung selbst weiterer Ausführungen bedarf. Um das zu vermeiden, wurde die Umschreibung der zentralen Begriffe kompakt und verständlich gewählt. Der Bezug zum Projekt SEMFreS wird deutlich und mögliche Interpretationsspielräume werden eingeschränkt.

Folgende Leitbegriffe finden sich im gesamten Text wieder und bilden ein grundlegendes Verständnis für das Projektthema:

### **Messung**

Das experimentelle Bestimmen einer Messgröße (z. B. Konzentration), der eine Einheit (z. B. g/l) zugrunde gelegt wird.

### **Detektion (Spüren)**

Oberbegriff für sämtliche Methoden, bei denen ein Zielstoff mittels geeigneter Technik entdeckt und verfolgt/lokalisiert werden kann. Moderne physikalische, chemische, elektrochemische oder optische Methoden nutzende Detektoren verbinden die reine Ja/Nein-Aussage mit weiteren Informationen, z. B. mit einem konzentrationsabhängigen Messwert eines Stoffes oder einer Stoffgruppe. Es kann jedoch keine genaue Aussage über die Identität des Stoffes getroffen werden. Ein angezeigter Messwert entspricht deshalb nicht notwendigerweise der tatsächlich vorhandenen Konzentration des vorliegenden Stoffes.

### **Identifikation**

Feststellung der völligen Übereinstimmung der gemessenen physikalisch-chemischen Daten eines Analyten mit den in einer Datenbank hinterlegten Stoffinformationen entsprechender Referenzsubstanzen. Geeignete Datenbanken werden i. d. R. von den Geräteherstellern für unterschiedliche Anwendungen kostenpflichtig zur Verfügung gestellt.

## **Analysieren (in Anlehnung an die vfdb-Richtlinie 10/05)**

Identifizierung eines unbekanntes Stoffes, der als Reinstoff, Zubereitung oder Gemisch in allen Aggregatzuständen an der Einsatzstelle vorkommen kann. Dieser Stoff lässt sich nur mit komplexer Gerätetechnik direkt vor Ort oder durch die Aufbereitung von Proben im Labor identifizieren.

## **Analyse/Analytik**

Oberbegriff für sämtliche Untersuchungsmethoden zur Klärung des Charakters einer Probe sowie der dazu notwendigen Aufbereitungsschritte.

## **Qualitative Analyse**

Feststellung des grundsätzlichen Charakters eines Stoffes oder Stoffgemisches bis hin zur Benennung seiner einzelnen Bestandteile ohne exakte mengenmäßige Bestimmung.

## **Quantitative Analyse**

Feststellung der exakten mengenmäßigen Bestimmung (Konzentrationen) der einzelnen Komponenten eines Stoffgemisches mit Hilfe geeigneter validierter (geprüfter) Laborverfahren. Die Analyse kann auf bestimmte Komponenten begrenzt sein.

## **Nachweis**

Ist die eindeutige Bestätigung des Vorhandenseins einer Substanz aufgrund einer Identifikation oder Analyse

## **Querempfindlichkeit**

Wird das Anzeigeverhalten des Messgeräts bezüglich eines Zielanalyten durch einen oder mehrere andere aktuell vorliegende Stoffe beeinflusst, wird von Querempfindlichkeit gesprochen. Diese Beeinflussung reicht von einer Veränderung der angezeigten Konzentration bis hin zu einer völligen Fehlidentifikation.

### **Nachweisgrenze**

Die niedrigste Menge eines bestimmten Stoffes, bei der dessen Vorhandensein als bestätigt gilt.

### **Standardabweichung**

Die durchschnittliche Entfernung der einzelnen Messwerte von dem Mittelwert des zu erwartenden Messwertes.

### **Mobile Analytik**

Es handelt sich um analytische Verfahren, die ortsungebunden durchführbar sind. Bei der mobilen Analytik kommt es im Vergleich zur Laboranalytik aufgrund von gerätespezifischen Modifikationen und vereinfachter Probenaufbereitung, in der Regel zu Qualitätseinbußen.

### **Messmethode**

Es ist eine auf Regeln beruhende, definierte Vorgehensweise zur Ermittlung von Messwerten.

### **Messprinzip**

Es unterliegt naturwissenschaftlichen Voraussetzungen bzw. Gesetzmäßigkeiten (Ionenmobilität bei Ionenmobilitätsspektroskopie, Röntgenfluoreszenz bei Röntgenfluoreszenzanalyse), die eine Erfassung bestimmter Größen ermöglichen.

### **Messverfahren**

Ein zugrunde liegendes Messprinzip sowie eine mögliche Messmethode bilden durch die Nutzung technischer Lösungen (Messgeräte) das Messverfahren.

## **Messtechnik**

Gesamtheit der Messverfahren und -geräte zur experimentellen Bestimmung und Verarbeitung zahlenmäßig erfassbarer Größen.

## **Geräteklasse**

Gesamtheit der Geräte, die dasselbe Messprinzip zum Erhalt von Messergebnissen nutzen.

## **Evaluation**

Das methodische Bewerten von Messtechnik nach ausgewählten Kriterien.

Das Thema Messtechnik ist ein sehr breites Feld, wobei im Projekt SEMFreS ausschließlich auf die mobile Messtechnik verschiedener Sicherheitsorganisationen eingegangen wird. Als „mobil“ werden alle Messgeräte verstanden, die an die Schutz- oder Arbeitskleidung angebracht werden, handgeführt oder in Fahrzeugen und ortsveränderbaren Einrichtungen betrieben werden können. Aufgrund der höheren Anforderung in den Punkten Robustheit, Kompaktheit und schneller Transport ist die mobile Messtechnik in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Empfindlichkeit häufig nicht mit Laborgeräten, die in definierten und sauberen Umgebungen sowie an festen Plätzen betrieben werden, zu vergleichen.

Neben Geräten, die ausschließlich ein Messprinzip anwenden, besteht die Möglichkeit, mehrere Messprinzipien in einem Kombinationsgerät zu verwenden. Aufeinander abgestimmte Messprinzipien können in einem solchen Gerät eine höhere Informationstiefe mit nur einer Messung über die Probe liefern. Demgegenüber stehen jedoch auch ein wesentlich höherer Anschaffungspreis und eine intensivere Schulung der Anwender sowie der Ausfall aller Messprinzipien bei Reparatur oder Wartung. Im Projekt SEMFreS wird ausschließlich auf Messgeräte, die ein Messprinzip nutzen, eingegangen.

Aber auch bei Vorhandensein mehrerer Einzelgeräte mit unterschiedlichen Messprinzipien ist es vorteilhaft, die erhaltenen Messergebnisse durch ein zweites Messprinzip zu überprüfen. So ergänzen sich z. B. die Raman- und die IR-Spektroskopie, daraus resultieren belastbarere Messergebnisse.

Spielt beim Betreiben des Gerätes der Arbeitsschutz eine wesentliche Rolle (z. B. durch Nutzung ionisierender oder optischer Strahlung), fallen regelmäßige Unterweisungen und Wartungen für das entsprechende Gerät an. Auch im Rahmen der Gerichtsverwertbarkeit von Ergebnissen müssen eventuell bestimmte zusätzliche Prüfungen berücksichtigt werden. Vor allem ist in diesem Fall die Einhaltung der Wartungs- bzw. Service-Intervalle zwingend erforderlich.

Zu Beginn des Kapitels wird detektierende, unspezifische Messtechnik (Prüfröhrchen, Wärmeleitungs-Gassensoren) beschrieben. Im weiteren Verlauf wird auf die identifizierende Messtechnik (elektrochemische Zellen, Infrarot-Spektroskopie) eingegangen, schließlich erfolgt die Beschreibung der beiden speziellen



Analysentechniken Fernerkundung sowie Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Kopplungen. Der einheitliche Aufbau der einzelnen Messtechnik-Beschreibungen ermöglicht dem Leser einen kompakten anwenderorientierten Überblick. Es soll dem zukünftigen Anwender jedoch auch verdeutlichen, dass mit höherer Leistungsfähigkeit und Aussagekraft der Geräte auch gesteigerte Anforderungen an den Nutzer einhergehen.

### 2.2.1 Prüfröhrchen

Kurzbeschreibung:	Nachweis konkreter Substanzen aus der Umgebungsluft durch chemische Reaktionen und daraus resultierendem, charakteristischem Farbumschlag
Messtaktische Einsatzbreite:	primär: Quantifizierung; sekundär: Detektion und Identifikation
Standardmessbereich:	ppm (... Vol.-%)
Aggregatzustand:	gasförmig
Personalanforderung:	gering, Einweisung erforderlich
Querempfindlichkeiten:	i. d. R. bekannt und vermerkt

### Prinzip

Ein Prüfröhrchen besteht aus einem Glasrohr und dem darin enthaltenen Trägermaterial für Reagenzien zum Nachweis der Zielsubstanz. Eine auf das Prüfröhrchen abgestimmte Pumpe fördert eine definierte Menge des Prüfgases durch das Prüfröhrchen. Die Reagenzien im Prüfröhrchen reagieren bei Kontakt mit der zu messenden Substanz in der Probenluft und zeigen einen Farbumschlag an. Der Aufbau der Prüfröhrchen richtet sich nach der zu messenden Substanz und dem zu bestimmenden Konzentrationsbereich. Die Kontaktzeit wird durch den Strömungswiderstand und die Länge der Reaktionsschicht bestimmt. [2]

### Messung

Quantitative Prüfröhrchen für die aktive Probenahme werden zur Messung von Momentankonzentrationen eingesetzt. Vor der Messung müssen die Enden des

Prüfröhrchens abgebrochen werden. Gegebenenfalls müssen noch weitere Operationen durchgeführt werden, wie z. B. das Brechen einer Ampulle im Röhrchen oder das Schütteln des Röhrchens.

Die Messzeit ist abhängig von der Auslegung des Röhrchens (Hersteller) sowie stoffabhängig (Hubzahl). Zum Teil ist bei definierter Minderung des Hubvolumens ein höherer Konzentrationsbereich quantitativ zugänglich.

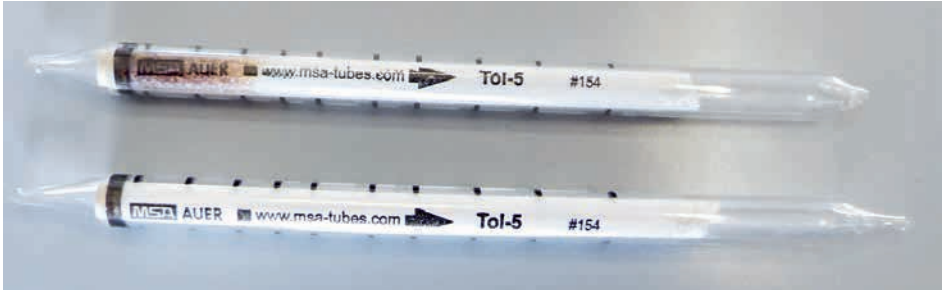
## **Auswertung**

Ein Farbumschlag zeigt die Anwesenheit der Zielsubstanz an, je weiter der Farbumschlag im Prüfröhrchen fortschreitet, desto höher ist die Konzentration wie in Abbildung 1 deutlich wird. Das Prüfröhrchen sollte während der Messung beobachtet werden, um ein vollständiges Verfärben zu erkennen. Zudem muss das Ablesen zeitnah erfolgen, da sich die Verfärbung im Laufe der Zeit verändert. [3] Die Bewertung ist bei ausreichender Beleuchtung, einem hellen Hintergrund und durch den Vergleich mit einem ungebrauchten Röhrchen durchzuführen. Der Farbumschlag sollte möglichst scharf sowie quer zur Strömungsrichtung verlaufen.

## **Hinweise für den Anwender**

Entscheidende Informationen wie Skalierung, Prüfröhrchenbezeichnung, Hubzahl, Maßeinheit und Richtungspfeil sind auf dem Prüfröhrchen seitlich aufgedruckt. [4]

Prüfröhrchen können nach dem Abbrechen der Spitzen eingesetzt werden und liefern schnelle Informationen. Von Vorteil sind Kenntnisse des verwendeten Systems und Erfahrung im Umgang mit Prüfröhrchen. Ein chemisches Grundlagenwissen unterstützt die Berücksichtigung von Querempfindlichkeiten, d. h. Reaktionen mit anderen Substanzen als der Zielsubstanz. Trainerröhrchen bzw. Trainingssets ermöglichen es, den Umgang mit Prüfröhrchen realitätsnah zu üben. [5]



**Abbildung 1:** Prüfröhrchen, oben: beprobt, unten: neu  
Quelle: BBK

## Grenzen der Messtechnik

Prüfröhrchen sind ein relativ unspezifisches Messmittel. Die zugrunde liegenden Farbreaktionen zeigen i. a. R. auch weitere Stoffe an. Querempfindlichkeiten werden im beiliegenden Datenblatt mehr oder weniger umfänglich benannt, z. T. sogar quantifiziert, sodass das Prüfröhrchen auch zur Messung weiterer Stoffe eingesetzt werden kann (Mehrstoff-Prüfröhrchen).

Um ein Einzelstoffröhrchen zum Stoffnachweis einsetzen zu können, muss daher eine Vorinformation zum freigesetzten Stoff vorliegen. Bei Stoffgemischen kann es aufgrund von Querempfindlichkeiten zu Fehlern kommen (falsch positiver Nachweis, zu hohe Konzentration, undeutlicher Farbumschlag u. a.). Das Vorliegen von Störstoffen muss ausgeschlossen werden. Auch wenn diese bekannt sind und entsprechende Prüfröhrchen für diese Stoffe vorliegen, kann die Störkonzentration oft nur ungenau von der Konzentration der Zielkomponente abgezogen werden. Für den Abzug gelten i. a. R. enge Konzentrationsgrenzen.

Mit dieser Messtechnik erhält man Konzentrationsinformationen eines Schadstoffes nur punktuell. Die erhaltenen Konzentrationen sind daher nur Momentaufnahmen einer Situation. Hinzu kommen Standardabweichungen von bis zu 30 %, die in der Praxis durch Einflüsse von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Druck noch einmal erhöht werden. Sodass das Messverfahren in der Praxis nur halbquantitative Ergebnisse liefert, d. h., mit Messfehlern von  $\pm 50\%$  zu rechnen ist. Dies ist jedoch unter Berücksichtigung der ohnehin starken Schwankungen und der Ortsabhängigkeit der Schadgaskonzentrationen an Einsatzorten zur Lagebewertung akzeptabel.

## Anwendungsmöglichkeiten/Zubehör

- Nachweis von Brand- und Zersetzungsgasen, organischen Dämpfen sowie Kampfstoffen durch Simultanbeprobung verschiedener Röhrchen mittels Gasteiler
- Einsatz spezieller Sonden verbessert Zugänglichkeit von Messorten (z. B. Containern oder Kanälen), hierfür wird Sonde mit Prüfröhrchen verbunden
- Mit Gaswaschflasche, Glas- und Aktivkohlefilter können aus Flüssigkeiten gelöste flüchtige Schadstoffe extrahiert werden; Schadstoff anschließend mit Prüfröhrchen beproben
- Durch Vorwärmen mit einer Heißluftsonde können Prüfröhrchen auch bei Gasen mit Temperaturen > 50 °C eingesetzt werden
- Prüfröhrchen als Diffusionsröhrchen – kann für Langzeitmessungen z. B. zur Sicherstellung des Arbeitsschutzes herangezogen werden [6]

### 2.2.2 Colorimetrische Schnelltests

Kurzbeschreibung: Vor Ort Spurennachweis von möglichen Explosivstoffen und Vorläufersubstanzen über chemische Reaktionen

Messtaktische Einsatzbreite: primär: Detektion, sekundär: Identifizierung

Standardmessbereich: µg

Aggregatzustand: flüssig und fest

Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

Querempfindlichkeiten: ja

Sicherheitsaspekt: Erfahrung im Umgang mit Chemikalien (testabhängig)

## Prinzip

Tabelle 1 zeigt die Unterteilung von Explosivstoffen und deren Vorläufersubstanzen in Gruppen.

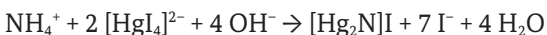
**Tabelle 1:** Einteilung von Explosivstoffen

Explosivstoffgruppe	Nachweis von	Beispiel
Nitroaromaten	Aromatische Nitrogruppe	TNT, 2,4 DNT, Tetryl, Pikrinsäure
Nitramine und Salpetersäureester	Nitrit (indirekt)	RDX, HMX, PETN, NG
Nitrat-basierte Explosivstoffe	Nitrat (indirekt)	Ammoniumnitrat, Harnstoffnitrat (Ureanitrat), Kaliumnitrat
Ammonium-basierte Explosivstoffe	Ammonium	Ammoniumnitrat, Ammoniumperchlorat
Harnstoff (Ureanitrat)	Ureanitrat	Ureanitrat
Chlorat-basierte Explosivstoffe	Chlorat	Kaliumchlorat
Perchlorat-basierte Explosivstoffe	Perchlorat	Ammoniumperchlorat, Kaliumperchlorat
Peroxid-basierte Explosivstoffe	Peroxid	HMTD, TATP, Wasserstoffperoxid

Anmerkung: Eine Erklärung der Abkürzungen ist in Kapitel 4.2.4 zu finden.

Die einzelnen Explosivstoffe werden über ihre charakteristischen Stoffgruppen oder Ionen anhand von chemischen Reaktionen nachgewiesen. Nur selten wird, wie bei Harnstoff (Ureanitrat), der Explosivstoff direkt nachgewiesen. Es kommen verschiedene Chemikalien, unterschiedlich stark konzentriert, zum Einsatz. Die Tests basieren auf Farbreaktionen der „klassischen“ analytischen Chemie.

Als Beispiel sei hier eine mögliche Nachweisreaktion von Ammonium aufgeführt:



Die Ammonium-Ionen ( $\text{NH}_4^+$ ) reagieren mit dem Neßler Reagenz (Kaliumtetraiodomercurat,  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ ) in alkalischer Lösung zu einem schwerlöslichen Iodid ( $[\text{Hg}_2\text{N}]\text{I}$ , Iodsalz der Millonschen Base), Iodid ( $\text{I}^-$ ) und Wasser. Das schwerlösliche Iodid fällt als braun-gelber Niederschlag aus. Mit dem Farbumschlag ergibt sich ein

möglicher Hinweis auf Ammonium-basierte Sprengstoffe, wie in Abbildung 2 zu sehen ist.



**Abbildung 2:** Positiver Ammoniumionen-Nachweis; Testsatz: IDenta  
Quelle: WIS

## Messung

Substanzproben werden über sterile oder unsterile Wischproben erhalten. Die Wischbeprobung kann unterschiedlich erfolgen und ist testabhängig, z. B. durch Wischpads, Applikatoren oder Teststreifen. In einigen Fällen müssen zwei Proben genommen werden, um auf alle Gruppen testen zu können. Wie die Chemikalien mit der Probe in Berührung kommen, ist ebenfalls abhängig vom jeweiligen Test. Es besteht die Möglichkeit, die Chemikalien auf den Probenträger zu tropfen sowie zu sprühen, oder die Chemikalien werden in einem geschlossenen System durch das Zerdrücken verschiedener Glasampullen auf die Probenträger gebracht. Werden Teststreifen für die Beprobung verwendet, sind häufig keine Chemikalien für die Ergebnisanzeige notwendig.

Jedem Test ist eine Anleitung beigelegt, wo Vorgehen, Wartezeiten und Farbumschläge erklärt werden. Grundsätzlich gilt, dass die Nachweisreaktion nur an Substanzproben durchgeführt werden darf. Niemals die Chemikalie für den Nachweis direkt auf die zu prüfende Probe geben. Es könnte zu starken Zersetzungsreaktionen und/oder giftigen Zersetzungsprodukten in hohen Konzentrationen kommen.

## Auswertung

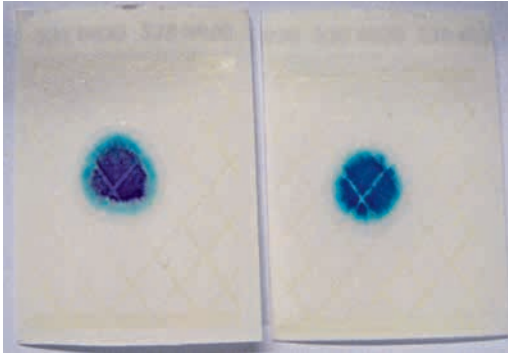
Das Erkennen eines Farbumschlages bzw. des Ausbleibens eines Farbumschlages erfolgt durch den Anwender. In den beigefügten farbigen Anleitungen sind die Farbumschläge beschrieben und abgebildet. Häufig kann bereits nach wenigen Sekunden ein Ergebnis abgelesen werden. Neben der optischen Auswertung durch den Anwender besteht die Möglichkeit der elektronischen Auswertung durch Colorimeter. Hierfür ist die Probenahme genau auf das Gerät abgestimmt. Bei dieser Variante besteht zudem die Möglichkeit, die Probenahmekarte via Strichcode einzulesen, um die Haltbarkeit zu überprüfen und alle gemessenen Informationen zu speichern.

## Hinweise für den Anwender

Einige Tests setzen einschlägiges Wissen im Umgang mit Chemikalien voraus. Die beigefügten Anleitungen sind genau zu befolgen, um falsche Ergebnisse zu vermeiden. Bestimmte chemische Farbreaktionen sind verhältnismäßig empfindlich, jedoch können Querempfindlichkeiten auftreten. Dementsprechend ist es vorteilhaft, wenn der Anwender chemisches Grundlagenwissen besitzt und die Ergebnisse im Zusammenhang mit der Umgebung bzw. dem Tatort bewertet.

## Grenzen der Messtechnik

Bei positiven Nachweisen muss es sich nicht zwingend um Sprengstoffe handeln, da die Farbreaktion häufig nur auf bestimmte Ionen oder Stoffgruppen hinweisen. Die Möglichkeit, bestimmte Sprengstoffe nachzuweisen, gibt es, hier sollte jedoch bereits ein konkreter Verdacht vorliegen, sonst steigen die Kosten und der Zeitbedarf. Neben Querempfindlichkeiten spielt auch die Empfindlichkeit der Nachweise eine wichtige Rolle. An dieser Stelle kann auf den Chloratnachweis mit Diphenylamin in Schwefelsäure verwiesen werden. Neben Chloraten kann jedes andere starke Oxidationsmittel die Blaufärbung hervorrufen. Bei der illegalen Herstellung von Explosivstoffen spielt Sauberkeit eine untergeordnete Rolle, stark verschmutzte Wischproben können das Erkennen eines Farbumschlages erschweren. Ebenso können bereits stark gefärbte Reagenzien den eigentlichen Farbumschlag verdecken. Als Beispiel dient hier der Perchlorat-Nachweis mit Metylenblau zum Metylenblauerperchlorat mit dem ExPen P. Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, findet ein Farbumschlag von dunkelblau nach violett statt.



**Abbildung 3:** Positiver Perchlorat-Nachweis (linke Seite), negativer Perchlorat-Nachweis (rechte Seite); Testsatz ExPen  
Quelle: WIS

## Anwendungsmöglichkeiten

- Eigensicherung (Gefahrenabwehr)
- Tatorte, bei denen ein Explosivstoffverdacht vorliegt (Hauslabore)
- Sicherheitskontrollen auf Flughäfen, an Bahnhöfen, in der Schifffahrt

### 2.2.3 Halbleiter-Gassensoren [7]

Kurzbeschreibung: Nachweis von reduzierbaren und oxidierbaren Gasen und Dämpfen in der Umgebungsluft durch umkehrbare Widerstandsänderungen an einem Halbleiter

Messtaktische Einsatzbreite: primär: Detektion, sekundär: Quantifizierung

Standardmessbereich: ppm ... Vol.-%, abhängig von der Bauart und dem gassensitiven Material des Sensors sowie dem zu detektierenden Gas

Aggregatzustand: gas- und dampfförmig



Personalanforderung:	gering, Einweisung erforderlich
Querempfindlichkeiten:	unspezifische, breitbandige Detektion

## Prinzip

Halbleiter-Gassensoren sind preiswert und von einem einfachen technischen Aufbau. Die Gassensoren bestehen aus einem isolierenden Trägermaterial (Keramik) und dem aufgetragenen gassensitiven Halbleitermaterial (Metalloxide, z. B.  $\text{SiO}_2$ ). Die Atome im Halbleitermaterial befinden sich in einer Gitterstruktur. Eine Heizspirale erzeugt die nötige Betriebstemperatur, die abhängig von der Bauart des Sensors und des zu detektierenden Gases oder Dampfes ist. Durch die Erwärmung (Energiezufuhr) gerät die Gitterstruktur in Unordnung, das zusätzliche Anlegen einer Spannung ermöglicht das Freiwerden von Elektronen. Diese Elektronen wandern an die Oberfläche der gassensitiven Schicht und werden vom Sauerstoff des reduzierbaren Gases (z. B.  $\text{CO}_2$ , kann Sauerstoff abgeben) sowie vom Sauerstoff aus der Umgebungsluft gebunden. Gleichzeitig wird der Sauerstoff an der Sensoroberfläche angelagert. Es stehen weniger Ladungsträger im Gitter zur Verfügung, der Widerstand im Halbleiter steigt.

Kommt dagegen ein oxidierbares Gas (z. B.  $\text{CO}$ , kann Sauerstoff aufnehmen) mit der gassensitiven Schicht in Berührung, wird der an der Oberfläche angelagerte Sauerstoff gebunden. Gleichzeitig werden im Gitter neue Elektronen freigesetzt. Es stehen mehr Ladungsträger zur Verfügung, der Widerstand im Halbleiter sinkt. Beide Prozesse der Widerstandsänderung sind bis zu einem bestimmten Grad vollständig umkehrbar und werden über Elektroden gemessen.

## Auswertung

Es wird die Änderung des Widerstandes im Halbleitermaterial gemessen, dieses Signal kann aufgrund einer vorherigen Kalibrierung in eine Konzentrationsanzeige umgerechnet werden. Die Nachweisgrenze wird von der Zusammensetzung der Halbleiterschicht bestimmt.

## Hinweise für den Anwender

Die Halbleiter-Gassensoren sind breitbandig und wenig spezifisch. Um die Sensitivität und Selektivität für bestimmte Gase oder Dämpfe zu erhöhen, werden der gassensitiven Schicht bestimmte Stoffe beigefügt (Dotierung), zudem wird

der Sensor elektrisch beheizt. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass andere gasförmige Stoffe das Messergebnis beeinflussen.

Der Sensor sollte vor jedem Einsatz einer Funktionskontrolle unterzogen werden, um einen Defekt auszuschließen. Zusätzlich sollte auf die vom Hersteller angegebene Haltbarkeit des Sensors geachtet werden.

## Grenzen der Messtechnik

Die Temperatur und relative Luftfeuchte können die Empfindlichkeit des Sensors beeinflussen. In sauerstoffarmer Atmosphäre werden permanent Ladungsträger (Elektronen) verbraucht. Dieser Prozess führt zu einer nicht umkehrbaren Widerstandsänderung und schädigt den Sensor. Dämpfe von alkalischen, sauren, halogenierten und siliciumorganischen Verbindungen sowie Schwefel- und Zyanidverbindungen zählen zu den Sensorgiften, die den Sensor so beschädigen können, dass er seine Messfähigkeit verliert.

## Anwendungsmöglichkeiten

- Breitbandige Detektion von Gasen und Dämpfen
- Einsatz im Explosions-, Leckage-, Brand- und Vergiftungsschutz
- Trenderaussage über die Konzentration (bleibt gleich, fällt, steigt)

### 2.2.4 Infrarot-Gassensoren

Kurzbeschreibung: Nachweis von Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoffdioxid in der Umgebungsluft, durch Wechselwirkung (Absorption) der Gase mit elektromagnetischer Strahlung im Infrarot-Bereich

Messtaktische Einsatzbreite: primär: Detektion und Quantifizierung

Standardmessbereich: als Ex-Sensor: 0 ... 100 % UEG (abhängig vom Messgas);  
als CO<sub>2</sub>-Sensor: ppm ... Vol.-%

Aggregatzustand: gasförmig

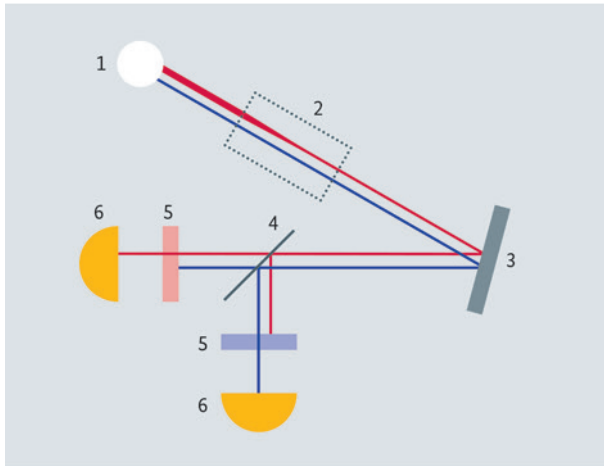
Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

## Prinzip

Kohlenwasserstoffe und Kohlenstoffdioxid absorbieren IR-Strahlung in bestimmten Wellenlängenbereichen. Relativ selektiv sind die Absorptionen im Wellenlängenbereich von 3,3 bis 3,5  $\mu\text{m}$ . Andere Luftbestandteile absorbieren nicht in diesem Bereich. Mit speziellen Filtern wird sichergestellt, dass selektiv Kohlenstoffdioxid oder (bestimmte) Kohlenwasserstoffe erfasst werden. [8]

## Messung

Es gibt unterschiedliche Bauweisen für IR-Sensoren, hier soll auf die Bauweise mit einer Strahlenquelle und zwei Detektoren eingegangen werden. In Abbildung 4 ist ein möglicher Aufbau eines IR-Gassensors dargestellt. Durch eine Strahlenquelle (1) gelangt Infrarot-Strahlung unterschiedlicher Wellenlänge (mind. die Wellenlänge für die zu messende Komponente und die Wellenlänge für die Vergleichsstrahlung) in den Strahlengang. Das Messgas wird in die Messzelle gepumpt, die zu messende Komponente absorbiert den roten Anteil der Strahlung (2). Der übrige Teil der Strahlung wird über einen Spiegel (3) zum Strahlenteiler (4) reflektiert und von diesem in zwei Teilstrahlen zerlegt. Jeweils ein optischer Filter (5) vor den Mess- und Referenzdetektoren (6) lässt entweder die Referenzwellenlänge (blau, nicht absorbiertes Teil der Strahlung) oder die Messwellenlänge (rot, durch Absorption abgeschwächter Teil der Strahlung) passieren. Die Messsignale werden elektronisch weiterverarbeitet und gerätespezifisch angezeigt. [9]



**Abbildung 4:** Möglicher Aufbau eines IR-Gassensors  
Quelle: eigene Abbildung

## Auswertung

Befindet sich die zu messende Komponente im Strahlengang, dann wird das Signal vom Messdetektor um einen von der Gaskonzentration abhängigen Wert reduziert. Je nach Sensor wird eine Konzentrationsanzeige in ppm bzw. Vol.-% erhalten.

## Hinweise für den Anwender

Der beschriebene Aufbau eines Gaswarnmessgerätes mit IR-Sensor kompensiert den Zustand der IR-Quelle sowie die Schwächung des Strahles durch Schmutz und Gase, da diese Faktoren gleichzeitig auf beide Detektoren einwirken. Die Alterung und unterschiedliche Empfindlichkeiten beider Detektoren können dagegen nicht kompensiert werden.

Um das Messergebnis zu optimieren, sollten vorab mit dem Hersteller die Messaufgabe und das Kalibriergas abgeklärt werden.

Infrarot-Sensoren können im Gegensatz zu elektrochemischen Zellen und Halbleitersensoren nicht durch sog. Sensorgifte unbrauchbar werden. Die Sensoren sind

sehr langlebig (~ 8 Jahre), verursachen nur geringe Betriebskosten (evtl. jährliche Nachkalibrierung) und sind überwiegend unempfindlich gegenüber Wasserdampf.

Es ist möglich, mit geeigneten Sensoren die Simultanmessung von explosionsfähigen Gasen und Kohlenstoffdioxid durchzuführen. [8]

### **Grenzen der Messtechnik**

Nicht alle brennbaren Gase absorbieren Infrarotstrahlung im genutzten Messwellenlängenbereich im gleichen Maße. Gase mit einer geringen oder im Einzelfall gar fehlenden Absorption bei der eingestellten Messwellenlänge geben in der Folge zu niedrige Konzentrationsanzeigen oder werden im Extremfall nicht erfasst.

Andere brennbare Gase und Dämpfe können nicht erfasst werden, weil sie keine Kohlenwasserstoffe sind oder wie Wasserstoff, der aufgrund seiner molekularen Struktur mit der Infrarot-Spektroskopie nicht detektiert werden kann.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Konzentrationsbestimmung in % UEG bei brennbaren Substanzen
- Trendaussage über die Konzentration, z. B. Lecksuche (bleibt gleich, fällt, steigt)
- Genaue Messung von Kohlenstoffdioxid in abwassertechnischen Anlagen

#### **2.2.5 Katalytische Wärmetönungssensoren (Ex-Sensoren)**

Kurzbeschreibung: Detektion explosionsgefährlicher Atmosphären über oxidative Temperaturerhöhung und daraus resultierende Widerstandsänderung

Messtaktische Einsatzbreite: Ermittlung der unteren Explosionsgrenze (UEG)

Standardmessbereich: 100 % UEG (bezogen auf Kalibrier- bzw. Prüfgas)

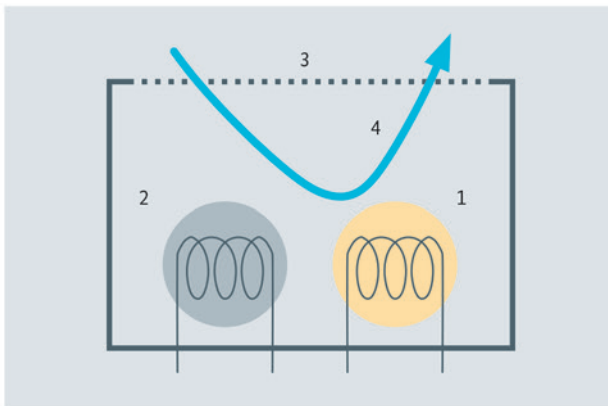
Aggregatzustand: gas- und dampfförmig

Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

## Prinzip [10]

Die Detektion einer explosionsgefährlichen Atmosphäre erfolgt üblicherweise (Messgeräte zum Einsatz durch die kommunalen Feuerwehren) mittels katalytischer Wärmetönungssensoren.

Wie in Abbildung 5 dargestellt, gelangen brennbare Gase (4) aus der Umgebungsluft über den Gaseinlass (3), der gleichzeitig als Flammensperre wirkt, an den Pellistor (1). Der Pellistor besteht aus einem heißen, mit Katalysatorsubstanz umhüllten Platindraht, an dem die brennbaren Gase mit dem Luftsauerstoff oxidiert werden. Diese Oxidation führt zu einem Anstieg der Temperatur an dem Pellistor. Infolge der Temperaturerhöhung ändert sich auch der elektrische Widerstand im Draht, der durch eine Auswerteelektronik gemessen wird. Ein zweiter Platindraht ohne Katalysatorsubstanz, an dem keine Temperaturerhöhung stattfindet, dient als Referenzpellistor (2).



**Abbildung 5:** Schematischer Aufbau eines katalytischen Wärmetönungssensors  
Quelle: eigene Abbildung

## Auswertung

Über eine Auswerteelektronik (Wheatstone'sche Brückenschaltung) erfolgt die genaue Messung der Widerstandsänderung. Die Widerstandsänderung ist umso stärker, je größer die Substanzkonzentration in der Umgebungsluft ist. Mittels der Kalibrierdaten eines konkreten Kalibriergases kann die Menge an brennbaren

Gasen als Anteil an der unteren Explosionsgrenze (% UEG) des Kalibriergases auf einem Gerätedisplay angegeben werden.

### **Hinweise für den Anwender**

Bei einigen brennbaren Gasen kann es zu einer Zerstörung des Katalysators kommen, der Sensor wird hierbei unter Umständen irreversibel geschädigt und zeigt dann auch bei Vorhandensein von brennbaren Gasen keinen Anstieg des Messwerts an. Diese Substanzen werden Katalysatorgifte genannt, vor allem schwefel- und halogenhaltige (Chlor, Brom und Iod) Substanzen gehören zu dieser Gruppe. Hier wird von den Anbietern bereits durch neue Pellistorrezepturen gegengearbeitet.

Es können verschiedene Kalibrier- bzw. Prüfgase gewählt werden. Hierdurch ist die Empfindlichkeit des Sensors einstellbar bzw. an die Messaufgabe anpassbar. Dabei ist zu beachten, dass je nach Kalibriergas das Messgas mit unterschiedlicher Genauigkeit angezeigt wird (Verfälschung). Wird als Messgas bspw. Nonan verwendet und ist Erdgas (überwiegend Methan) der Zielanalyt, wird das Methan mit zu hoher Konzentration angezeigt, d. h., bei einer tatsächlichen Konzentration von etwa 40 % UEG werden am Gerät 100 % UEG angezeigt. Umgekehrt werden bei Methan als Kalibriergas bei 100 % UEG von Nonan am Messgerät erst 40 % UEG angezeigt, die Messung ist hier zu unempfindlich. [11]

### **Grenzen der Messtechnik**

Für die oxidative Umsetzung am Katalysator wird Luftsauerstoff benötigt. Bei hohen Konzentrationen an brennbaren Gasen ist die Konzentration des Sauerstoffs dann entsprechend niedriger, dies führt zu niedrigeren angezeigten Messwerten als sie tatsächlich in der Umgebungsluft vorliegen. Dieses Phänomen tritt etwa ab 1,5 Vol.-% brennbarer Substanz in Luft auf. [12]

Ab Gaskonzentrationen um 15 Vol.-% geht die Anzeige auf null, da nicht genügend Sauerstoff zur Verbrennung vorliegt.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Konzentrationsbestimmung als prozentualer Anteil der UEG bei brennbaren Substanzen

- Trendaussage über die Konzentration (bleibt gleich, fällt, steigt)

### 2.2.6 Wärmeleitungs-Gassensoren

Kurzbeschreibung: Wärmeabgabe eines beheizten Widerstandes an ein umgebendes Gasgemisch und Messung der daraus resultierenden Spannungsänderung

Messtaktische Einsatzbreite: Konzentrationsbestimmung toxischer und brennbarer Gase oberhalb der UEG;  
UEG-Bestimmung von Wasserstoff und Methan möglich

Standardmessbereich: Vol.-%

Aggregatzustand: gasförmig

Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

#### Prinzip

Gase besitzen unterschiedliche temperaturabhängige Wärmeleitungseigenschaften. Im Wärmeleitungsmessgerät befindet sich in zwei getrennten Kammern jeweils ein Wärmeleitungssensor. Es handelt sich um elektrisch beheizte Platindrähte, die über eine Wheatstone'sche Brückenschaltung verbunden sind. In einer Kammer befindet sich Luft als Vergleichsgas, die andere Kammer wird mit dem Messgas durchströmt. Solange in beiden Kammern Luft ist, geben die Platindrähte die Wärme gleichmäßig ab. Sobald das Messgas, Luft mit enthaltenen Schadstoffen, in die Messkammer gelangt, wird der Platindraht mehr oder weniger Wärme abgeben als der Draht in der Vergleichskammer. Es kommt zur Widerstandsänderung in der Brückenschaltung, die gemessen und in ein Messsignal umgerechnet werden kann.

#### Auswertung

Siehe 2.2.5 Katalytische Wärmetönungssensoren (Ex-Sensoren). Das Messprinzip wird vor allem zur Detektion explosionsfähiger Gasgemische oberhalb der UEG eingesetzt, da es nicht auf Anwesenheit von Sauerstoff angewiesen ist. Bei den Gasen Wasserstoff und Methan ist jedoch die Bestimmung der UEG möglich, da beide Gase relativ hohe Wärmeleitungswerte besitzen.



## Hinweise für den Anwender

Die Wärmeleitung wird in Kombination mit katalytischen Wärmetönungssensoren eingesetzt. Bei diesen Sensoren sinkt die Signal- bzw. Anzeigeänderung (Empfindlichkeit) oberhalb der UEG, da die für die Verbrennung nötige Luftsauerstoffkonzentration abnimmt. Mit der zusätzlichen Information des Wärmeleitungs-Sensors kann die Explosionsfähigkeit von Gas- bzw. Dampf-Luft-Gemischen über den gesamten relevanten Konzentrationsbereich zuverlässig erkannt werden.

## Grenzen der Messtechnik

Befinden sich zwei Gase in der Umgebungsluft, deren Wärmeleitfähigkeiten sich vom Vergleichsgas unterscheiden, kann allein mit dem Wärmeleitungsprinzip keine Aussage über die Konzentration der Gase getroffen werden. Die Konzentrationsbestimmung ist relativ grob und die Kalibrierung erfolgt wie bei den Wärmetönungssensoren auf ein Gas mit mittlerer Empfindlichkeit. Es ist zu beachten, dass einige Gase eine verringerte Konzentrationsanzeige bewirken (z. B. Kohlenstoffdioxid). Sehr hohe Konzentrationen derartiger Gase, neben nachzuweisenden brennbaren Gasen, können die Anzeige verfälschen bzw. zu Minderbefunden führen.

## Anwendungsmöglichkeiten

- Warnung vor möglicher Überschreitung der UEG (unterer Warnwert i. d. R. 10 % UEG)
- Messung der UEG-Werte von Wasserstoff und Methan

### 2.2.7 Elektrochemische Zellen (ECZ)

Kurzbeschreibung: Nachweis konkreter Substanzen in der Umgebungsluft mittels elektrochemischer Reaktion

Messtaktische Einsatzbreite: Detektion und Quantifizierung der Zielsubstanz

Standardmessbereich: ppm

Aggregatzustand: gas- und dampfförmig

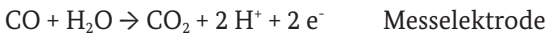
Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

Querempfindlichkeiten: typ- und konzentrationsabhängig, z. T. dokumentiert

### Prinzip [13]

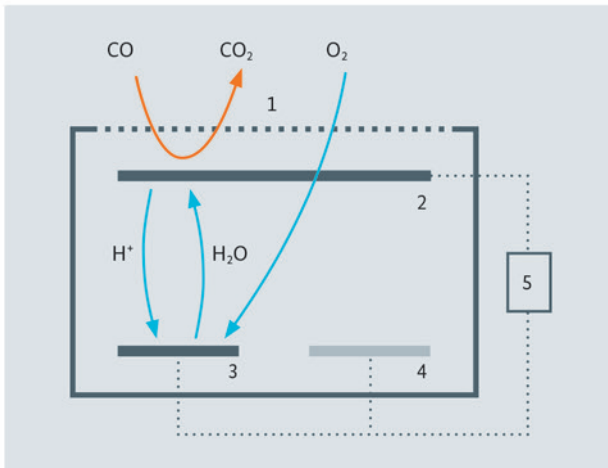
Verschiedene chemische Verbindungen, z. B. Sauerstoff, Kohlenstoffmonoxid oder Blausäure, können unter speziellen Bedingungen und Anlegen einer bestimmten Spannung zu einer elektrochemischen Reaktion gebracht werden. Die Bedingungen, u. a. Auswahl von Elektrolyt (leitfähige Flüssigkeit) und Elektrodenmaterial, sind relativ spezifisch für die Zielsubstanz.

In einer Messzelle zur Messung von Kohlenstoffmonoxid wird bspw. das Kohlenstoffmonoxid durch den Luftsauerstoff zum Kohlenstoffdioxid oxidiert. Die folgenden beiden Reaktionen laufen in der Messzelle ab:



### Messung

Wie in Abbildung 6 dargestellt, findet der Gastransport in die mit Elektrolyt gefüllte Messzelle hinein über eine gasdurchlässige Membran (1) statt, hinter der sich die Mess- (2) und die Gegenelektrode (3) befinden. Zum Ausgleich von hohen Gaskonzentrationen, die zu Schwankungen in der anliegenden Spannung und dadurch zum Verfälschen des Messsignals führen können, wird zusätzlich eine Referenzelektrode (4) verwendet, die solche Effekte ausgleicht. Die Auswerteeinheit (5) wandelt die Stromänderung in eine Konzentrationsanzeige um.



**Abbildung 6:** Schematischer Aufbau einer elektrochemischen Zelle  
Quelle: eigene Abbildung

## Auswertung

Durch die chemische Reaktion am Beispiel von Kohlenstoffmonoxid zu Kohlenstoffdioxid ändert sich der in der Zelle anliegende Strom, gemessen in Ampere. Der Veränderung kann durch eine vorher durchgeführte Kalibrierung direkt eine Konzentration von Kohlenstoffmonoxid zugeordnet werden. Der so erhaltene Wert wird am Gerätedisplay direkt als Konzentration, meist in ppm, angezeigt.

## Hinweise für den Anwender

Aufgrund der spezifischen Reaktionsbedingungen und der Notwendigkeit der Auswahl von Elektrodenmaterial, Elektrolytmischung und Spannung sind elektrochemische Zellen im Vergleich zu Halbleitersensoren sowie Wärmetönungssensoren selektiv. Wichtige Querempfindlichkeiten sind bekannt und meist dokumentiert.

Die Lebensdauer von elektrochemischen Sensoren ist auf wenige Jahre, meist bis zu zwei Jahre, beschränkt. Dies liegt daran, dass der flüssige Elektrolyt mit der Zeit austrocknet und dann keine Reaktion mehr erfolgen kann. Darüber hinaus werden bei bestimmten Zellen, z. B. bei Sauerstoffsensoren, die Gegenelektroden bei der chemischen Reaktion selbst verbraucht. Die Verwendungszeiten und der

finanzielle Aufwand müssen bei der Anschaffung und der Logistik der Nachbeschaffung beachtet werden.

### Grenzen der Messtechnik

In den Konzentrationsbereichen, für die die Sensoren entwickelt wurden, reagieren diese relativ flink innerhalb weniger Sekunden auf Konzentrationsänderungen. Sind die Gaskonzentrationen allerdings sehr hoch, wird der Elektrolyt in der Zelle mit Zielsubstanz gesättigt und es kann mehrere Minuten dauern, bis sich die Konzentration im Elektrolyten wieder der Umgebung anpasst. Die Folge kann sein, dass sich die Einsatzkraft trotz eines hohen Messwerts bereits wieder in einem Bereich befindet, der frei von der Zielsubstanz ist.

### Anwendungsmöglichkeiten

- Konzentrationsbestimmung der Zielsubstanz

#### 2.2.8 Flammenphotometrischer Detektor (FPD)

Kurzbeschreibung: Nachweis von charakteristischen Elementen (z. B. Stickstoff, Phosphor) in der Umgebungsluft, durch Verbrennung mit gleichzeitigem Freiwerden von Licht einer bestimmten Wellenlänge (Atomemissionsspektroskopie)

Messtaktische Einsatzbreite: primär: Element-Detektion, sekundär: Quantifizierung

Standardmessbereich: ppb ... ppm

Aggregatzustand: gas- und dampfförmig

Personalanforderung: gering, Einweisung erforderlich

Querempfindlichkeiten: gering, sind auf die verwendeten Filter limitiert, die nur bestimmte Wellenlängen passieren lassen

## Prinzip

In einer Flamme aus einem Wasserstoff-Luft-Gemisch (Knallgasflamme) wird die Probe verbrannt. Bei tragbaren Geräten werden kleine Wasserstoffpatronen verwendet, die Wasserstoff für mehrere Stunden Betriebszeit beinhalten. Bestimmte Atome werden bereits durch die Wärme der Flamme in ausreichendem Maße angeregt, sodass sie Licht definierter Wellenlängen emittieren. Mittels Filtern werden gezielt einzelne intensive Linien zugelassen bzw. Spektralbereichsfenster ausgewertet, in denen nur diese Atomarten Licht emittieren, z. B. Phosphor bei 525 nm und Schwefel bei 393 nm. Diese ausgewählten Wellenlängen erzeugen dann auf dem Signalverstärker (Photomultiplier) ein Messsignal.

Der Einsatz unterschiedlicher Filter zum parallelen Nachweis mehrerer Atome ist möglich, die Nachweisgrenzen sind für die verschiedenen Atome unterschiedlich.

## Auswertung

Die Nachweisgrenzen liegen für schwefel- und phosphorhaltige Verbindungen im ppb-Bereich.

Je nach Ausführung verfügt das Gerät über eine halbquantitative Konzentrationsanzeige in Form von Balken oder LEDs.

## Hinweise für den Anwender

Neben der Hauptanwendung, dem Nachweis von phosphor- und schwefelhaltigen organischen Verbindungen, können zudem metallorganische Verbindungen mit z. B. Zinn, Bor, Arsen und Chrom durch Verwendung der jeweiligen Filter nachgewiesen werden. Da die Nachweisgrenzen sehr gering sind, sollte ein „Überladen“ des Detektors mit der Probe vermieden werden. Ein langsames Vortasten in den Gefahrenbereich ist daher ratsam.

## Grenzen der Messtechnik

Der Detektor ermöglicht lediglich den Nachweis weniger Elemente (mit entsprechender Nachweisgrenze). Moleküle bzw. Stoffe können nicht identifiziert werden. Sind jedoch mehrere Verbindungen mit gleicher Atomart, z. B. Schwefel, in der Probe, kann hier nur ein Summensignal von Schwefel erhalten werden.

## Anwendungsmöglichkeiten

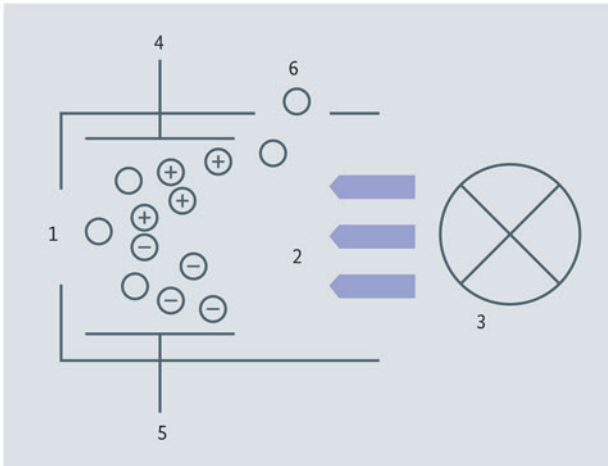
- Elementspezifische Detektion
- Mit der Anzeige spezifischer Atome (S, P, N, As) für Kampfstoff, kann ein erster Verdacht auf Kampfstofffreisetzung erfolgen
- Schnelle Absicherung der Ergebnisse anderer Messprinzipien, z. B. Ionenmobilitätsspektrometer

### 2.2.9 Photoionisationsdetektor (PID)

Kurzbeschreibung:	Nachweis von ionisierbaren Substanzen in der Umgebungsluft durch Bestrahlung mit UV-Licht
Messtaktische Einsatzbreite:	primär: Detektion (kontinuierlich), sekundär: Quantifizierung
Standardmessbereich:	ppm – Vol.-%
Aggregatzustand:	gas- und dampfförmig
Personalanforderung:	mittel, Einweisung und spezielle Ausbildung erforderlich
Querempfindlichkeiten:	unspezifischer Detektor bzw. Summendetektor

### Prinzip [14]

Das Messprinzip eines Photoionisationsdetektors wird in Abbildung 7 dargestellt. Es beruht auf der unspezifischen Ionisierung von Substanzen in der Umgebungsluft mittels ultravioletten Lichts (UV-Licht). Meist fördert hierzu eine Messgaspumpe kontinuierlich Umgebungsluft, d. h. die zu beprobende Luft, in die Messzelle (1). Hier werden in der Luft vorhandene und mit der Anregungsenergie der Lampe ionisierbare Gas- bzw. Dampfmoleküle durch das eingestrahlte UV-Licht (2) der Vakuum-UV-Lampe (3) ionisiert. Anschließend werden die positiv geladenen Schadstoffmoleküle (Molekülionen) an der Messelektrode (4) sowie die abgespaltenen Elektronen an der Gegenelektrode (5) entladen (6), d. h. das Gas verlässt den Detektor unverändert. Mit der Entladung entsteht ein Stromfluss, der umso größer ist, je mehr Substanz in der Luft vorhanden ist.



**Abbildung 7:** Schematischer Aufbau eines Photoionisationsdetektors

Quelle: eigene Abbildung

Ob eine Substanz detektiert werden kann, hängt von der Energie des von der Lampe ausgestrahlten UV-Lichts sowie von der Ionisierungsenergie (IE) der Substanz selbst ab. Die meisten PID-Geräte verwenden eine Lampe, die UV-Licht mit einer maximalen Energie von 10,6 eV ausstrahlt. Beispielsweise können Aceton (IE = 9,7 eV) oder Toluol (IE = 8,8 eV) aufgrund ihrer Ionisierungsenergie von kleiner 10,6 eV gut detektiert werden, Chlor (IE = 11,5 eV) oder Kohlenstoffmonoxid (IE = 14,0 eV) hingegen nicht.

Sind zwei oder mehr mit dem Detektor nachweisbare Substanzen in der Luft vorhanden, werden in der Messzelle alle Stoffe ionisiert und das Messgerät kann nur noch ein Summensignal liefern. Eine Aussage über die Konzentrationen der einzelnen Substanzen ist in diesem Fall nicht möglich.

Der Hauptgrund für die weitgehende Beschränkung auf Lampen mit 10,6 eV liegt im höheren Wartungsaufwand von Geräten mit 11,7 eV-Lampen. Ursache ist die Feuchteempfindlichkeit der für diesen Energiebereich notwendigen Fenstermaterialien der UV-Lampe. Neben einer häufigeren Kalibrierung sowie Erfordernis des Einsendens zur Wartung ist auch die Lebensdauer der Lampen deutlich geringer.

Energien über 11,7 eV machen hingegen keinen Sinn, da dann auch Luftbestandteile ionisiert würden ( $O_2$ : 12,07 eV, Xe: 12,13 eV, Xe/Ar: 11,97 und  $H_2O$ : 12,62 eV).

Lampen mit 10,6 eV weisen eine höhere Standdauer auf und unterliegen keinen technischen Einschränkungen.

## **Auswertung**

Für die Angabe einer Konzentration einer detektierbaren Substanz müssen die PID-Geräte kalibriert sein. Hierfür kommt üblicherweise Isobuten als Kalibrier- gas in einer Konzentration von 100 ppm zum Einsatz. Dem Isobuten wird der Responsefaktor 1,0 fest zugewiesen. Für die Erstellung der Gerätebibliothek kann anschließend für jede beliebige mit dem Messprinzip detektierbare Substanz der jeweilige Responsefaktor bestimmt werden. Aktuelle Geräte verfügen über Stofflis- ten mit einigen hundert Einträgen. Die Responsefaktoren sind geräte- und stoff- spezifisch, d. h., Aceton hat auf unterschiedlichen PID-Geräten auch unterschied- liche Responsefaktoren.

Standardmäßig beginnt jeder Messvorgang mit eingestellter Grundkalibrierung auf Isobuten und dem Responsefaktor 1,0. Ist das vorhandene Messgas bekannt, z. B. Aceton, kann aus der Bibliothek Aceton ausgewählt werden, und das Gerät ermittelt nun aus dem Roh-Messsignal und dem Responsefaktor von Aceton die jeweilige Konzentration in ppm. Diese wird anschließend auf dem Gerätedisplay abgelesen. Hat man Aceton als Messgas und den korrekten RF ausgewählt, kann man es dennoch nicht identifizieren.

## **Hinweise für den Anwender**

PID-Geräte sind robuste, kontinuierlich messende Gasdetektoren mit raschem Ansprech- und Signlrückkehrverhalten. Sie können als unspezifische Gasdetek- toren auch zur quantitativen Belastungsmessung bei bekanntem vorliegendem Einzelstoff sowie Responsefaktor eingesetzt werden.

Bei Vorliegen von Gemischen und Ionisierbarkeit mehrerer Stoffe des Gemisches erhält man ein Summensignal. Ohne Kenntnis der Zusammensetzung des Gemi- sches sowie der Responsefaktoren der Einzelstoffe sind Aussagen zu relativen Anteilen der Einzelstoffe nicht möglich.

Wie bei allen Gasmessgeräten müssen Nullpunkt und Empfindlichkeit regelmäßig überprüft und justiert werden. Die Nullpunktsüberprüfung des PID erfolgt mit sauberer Luft, der obere Kalibrierpunkt mit einem Prüfgas.



## Grenzen der Messtechnik

Der Messbereich eines PID reicht von etwa 0,5 ppm bis zur Sättigung des Detektors, dies sind Konzentrationen etwa bei bis zu 10.000 ppm (entsprechend ca. 1 Volumen-%). Damit scheiden Messungen im Explosionsbereich von Substanzen genauso aus wie auch die Messung hochtoxischer Nervenkampfstoffe (obwohl prinzipiell messbar). Die Hersteller bieten zusätzlich Modelle für Messungen im ppb-Bereich an, hier sollte auf den Einsatzzweck des Gerätes geachtet werden.

## Anwendungsmöglichkeiten

- breitbandige Detektion von ionisierbaren Substanzen
- Konzentrationsbestimmung, sofern Substanz bekannt und Responsefaktor verfügbar
- Trenderaussage über die Konzentration (bleibt gleich, fällt, steigt) auch bei unbekanntem Responsefaktor oder Gemischen in Luft

### 2.2.10 Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)

Kurzbeschreibung:	Nachweis ionisierbarer Substanzen in der Umgebungsluft - meist unter Nutzung radioaktiver Quellen oder Corona-Entladung
Messtaktische Einsatzbreite:	primär: Detektion, sekundär: Identifizierung
Standardmessbereich:	ppb – ppm (stoffabhängig)
Aggregatzustand:	gas- und dampfförmig
Personalanforderung:	mittel, Einweisung und spezielle Ausbildung erforderlich
Sicherheitsaspekte:	bei Verwendung radioaktiver Quellen unter Umständen Strahlenschutzbeauftragter nach Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) notwendig

Querempfindlichkeiten: Durch das Messprinzip erfassbare Stoffe, die ähnliche Positionen der Reaktantionen im Spektrum aufweisen wie die hinterlegten Stoffdaten in den Bibliotheken

## Prinzip [15]

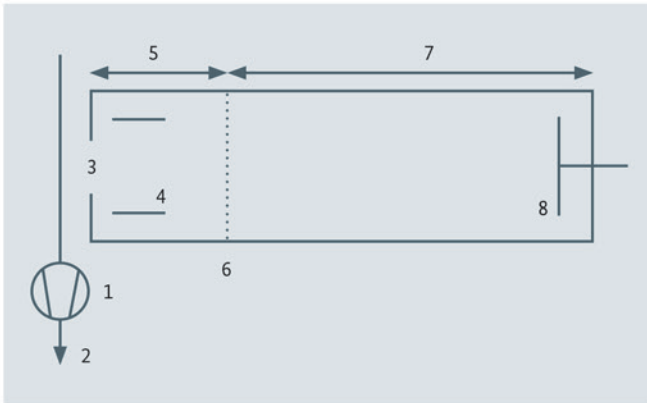
Das Messprinzip der Ionenmobilitätsspektrometrie beruht auf der Ionisierung (Bildung elektrisch leitender Partikel) von möglicherweise in der Umgebungsluft vorhandenen Schadstoffen. Die Ionisierung erfolgt bei den meisten feldmäßig eingesetzten Geräten entweder mit einem abgeschirmten radioaktiven Strahler (oft Nickel-63) oder durch Corona-Entladung (kleiner Lichtbogen).

Im ersten Schritt bilden sich innerhalb des Ionisierungsbereichs aus den Luftbestandteilen Stickstoff und Sauerstoff die sogenannten Reaktantionen (RI), die im Normalzustand in konstanter Konzentration und Stärke immer im Gerät vorhanden sind. Zur Unterstützung der Ionisierung werden oft Zusatzstoffe, die Dopanden, eingesetzt. Üblicherweise ist das Ammoniak oder Wasser aus der Umgebungsluft.

Sind Schadstoffe in der Umgebungsluft vorhanden, werden diese ungeladenen Stoffe im zweiten Schritt durch die Reaktantionen selbst ionisiert. Die gebildeten Ionen haben aufgrund der ursprünglichen Masse und der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Ausgangssubstanz unterschiedliche Massen und weisen entweder eine positive oder negative Ladung auf. Die geladenen Produktionen, bei vielen Substanzen entstehen auch mehr als eine Sorte davon, werden im Gerät aufgrund ihrer Masse unterschiedlich schnell durch ein elektrisches Feld zu einer gegenpolig geladenen Detektorelektrode beschleunigt. Auf diese Weise werden Ionenmobilitäts-Spektren erhalten, die sich einer bestimmten Substanz zuordnen lassen.

In der folgenden Abbildung 8 ist der prinzipielle Aufbau eines Ionenmobilitätsspektrometers dargestellt. Die Kernkomponente des Messverfahrens ist die sogenannte Ionenmobilitätsspektrometer-Röhre, in welcher die Ionen gebildet und anschließend getrennt werden. Die Bezeichnung Röhre resultiert aus dem runden, länglichen Aufbau der Messeinheit, hier wechseln sich ringförmige Elektroden mit nichtleitenden Trennscheiben ab. Bei den üblichen tragbaren Geräten fördert eine Messgaspumpe (1) kontinuierlich die Umgebungsluft am Einlass (3) zur Ionenmobilitätsspektrometer-Röhre und anschließend wieder aus dem Gerät hinaus (2). Ein Teil der Umgebungsluft mit möglichen enthaltenen Schadstoffen dringt in den Reaktionsraum (5) ein und wird im Bereich der Ionierungsquelle (4) ionisiert. Bei sauberer Umgebungsluft bilden sich ausschließlich Reaktantionen,

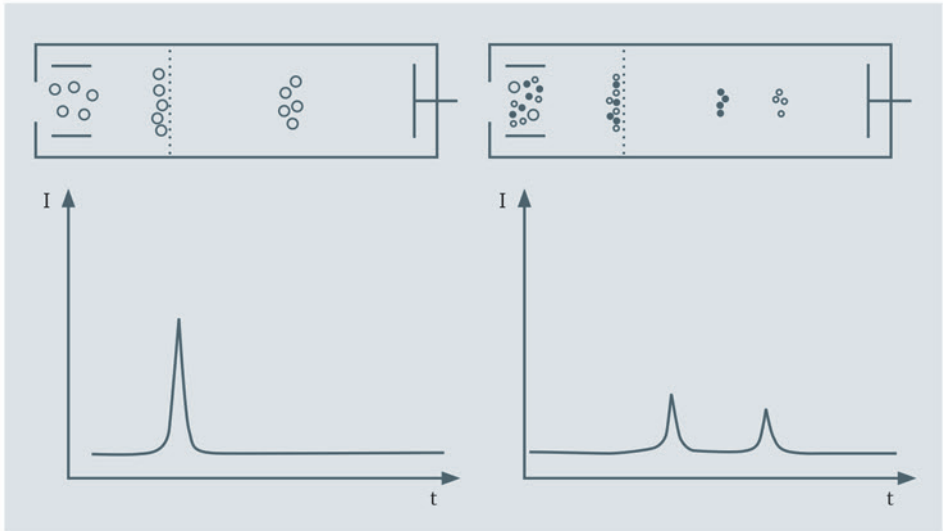
bei luftgetragenen Schadstoffen zusätzlich Produktionen. Ein Schaltgitter (6) lässt in regelmäßigen Zeitabschnitten eine kleine Menge an Ionen in den Driftraum (7). Die Ionen im Driftraum werden von der Detektorelektrode (8) angezogen, wobei die kleinen, leichten Ionen schneller ankommen als die großen, schwereren Ionen. Die Polarität der Detektorelektrode wechselt bei Einröhren-Ionenmobilitätsspektrometern in Bruchteilen einer Sekunde, sodass abwechselnd und nahezu kontinuierlich positive und negative Reaktant- und Produktionen gemessen werden.



**Abbildung 8:** Schematischer Aufbau eines Ionenmobilitätsspektrometers  
Quelle: eigene Abbildung

### Auswertung [16]

Die in der Ionenmobilitätsspektrometer-Röhre erzeugten Reaktant- und Produktionen bewegen sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit vom Schaltgitter zur Detektorelektrode. Die Zeitspanne, welche die jeweiligen Ionen benötigen, wird im Gerät gemessen und als Flugzeit ( $t$ ) in Millisekunden (ms) bezeichnet. Die Menge an Ionen zu einem Zeitpunkt bestimmt die Intensität ( $I$ ) des Signals (Peaks), somit erhält man ein konzentrationsabhängiges Messsignal. Die ermittelten Signalintensitäten gleicher Ladung, aufgetragen gegenüber der Zeit, werden als Spektrum bezeichnet. Über die Lage der Peaks im Spektrum wird am Ende eines Messzyklus durch Vergleich mit den in der Bibliothek hinterlegten Werten die Identität der Stoffe ermittelt. Bei einer Übereinstimmung wird die identifizierte Substanz am Display des Geräts zusammen mit der Konzentration angezeigt. In Abbildung 9 wird dieser Prozess veranschaulicht.



**Abbildung 9:** Prozesse im Ionenmobilitätsspektrometer

Erklärung: Im Gerät sind nur Reaktantionen vorhanden, die Umgebungsluft ist frei von Schadstoffen (links); Reaktantionen reagieren mit einem Schadstoff zu zwei verschiedenen Produktionen, die den Driftraum unterschiedlich schnell durchlaufen (rechts)

Quelle: eigene Abbildung

## Hinweise für den Anwender

Unabhängig von den Einträgen in der Gerätebibliothek bzw. den Bibliotheken zur Identifizierung von Stoffen führt das Vorhandensein von Fremdstoffen in der Luft, die mittels der Ionenmobilitätstechnologie messbar sind, zu einem Abfallen der positiven oder negativen Reaktantionen-Konzentration, in seltenen Fällen auch beider. Da einige Ionenmobilitätsspektrometer auf dem Display auch den Konzentrationsverlauf der Reaktantionen anzeigen können, sind Ionenmobilitätsspektrometer unter solchen Voraussetzungen als breitbandige Detektionsgeräte nutzbar.

Geräte, die eine radioaktive Quelle zur Ionisierung nutzen, müssen regelmäßig betrieben werden. Da die ständig im Gerät erzeugten Ionen aus der Strahlung über einen längeren Zeitraum eine interne Verschmutzung bilden, kann dies bei IMS mit Membraneinlass, sogenannten geschlossenen IMS, zu einem sehr lange dauernden Startvorgang bzw. niedrigen Reaktantionen-Konzentrationen führen.

## Grenzen der Messtechnik

Es kann bei IMS zu Fehl- und Nichtidentifizierung kommen. Hierfür gibt es unterschiedliche Gründe. So kann es zu falsch positiver Identifizierung bei Einzelstoffen kommen, wenn sich die Lage der Produktionen-Peaks in der Bibliothek hinterlegter Stoffdaten für eine bestimmte Substanz zu stark gleichen. Ursache hierfür ist die vergleichsweise geringe Auflösung der Spektren von IMS. Hiermit verbunden ist eine begrenzte Selektivität, sodass bei IMS nur eingeschränkt von einem identifizierenden System gesprochen werden kann.

Beim Vorliegen eines Gemisches sollte das Ergebnis besonders kritisch hinterfragt werden. Fehlidentifizierungen können auch hier aus einer zu geringen Auflösung der Spektren resultieren. Ein Beispiel ist die falsch positive Identifizierung von CWAs. Beispielsweise liegt an kalten Brandstellen oft eine Vielzahl von Schadgasen bzw. -dämpfen vor, darunter auch große Moleküle mit ähnlichen Positionen der RI-Peaks, wie sie als Stoffdaten in den Bibliotheken hinterlegt sind. Dieses Problem lässt sich jedoch durch den Einsatz von Dopanten verringern. Die Selektivität für bestimmte Stoffe (CWAs) wird durch den Einsatz von z. B. Ammoniak-Dopanten erhöht, auch bei einer hohen Störstoff-Konzentration (z. B. Dieselabgasen) kann eine sichere CWA-Detektion gelingen.

Für den Nachweis und die Identifizierung von Gasen und Dämpfen mit IMS sind daher auch Nachweis- und Identifizierungsgrenzen zu beachten. Die Substanzen müssen einen genügend hohen Dampfdruck haben oder bereits als Gas in der Luft vorliegen, um eine ausreichende Konzentration erreichen zu können. Dies kann insbesondere bei einigen sesshaften chemischen Kampfstoffen wie VX ein Problem darstellen. VX ist praktisch nichtflüchtig, sodass sich vor allem bei niedrigen Umgebungstemperaturen über der Flüssigkeit nur wenig Dampf bildet.

## Anwendungsmöglichkeiten

- Detektion und Identifikation von chemischen Kampfstoffen (Loste, Lewisite, Nervenkampfstoffe) bei noch nicht tödlichen Konzentrationen (besonders durch Steigerung der Selektivität in Form von Dopanten)
- Detektion von Drogen und Explosivstoffen und deren Vorläufersubstanzen (bei entsprechender Bibliothek, besser mit sog. warmen IMS)

## Arbeitsplatzüberwachung

Detektion und Identifikation von Industriechemikalien bei entsprechenden Bibliotheken, in Abhängigkeit vom verwendeten Dopanten

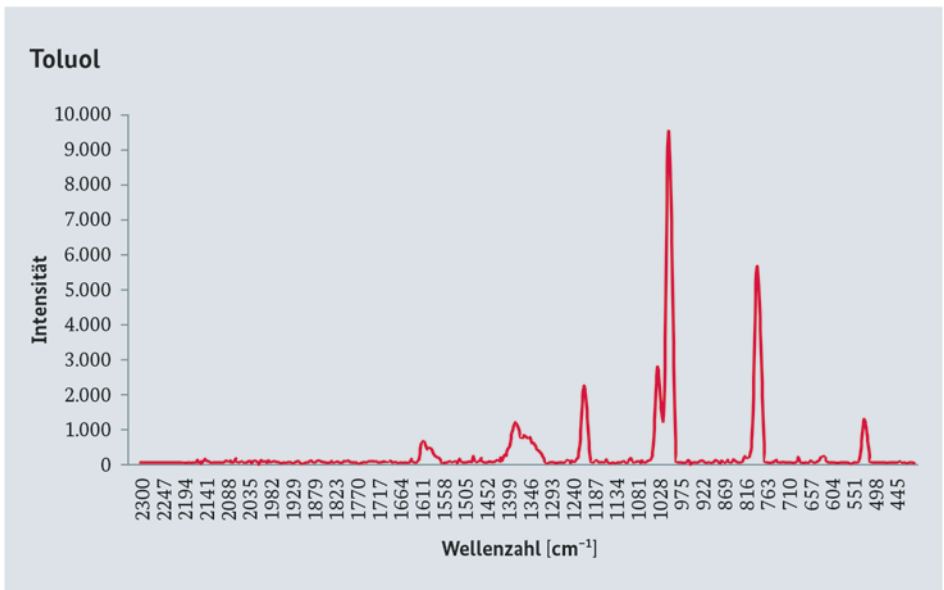
### 2.2.11 Raman-Spektroskopie

Kurzbeschreibung:	Nachweis von Stoffen über ihr Rotations-/Schwingungsspektrum durch Änderung der Polarisierbarkeit. Die Anregung erfolgt mit elektromagnetischer Strahlung einer Wellenlänge aus dem nahen Infrarot-Bereich.
Messtaktische Einsatzbreite:	Identifikation reiner organischer und anorganischer Stoffe
Probenmenge:	mg
Aggregatzustand:	flüssig, fest (gasförmig)
Personalanforderung:	mittel, Einweisung und spezielle Ausbildung erforderlich
Sicherheitsaspekte:	möglicherweise Laserschutzbeauftragter nach Arbeitsschutzverordnung zu künstlicher optischer Strahlung (OStrV) notwendig
Querempfindlichkeiten:	vereinzelt; in komplexen Proben sind Störungen wahrscheinlich; Reduzierung durch an den Nutzer angepasste Spektren-Bibliotheken

### Prinzip [17]

Bei der Raman-Spektroskopie wird Laserlicht (Licht einer Wellenlänge) im Bereich der nahen Infrarot-Strahlung auf die Probe fokussiert. Der Großteil des eingestrahlenen Lichts wird unverändert in seiner Frequenz von der Probe in alle Richtungen gestreut, ein sehr kleiner Teil tritt in Wechselwirkung mit den Probenmolekülen. Die Moleküle verlassen die angeregten instabilen Schwingungs- und Rotationszustände augenblicklich durch Emission von Licht mit charakteristischer Signatur. Das Streulicht setzt sich aus der Erregerstrahlung

und der Raman-Strahlung (Raman-Banden) zusammen. Ob ein Molekül bzw. die möglichen Schwingungszustände des Moleküls Raman-aktiv sind, hängt von der Polarisierbarkeit (Deformierbarkeit der Elektronenhülle) ab. Nur Schwingungen, bei denen ein Dipolmoment induziert wird, sind Raman-aktiv. Im Spektrometer erfolgt die Zerlegung des Streulichts, vom Austrittsspalt wird das Licht anschließend auf den Detektor geleitet und vielfach verstärkt (siehe Kapitel 2.2.12 Infrarot-Spektroskopie (ATR-FTIR)). Die Auftragung der Intensitäten gegen die Frequenz oder die Wellenzahl ergibt das Spektrum der untersuchten Probe. Wie in Abbildung 10 abgebildet, wird zur Vereinfachung allerdings meist nur ein Zweig der Raman-Banden dargestellt und auch die Erregerfrequenz ausgeblendet. Die Spektren sind für die jeweilige Erregerwellenlänge reproduzierbar und bilden die Grundlage der Stoffidentifizierung durch den Vergleich mit einer Spektrenbibliothek.



**Abbildung 10:** Raman-Spektrum von Toluol (reinst, 99,9%)

Allgemeine Informationen: Aufnahmedatum 16.8.2017,

Laserleistung 100 mW bei 785 nm, Messung erfolgte durch Braunglasflasche hindurch

Erläuterung: ~ 1609, 1212, 1032 und 1009 cm<sup>-1</sup>: Aromat, ~ 1382 cm<sup>-1</sup>: -CH<sub>3</sub>,

~ 525 und 787 cm<sup>-1</sup>: -CH<sub>3</sub> (an Benzolring)

Quelle: IBK

## Messung

Vor einer Probenmessung sollte der Gerätecheck durchgeführt werden, was oft ein Teil der Einschaltoutine ist. Geräte mit Laserquelle, wie sie heute fast ausschließlich genutzt werden, müssen nicht „warmlaufen“, um die maximale Strahlungsenergie zu erreichen.

Bei der Raman-Spektroskopie erfolgt eine zerstörungsfreie und berührungslose Messung, eine Reinigung des Gerätes zwischen den Probendurchläufen ist daher nicht nötig. Zur Messung stehen bei Geräten für die Gefahrenabwehr meist zwei Möglichkeiten zur Verfügung: die innere und die äußere Messung. Bei der inneren Messung werden flüssige oder feste Proben in Probenfläschchen abgefüllt und anschließend in einer im Gerät befindlichen Aufnahmevorrichtung vermessen. Das Fläschchen bildet dabei die Messküvette, die in diesem Fall leicht austauschbar ist, sodass Reinigungsarbeiten entfallen. Bei der äußeren Messung wird die flüssige oder feste Probe über eine Optik am Gerät direkt mit Raman-Strahlung beaufschlagt, sodass die Probe nicht in ein Probengläschen gefüllt werden muss, sondern direkt am aufgefundenen Ort gemessen werden kann. Bei einigen Geräten besteht die Möglichkeit, mittels eines flexiblen Probenkopfes (Lichtleitersonde) an schwer zugänglichen Stellen Außenmessungen durchzuführen. Bei der Raman-Spektroskopie besteht zudem die Möglichkeit, mittels der äußeren Messung Proben durch ausgewählte Verpackungsmaterialien hindurch zu vermessen, ohne diese öffnen zu müssen. Die Materialien müssen allerdings zumindest durchscheinend sein und dürfen nicht zu dick sein (Fokus in Probe). Auch die Messung brauner Probenfläschchen bzw. Laborglasflaschen ist also möglich.

Je dunkler eine Probe ist, desto stärker ist allerdings auch ihr Absorptionskoeffizient. Hierdurch kann es bei Feststoffen, die infolge schlechterer Wärmeleitung (geringe Beweglichkeit der Moleküle im Gitter; Pulver mit geringen Kontaktflächen) die örtlich eingetragene Energie schlecht ableiten können, zu einer lokalen Überhitzung und Pyrolyse der Probe, bei thermolabilen Proben gar zur (Ent-)Zündung oder Explosion kommen.

Um „milde“ Messbedingungen zu erreichen, kann bei Verdacht bzw. Hinweis auf thermolabile Stoffe die Laserleistung abgesenkt, die Messung zeitverzögert durchgeführt oder auch die Belichtungszeit und die Messzeit variiert werden. Diese Optionen sind jedoch geräteabhängig und verlangen Erfahrung im Umgang mit Raman-Spektrometern.



## Auswertung

Neben der automatischen Auswerteroutine, die zu entsprechenden Stoffvorschlägen und zur Bewertung des Grades der Übereinstimmung bzw. Richtigkeit des Ergebnisses (zum Teil nur als Farbcode ausgegeben) führt, besteht die Möglichkeit der visuellen Prüfung der automatischen Auswertung durch Vergleich von Mess- und Referenzspektrum. Unterstützt wird dies durch die Möglichkeit der Überlagerung beider Spektren, des Vergrößerns von Bereichen sowie des Hinzuladens des Spektrums eines vermuteten Stoffes oder älterer Messungen. Das Referenzspektrum ist Teil der Gerätebibliothek. Einige Gerätehersteller bieten dem Bediener/Käufer an, eigene vermessene Spektren in die Bibliothek aufzunehmen und diese dadurch zu erweitern.

Soweit das Ergebnis mehrere mögliche Treffer ausweist, ist deren Plausibilität und Richtigkeit zu prüfen. Zugleich macht eine solche Stoff- oder Trefferliste deutlich, wie unsicher ein Ergebnis ist. Andererseits kann die Auflistung mehrerer stofflich sehr ähnlicher Treffer eine Identifizierung auch unterstreichen, auch wenn sie mit entsprechender Unschärfe verbunden ist.

Neuere Geräte verfügen darüber hinaus meist über einen Gemisch-Auswertalgorithmus, der der Identifizierung der Stoffe einfacher Mischungen bzw. Lösungen dient. Leider weiß man bei einer unbekanntnen Probe nichts über ihre Zusammensetzung. Bei der Bewertung der Ergebnislösung einer Gemischidentifizierung muss man sich daher stets die engen Grenzen des Verfahrens vor Augen halten. Die Auswertprogramme führen grundsätzlich nur einen Mustervergleich durch. Da die Spektrenbibliothek begrenzt ist und beliebige Mischungen von Stoffen möglich sind, sind zwangsläufig Fehlinterpretationen möglich. Es kann sich nicht selten um völlig andere Stoffe bzw. Gemische handeln.

Viele Geräte für die Gefahrenabwehr bieten zudem einen Verweis auf eine Gefahrstoffdatenbank für die weitere Bewertung oder auch zur Prüfung der Plausibilität der Identifizierung. Zumindest werden jedoch der Stoffname und die CAS-Nummer als Mittel zur Suche in Gefahrstoffdatenbanken ausgewiesen.

## Hinweise für den Anwender

Beim Arbeiten mit mobilen Raman-Spektrometern muss in Deutschland meist eine Laserschutzbrille getragen werden. Hiervon kann bei entsprechender Arbeitsplatzbewertung und Nutzung durch geschultes Personal in begründeten Fällen abgewichen werden. Der Laserschutzbeauftragte muss eine

Gefährdungsbeurteilung und Arbeitsanweisung erstellen und für die Nutzer des Gerätes regelmäßig Laserschutzschulungen durchführen.

Während der Messung ist darauf zu achten, dass es nicht zu einer Reflexion der Laserstrahlung durch das Material der Arbeitsunterlage sowie der Wandverkleidung kommen kann. Bei thermolabilen Proben kann es durch die Laserstrahlung zur Entzündung bis hin zur Explosion dieser Probe kommen.

Werden die Schutzmaßnahmen jedoch beachtet, ermöglichen die robusten Geräte unter den richtigen Voraussetzungen eine schnelle Identifizierung unbekannter fester und flüssiger Proben aus den Bereichen der Kohlenwasserstoffe sowie organischer Anionen. Deutlich weniger gut bzw. nur im Einzelfall nachweisbar sind:

- wässrige Lösungen bzw. verdünnte Proben und Gemische,
- biologische Materialien, da der Nachweis meist durch stärkere Fluoreszenz-Anregung gestört ist,
- komplexer gebaute anorganische Anionen,
- Mineralien und komplexer gebaute Metalloxyde,
- Nichtmetalle wie elementarer Schwefel und Phosphor.

Selten stimmen Proben- und Referenzspektren hundertprozentig überein, deshalb ist es notwendig, das Ergebnis mit dem eigenen Hintergrundwissen auf Plausibilität zu prüfen. Das gilt vor allem, wenn das Gerät voreingestellte Warnungen für das Auftreten bestimmter Bandenkombinationen, wie bei biologisch aktivem Material, ausgeben kann.

Die Vergleichsbibliothek limitiert die positive Identifikation der unbekanntem Stoffe. Der Anwender muss sich vor dem Kauf überlegen, welche Stoffe bzw. welche Teilbibliotheken für seine Anwendungen von Bedeutung sind.

### **Grenzen der Messtechnik**

Trotz der Raman-Inaktivität von Wasser benötigen gelöste Stoffe in wässrigen Lösungen zur sicheren Identifizierung eine Mindestkonzentration.

Nach vorheriger Anregung mit elektromagnetischer Strahlung emittieren einige Stoffe Licht – sie fluoreszieren. Vor allem sichtbares und UV-Licht kann diesen

Prozess auslösen, hier wäre eine Innenmessung unter Lichtabschluss zu bevorzugen. Dennoch wird auch bei Anregungswellenlängen von 768 nm, wie sie sich für viele Kohlenwasserstoffe empfehlen, in insbesondere biologischen Materialien und anorganischen Stoffen in deutlich erhöhtem Maße Fluoreszenz angeregt. Dies kann eine Identifizierung u. U. unmöglich machen, da die Fluoreszenz das Raman-Spektrum zu stark überlagert und natürlich auch Anregungsenergie kostet. Hilfreich zur Beurteilung der Qualität der Probe ist es, wenn Raman-Spektrometer während der Messung einen Hinweis auf die Intensität der Fluoreszenz geben.

Sollen verstärkt anorganische Stoffe (wie Sprengstoffe oder komplexe Anionen) sowie biologische Materialien untersucht werden, empfiehlt sich eher ein Gerät mit 1064 nm Anregungsfrequenz. Hier ist die Fluoreszenzanregung deutlich geringer. Vereinzelt werden auch Geräte angeboten, die es erlauben, eine Probe bei beiden Wellenlängen zu vermessen. Darüber hinaus gibt es Verknüpfungen von Raman- und IR-Spektrometern im Sinne der gemeinsamen Auswertung, teilweise sogar in einem gemeinsamen Gehäuse. Die Idee ist grundsätzlich gut, da sich beide Spektrometertypen in idealer Weise ergänzen, beide die Schwingungsmöglichkeiten der Moleküle analysieren, diese den Verfahren jedoch nur wechselseitig zugänglich sind.

Die Raman-Spektroskopie ermöglicht v. a. die Identifizierung reiner Stoffe sowie definierter Mischungen und Lösungen auf Basis des Vergleiches von Proben und Bibliotheksspektrum. Liegen Feststoffgemische vor, zu denen kein Spektrum hinterlegt ist, gibt es dennoch die Möglichkeit, diese mittels Gemisch-Auswerterroutine qualitativ und halbquantitativ zu untersuchen. Allerdings erfolgt dies auf Basis der hinterlegten Einzelstoffspektren, d. h. letztlich durch bloßes Probieren. Das Ergebnis ist daher wenig belastbar. Drei Komponentengemische überfordern Raman-Spektrometer bereits häufig. Die Angaben der Mengenverhältnisse sind nur eingeschränkt nutzbar. Sie geben nur annäherungsweise die realen Mengenverhältnisse wieder, d. h., die quantitativen Analysen sind mit hohen Fehlern belastet.

Nicht nachweisbar sind Stoffe mit überwiegender Ionenbindung (d. h. einfache Salze wie NaCl, KF), die meisten Oxide und Elemente einschließlich der Metalle und Legierungen und die Kationen von Salzen.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifikation von unbekanntem Flüssigkeiten und Feststoffen
- Sehr gute Ergänzung zur FTIR-Spektroskopie (komplementäre Methode)

- Untersuchung von gelösten Stoffen (bei hoher Konz.) in wässrigen Lösungen
- Außenmessungen an schwer zugänglichen Proben und Messung im Proben- gebinde bzw. -Verpackung
- Messungen durch durchscheinende Verpackungen

### 2.2.12 Infrarot-Spektroskopie (ATR-FTIR)

**Kurzbeschreibung:** Nachweis von Stoffen über ihr Rotations-/Schwingungsspektrum durch Änderung des Dipolmoments. Die Anregung erfolgt mit elektromagnetischer Strahlung im breitbandigen mittleren Infrarot-Bereich.

**Messtaktische Einsatzbreite:** primär: Identifikation, sekundär: Quantifizierung

**Probenmenge:** mg  
abhängig von geräte- und softwarespezifischen Eigenschaften, vom Probencharakter und äußeren Einflüssen

**Aggregatzustand:** flüssig, fest, (gasförmig)

**Personalanforderung:** mittel, Einweisung und spezielle Ausbildung erforderlich

**Querempfindlichkeiten:** vereinzelt; in komplexen Proben sind Störungen wahrscheinlich; Reduzierung durch an den Nutzer angepasste Spektrenbibliotheken

### Prinzip

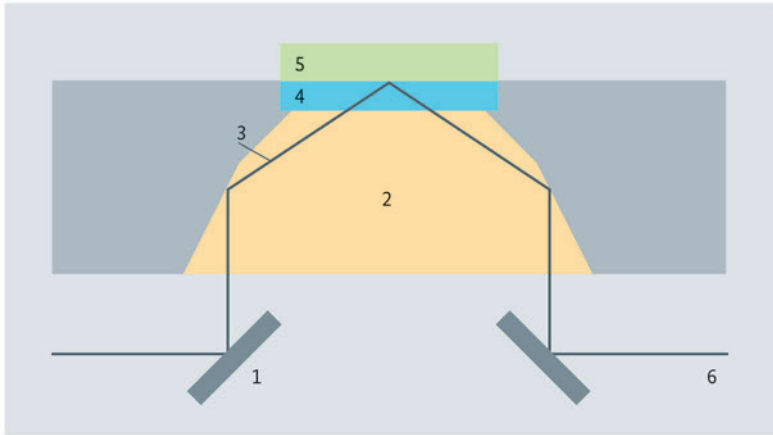
Der für IR-Spektrometer in der Gefahrenabwehr genutzte spektrale Bereich liegt im elektromagnetischen Spektrum zwischen den Wellenlängen 2 und 25  $\mu\text{m}$ . Häufig wird die Wellenzahl, der Kehrwert der Wellenlänge, angegeben:  $400\text{ cm}^{-1}$  (25  $\mu\text{m}$ ) bis  $4.000\text{ cm}^{-1}$  (2,5  $\mu\text{m}$ ). [18] Dieser Teil der IR-Strahlung kann mit IR-aktiven Rotationen und Schwingungen in Wechselwirkung treten. Schwingungen und Rotationen eines Stoffes sind IR-aktiv, wenn sich dabei ihr Dipolmoment ändert. Dipole liegen vor, wenn sich die Elektronegativitäten im Molekül stark unterscheiden. Dabei ist es unerheblich, ob das Dipolmoment permanent vorhanden ist (z. B.

Wasser) oder erst durch Schwingungen und Rotationen induziert wird (z. B. Kohlenstoffmonoxid). Stimmt die Energie der IR-Strahlung mit den Schwingungs- und Rotationsenergieniveaus im Molekül überein, kommt es zur Energieabsorption in der Probe und somit zur Abnahme der eingebrachten Strahlungsintensität. [19]

Es gibt unterschiedliche Techniken der IR-Spektroskopie, hier soll näher auf die Fourier-Transformations-IR-Spektroskopie (FTIR) mit abgeschwächter Totalreflexion (ATR) eingegangen werden. Sie ist eine einfache Art der Probenmessung (siehe Abbildung 11). Der entscheidende Vorteil liegt in der stark reduzierten Probenvorbereitung.

Die Grundlage für die FTIR-Spektroskopie bildet ein Michelson-Interferometer (siehe Abbildung 12). Die von der Lichtquelle (1) erzeugte Strahlung (2) wird von dem Strahlteiler (3) zum Teil durchgelassen und trifft auf den festen Spiegel (4), gleichzeitig wird ein Teil reflektiert und trifft auf den beweglichen Spiegel (5). Beide vollständig reflektierenden Spiegel werfen das Licht zurück auf den Strahlteiler. Aufgrund des beweglichen Spiegels haben die geteilten Lichtwellen jedoch unterschiedlich lange Wegstrecken, es kommt zur Phasenverschiebung der Wellen.

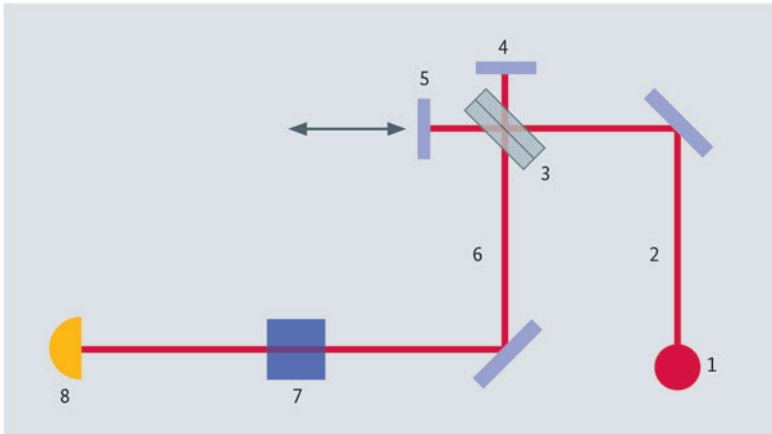
Nach dem Strahlteiler werden die phasenverschobenen (interferierenden) Wellen wieder zusammengeführt und überlagert (6). Das erhaltene Interferogramm durchdringt die Probe (7) und wird dabei durch eventuelle Energieabsorptionen geschwächt (8). Dieses abgeschwächte Interferogramm wird über ein mathematisches Verfahren, die Fourier-Transformation, in ein Transmissionsspektrum umgewandelt.



**Abbildung 11:** Schematische Darstellung eines ATR-Spektrometers

Quelle: eigene Abbildung

Ausgehend von den wieder zusammengeführten Strahlen des Michelson-Interferometers (1) gelangen diese bei der ATR-Methode auf eine Fokussierungslinse aus Zinkselenid (ZnSe) (2). Die fokussierte Strahlung (3) gelangt in einen Diamantkristall (4) und wird im Winkel der Totalreflexion 1 bis 2  $\mu\text{m}$  tief in die Probe eingestrahlt (5). Die geringe Eindringtiefe hat den Vorteil, dass die Lichtstreuung beim Zusammentreffen von Strahlung und Probe reduziert wird, was ein besseres Signal zum Rauschverhältnis zum Ergebnis hat. Die Strahlung wird anschließend über den Fokussierungskristall auf den Detektor reflektiert (6) und, wie oben beschrieben, über mathematische Berechnungen in ein Transmissionsspektrum umgewandelt. [20]



**Abbildung 12:** Schematische Darstellung eines Michelson-Interferometers  
Quelle: eigene Abbildung

## Messung

Vor einer Probenmessung sollte der Gerätecheck durchgeführt werden, was oft ein Teil der Einschalt routine ist. Die Geräte müssen gegebenenfalls eine gewisse Zeit „warmlaufen“, um ein konstantes Strahlungsspektrum zu erzielen und die maximale Strahlungsenergie zu erreichen.

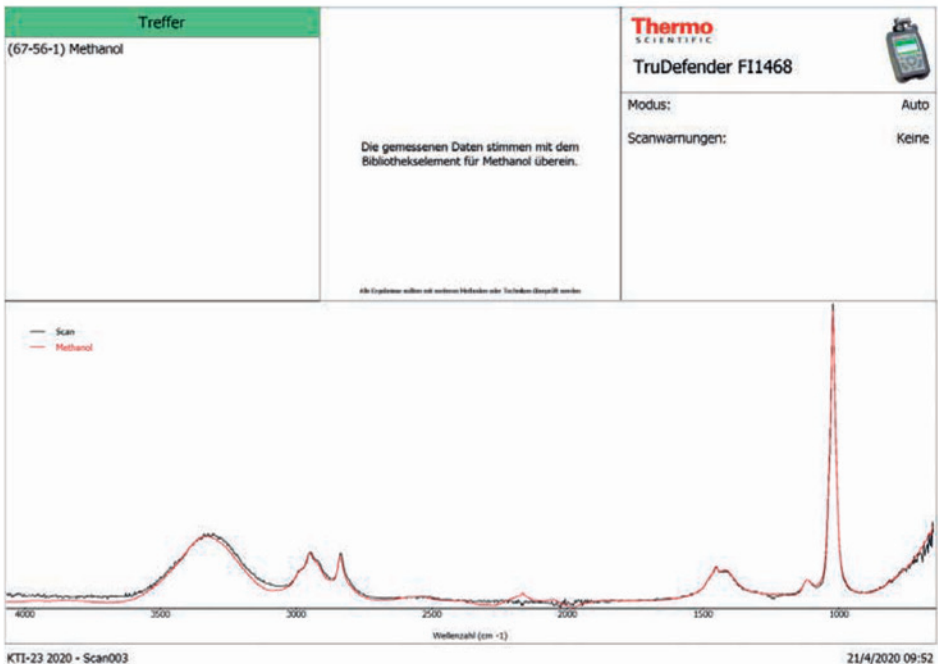
Ist das Gerät messbereit, müssen der Probenkristall sowie der Andruckstempel noch einmal gereinigt werden. Vor der eigentlichen Probenmessung muss ein Nullspektrum ohne Probe als Hintergrundmessung aufgenommen werden.

Ist die Probe platziert, kann die eigentliche Messung gestartet werden. Das Gerätedisplay zeigt im Ergebnis der Auswertung das Spektrum der Probe (siehe Abbildung 13) sowie bei automatischer Auswertung auch das Ergebnis des Spektrrenabgleiches mit der hinterlegten Spektrenbibliothek, d. h. das Ergebnis der Identifizierung, an. Erhalten wird grundsätzlich eine Liste von Stoffen/Gemischen nach Grad der Muster-Übereinstimmung (Trefferliste). Manche Spektrometer zeigen nur die Treffer mit einer Mindestübereinstimmungsgüte, meist unter Nutzung eines Farbcodes zur Unterscheidung von sehr guter und guter Übereinstimmung.

Wird in der Auswerteroutine ein Gemisch unterstellt, wird bei geringerer Übereinstimmung zwischen Proben- und Bibliotheksspektrum in der Regel ein Gemisch

ausgewiesen. Die Ergebnisgüte ist in diesem Fall allerdings begrenzt. Grundsätzlich kann es völlig falsch sein (vgl. Aussagen zu Raman-Spektrometern).

Mit der ATR-FTIR-Spektroskopie können Flüssigkeiten und Feststoffe vermessen werden. Bei Flüssigkeiten genügt es, wenn man 1 bis 2 Tropfen auf den Probenkristall tropft. Bei Flüssigkeiten mit einem hohen Dampfdruck (schnelles Verdampfen) ist ein spezielles Probenreservoir bzw. eine Abdeckung erforderlich, um das Verdampfen zu verzögern, sodass während der Messung eine möglichst unveränderte Probe aufliegt. Zur Verdichtung und Verbesserung des Kontaktes mit dem Kristall werden Feststoffe mit einem Andruckstempel fixiert, wobei pulverförmige Stoffe vorher fein gemörsert werden sollten. Beides ist für die Ergebnisgüte wesentlich.



**Abbildung 13:** IR-Spektrum von Methanol (reinst, 99,9 %)

Allgemeine Informationen: x-Achse: Wellenzahl ( $\text{cm}^{-1}$ ), y-Achse: Transmission

Banden:  $\sim 2.800\text{--}3.500\text{ cm}^{-1}$ : OH-Bindung,  $\sim 2.780\text{--}3.000\text{ cm}^{-1}$ : starke H-Brückenbindung (O-H),

$\sim 1.450\text{ cm}^{-1}$ :  $\text{CH}_3$ -Bindung,  $\sim 1020\text{ cm}^{-1}$ : C-O-Bindung (primärer Alkohol)

Quelle: IBK



## Auswertung

Es besteht die Möglichkeit einer Überlagerung von Mess- und Referenzspektrum. Das Referenzspektrum ist Teil einer beim Kauf des Gerätes ausgewählten Bibliothek. Einige Gerätehersteller bieten dem Bediener/Käufer an, eigene vermessene Spektren in die Bibliothek aufzunehmen und diese dadurch zu erweitern.

Viele Geräte für die Gefahrenabwehr bieten zudem einen Verweis auf eine Gefahrstoffdatenbank für die weitere Bewertung und auch zur Prüfung der Plausibilität der Identifizierung. Zumindest werden jedoch der Stoffname und die CAS-Nummer als Mittel zur Suche in Gefahrstoffdatenbanken ausgewiesen.

## Hinweise für den Anwender

Die Geräte sind robust und ermöglichen eine schnelle und sichere Identifizierung unbekannter fester und flüssiger Proben aus den Bereichen der Kohlenwasserstoffe sowie organischer Anionen. Deutlich weniger gut bzw. nur im Einzelfall nachweisbar sind:

- wässrige Lösungen bzw. verdünnte Proben und Gemische,
- biologische Materialien,
- komplexer gebaute anorganische Anionen,
- Mineralien und komplexer gebaute Metalloxide.

Nicht nachweisbar sind Stoffe mit überwiegender Ionenbindung (d. h. einfache Salze wie NaCl, KF), die meisten Oxide und Elemente einschließlich der Metalle und Legierungen und die Kationen von Salzen.

Der Probenkristall sowie der Andruckstempel sollten vor jeder Messung gereinigt werden, um Probenverschleppungen zu vermeiden. Selten stimmen Proben- und Referenzspektren hundertprozentig überein, deshalb ist es notwendig, das Ergebnis mit dem eigenen Hintergrundwissen auf Plausibilität zu prüfen. Das gilt vor allem, wenn das Gerät voreingestellte Warnungen für das Auftreten bestimmter Bandenkombinationen, wie bei biologisch aktivem Material, ausgeben kann.

Die Vergleichsbibliothek limitiert die positive Identifikation der unbekanntesten Stoffe. Der Anwender muss sich vor dem Kauf überlegen, welche Stoffe bzw. welche Teilbibliotheken für seine Anwendungen von Bedeutung sind.

Vom Hersteller angebotene Anreicherungssets bieten einen erweiterten Handlungsspielraum (z. B. Untersuchung von Wischproben), sie setzen jedoch auch einige Erfahrung voraus und sind in ihrer Anwendung begrenzt.

Beim Verdacht auf einen Explosivstoff muss zwingend beachtet werden, dass der Andruckstempel berührungs- und druckempfindliche Explosivstoffe entzünden kann. Vor Durchführung der Messung muss in solchen Fällen abgeklärt werden, ob ein begründeter Verdacht auf diese vorliegt.

### **Grenzen der Messtechnik**

Gelöste Stoffe in wässrigen Lösungen oder verdünnte Proben benötigen eine Mindestkonzentration. Selbst die Erfüllung dieser Vorgabe führt oft zu keinem aussagekräftigen Ergebnis. Es gibt zudem die Möglichkeit, Feststoffgemische über eine Gemischanalyse qualitativ und halbquantitativ zu untersuchen. Die Zusammensetzung sollte jedoch nicht anspruchsvoll sein, und die Angaben der Mengenverhältnisse müssen beachtet werden. [21] Nicht bzw. nur begrenzt nachweisbar sind anorganische Anionen und Kationen, Stoffe mit Ionenbindungen, Mineralien und Metalloxide, elementare Stoffe, Metalle und Legierungen.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifikation von unbekanntem Flüssigkeiten und Feststoffen einschließlich biologischen Materials
- Sehr gute Ergänzung zur Raman-Spektroskopie (komplementäre Methode)

#### **2.2.13 Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung**

Kurzbeschreibung: Nachweis von Gasen und Dämpfen über ihr Rotations-Schwingungsspektrum aus mehr oder weniger großer Entfernung unter Nutzung des Temperaturunterschiedes zwischen Wolke und Hintergrund (passive FTIR-Spektroskopie)

Messtaktische Einsatzbreite: primär: Identifikation, sekundär: Quantifizierung (nur mit mehreren Geräten)

Aggregatzustand: gasförmig, flüssig

Personalanforderung:	hoch, erweiterte Vorkenntnisse erforderlich
Querempfindlichkeiten:	erhöht, in komplexen Matrizes sind Störungen zu erwarten

## Prinzip

Grundlegendes Prinzip der FTIR-Spektroskopie siehe Kapitel 2.2.12.

Eine charakteristische Besonderheit der Fernerkundungs-FTIR-Spektroskopie bildet der Verzicht auf eine aktive IR-Quelle. Die Messung stützt sich allein auf den Temperaturunterschied zwischen Schadstoffwolke und Hintergrund. Ist die Temperatur des Hintergrundes höher, erhält man, wie bei der aktiven Infrarotspektroskopie, ein Absorptionsspektrum. Ist die Wolkentemperatur erhöht, emittiert die Wolke IR-Strahlung. Die Signatur dieses Emissionsspektrums enthält die Signatur der vorhandenen Stoffe. In beiden Fällen wird das erhaltene Strahlungsspektrum von zuvor definierten Störstoffen (z. B. Atmosphärgase wie Kohlenstoffdioxid) vom Hintergrund bereinigt, sodass im Idealfall die Signatur des nachzuweisenden Fremdstoffes übrig bleibt.

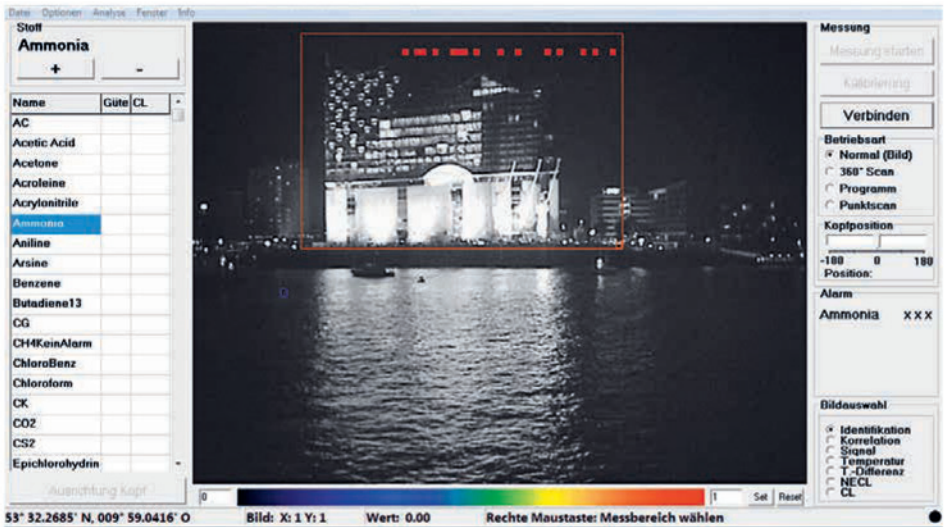
In der Praxis unterliegt das Verfahren zahlreichen Einflüssen. Wesentlich ist insbesondere eine möglichst große Temperaturdifferenz zwischen Wolke und Hintergrund. Diese kann durch die Wahl des Standortes beeinflusst werden, unterliegt allerdings Grenzen, die sich aus der Jahres- und Tageszeit, Bedeckung des Himmels sowie den Freisetzungsbedingungen des Schadstoffes ergeben. Ebenso wichtig ist die Konzentration und Tiefe der Schadstoffwolke, deren Produkt als Säulendichte bezeichnet wird. Die Nachweisgrenze wird daher auch nicht in ppm, sondern ppm\*m angegeben. All die zuvor genannten Faktoren haben einen Einfluss auf die maximale Detektionsentfernung bzw. -empfindlichkeit. Dies bedeutet, dass bei optimalen Bedingungen, d.h. sehr hohe Temperaturdifferenz, hohe Konzentration des Zielstoffes und einer großen Säulendichte eine Detektion über mehrere Kilometer möglich ist. Einen seriösen Absolutwert für die maximale Detektionsentfernung kann aufgrund der vielen Einflüsse nicht angegeben werden. Einige Hersteller von passiven IR-Fernerkundungssystemen geben eine Detektionsentfernung bei zuvor klar definierten Randbedingungen (Eigenschaften der Atmosphäre und der Gefahrstoffwolke) von 2 bis 5 km an. Diese Randbedingungen können jedoch im realen Einsatz stark abweichen.

Die technische Grundlage für die passive FTIR-Spektroskopie bildet meist ein wie in Kapitel 2.2.12, Abbildung 12 dargestelltes Interferometer.

Bei der passiven FTIR-Spektroskopie wird die Probe jedoch nicht im Gerät zwischen einer künstlichen IR-Quelle und dem Detektor analysiert, sondern der natürliche Hintergrund als IR-Quelle (1) genutzt. [22] Die gemessene Strahlung enthält somit die gesamte Signatur des Hintergrundes sowie die Signaturen der Moleküle der Wolke und der Atmosphäre zwischen dem Hintergrund und dem Spektrometer.

Grundsätzlich könnte die Umgebung mit einem solchen Gerät punktuell analysiert werden. Die große Geschwindigkeit der Analyse erlaubt es jedoch, Areale automatisch abzutasten bzw. mit entsprechend konfigurierten Geräten eine Art Sofortbild eines Areals aufzunehmen (abbildende bzw. orts aufgelöste Infrarotspektroskopie).

Dazu bedarf es einer angepassten Kombination des Michelson-Interferometers mit einem Detektor. Die oben bereits genannten zwei prinzipiellen Möglichkeiten stützen sich apparativ auf einen Single-Spot-Detektor oder einen Focal-Plane-Array-Detektor (FPA-Detektor). Der Single-Spot-Detektor enthält lediglich ein einzelnes Detektorelement, wodurch die einzelnen Messpunkte nacheinander aufgenommen werden müssen, d. h. das Areal abgetastet werden muss. Dies hat zur Folge, dass die Messpunkte des orts aufgelösten Identifikationsbildes die Gesamtsituation nicht zum gleichen Zeitpunkt abbilden. Aus diesem Grund ist dieses Verfahren zur Bestimmung der realen Ausdehnung einer sich bewegenden Gefahrstoffwolke weniger gut geeignet. Im Gegensatz dazu wird beim FPA-Detektor ein Array mit beispielsweise  $256 \times 256$  Bildpunkten verwendet, die gleichzeitig belichtet werden, wodurch die Spektrenaufnahme parallelisiert und so die Messzeit erheblich verkürzt wird. In Abbildung 14 ist ein orts aufgelöstes Identifikationsbild mit entsprechenden Messpunkten dargestellt.



**Abbildung 14:** Ortsaufgelöstes Identifikationsbild mittels passiver FTIR-Fernerkundung

Erklärung: Dieses Bild wurde mit dem SIGIS2 von der ATF Köln während des G-20-Gipfels 2017 in Hamburg aufgenommen. Es zeigt die Identifikation von Ammoniak in unmittelbarer Nähe der Elbphilharmonie. Als Quelle des Ammoniaks könnte die große Fahrzeugkolonne des US-Präsidenten in Frage kommen, welche in diesem Moment vor dem Gebäude stand. Es handelt sich um Diesel-Fahrzeuge mit AdBlue® (Gemisch aus demineralisiertem Wasser und Harnstoff).

Quelle: ATF Köln

Die durch die Gefahrstoffwolke hervorgerufene Signaländerung ist für kleine Temperaturdifferenzen proportional zur Differenz zwischen der Temperatur der Wolke und der Strahlungstemperatur des Hintergrundes. Das Signal ist außerdem eine Funktion des Integrals der Teilchenzahldichte entlang des optischen Weges, der sogenannten Säulendichte. Die Wahrscheinlichkeit einer Detektion ist damit abhängig von der Tiefe der Wolke, von der Teilchendichte und von der Temperaturdifferenz zum Hintergrund.

## Messung

Vor einer automatisierten Analyse sollte eine radiometrische Kalibrierung des Fernerkundungssystems durch Messung eines Referenz-Infrarotstrahlers bei zwei unterschiedlichen Temperaturen erfolgen. Um die Qualität der Analyse auf einem konstant hohen Niveau zu halten, ist eine regelmäßige Wiederholung des Kalibriervorgangs erforderlich. Hierzu wird ein beheizter Schwarzkörperstrahler mit

einer gerippten Oberfläche verwendet, welcher in den Strahlengang zwischen Eintrittsfenster und Interferometer gefahren wird. Einfallende Strahlung wird an der Oberfläche des Schwarzkörpers mehrfach reflektiert, sodass der größte Teil absorbiert und nur ein sehr kleiner Teil in das Interferometer eingekoppelt wird. Die vom Detektor gemessene Strahlungstemperatur entspricht in sehr guter Näherung der des Schwarzkörpers.

Parallel zum Spektrometer befindet sich meist eine Videokamera, mit welcher zeitlich parallel zur Schadgasmessung Bilder des Zielgebietes aufgenommen werden können. Diese Bilder werden als Hintergrund für die orts aufgelöste Darstellung der Ergebnisse des Analysealgorithmus verwendet. So können die visualisierten Gefahrstoffdetektionen unmittelbar einem Bereich im beobachteten Gebiet zugeordnet und Quellen von Gasfreisetzungen sowie die Ausdehnung von Gaswolken auf einen Blick erfasst werden.

Es stehen geräteabhängig verschiedene Analysemethoden zur Auswahl, die an das jeweilige Szenario angepasst werden können. Beim Bruker SIGIS 2 wendet man bei einem unbekanntem Stoff in unbekannter Umgebung die „Direktanalyse“ an. Diese ist auch standardmäßig voreingestellt. Sie analysiert jedes gemessene Spektrum für sich. Im Gegensatz dazu wird bei den anderen Analysemethoden eine Differenzbetrachtung durchgeführt, je nach Auswahl zu einzelnen Bildpunkten oder zu ganzen Bildern.

Um eine genügend große Temperaturdifferenz zwischen Gefahrstoffwolke und Hintergrund zu gewährleisten, ist der Hintergrund bzw. Aufstellort sorgfältig auszuwählen.

## **Auswertung**

Durch Überlagerung von Mess- und Referenzspektrum erhält man eine Identifikation der gemessenen Substanz. Die Referenzspektren sind Teil einer ausgewählten Bibliothek, welche vom Anwender mit eigenen vermessenen Spektren modifiziert werden kann. Weiterhin kann ein Ergebnisabgleich mit der Gefahrstoffdatenbank die Auswertung unterstützen.

## **Hinweise für den Anwender**

Es ist notwendig, das Ergebnis mit eigenem Hintergrundwissen auf Plausibilität zu prüfen.

Viele Permanentgase der Luft, wie insbesondere Luftfeuchte, Kohlendioxid, Methan, Ozon und Ammoniak absorbieren ebenfalls intensiv im IR-Bereich. Ein Schadstoff kann daher nur gut erkannt werden, wenn er sich gut von diesem Untergrund abhebt bzw. in anderen Bereichen absorbiert. Dies führt dazu, dass statt des gesamten IR-Spektrums eines Stoffes lediglich die Signatur in kleinen Bereichen zur Identifizierung genutzt wird. Hierdurch erhöhen sich Querempfindlichkeit und Störanfälligkeit. Problematisch ist auch, wenn die Spektren der Referenzbibliothek nicht real vermessen, sondern lediglich aus Spektrensammlungen extrahiert bzw. simuliert wurden. Hinzu kommt, dass bestimmte Wellenlängenbereiche gerätetechnisch schlecht zugänglich sind. Im Übrigen ist die IR-Aktivität der nachzuweisenden Stoffe sehr unterschiedlich und es kann auch nicht immer die intensivste Bande zur Identifizierung genutzt werden. Insgesamt bedeutet dies, dass die Identifizierungssicherheit der Fernerkundung begrenzt ist und die Verfahrensweise stoffspezifisch erhebliche NWG-Unterschiede aufweist. Die Vergleichsbibliothek limitiert die positive Identifikation der unbekannt Substanzen, spiegelt jedoch auch die begrenzten Möglichkeiten wider.

### **Grenzen der Messtechnik**

Ein Molekül kann verschiedene Schwingungszustände besitzen, jedoch sind nicht alle davon IR-aktiv. Nur Schwingungen, bei denen sich das Dipolmoment ändert, können detektiert werden.

Eine schnelle Identifizierung unbekannter flüssiger und gasförmiger Proben ist nur unter den richtigen Voraussetzungen möglich (große Temperaturdifferenz, hohe Teilchendichte, geringe Störgrößen).

Die Identifizierung von Stoffen in einer Mischung ist theoretisch möglich, wenn die jeweiligen Spektren der Mischungsbestandteile in der Bibliothek hinterlegt sind. Jedoch bedarf unter realen Einsatzbedingungen die Identifikation eines Reinstoffes bereits optimaler Bedingungen, demzufolge ist die Identifizierung von Gemischen im Einsatz eher schwierig.

### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifikation freigesetzter unbekannter Gase und Dämpfe
- Erfassung der räumlichen Dimension sowie der Ausbreitung einer Schadstoffwolke

### 2.2.14 Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)

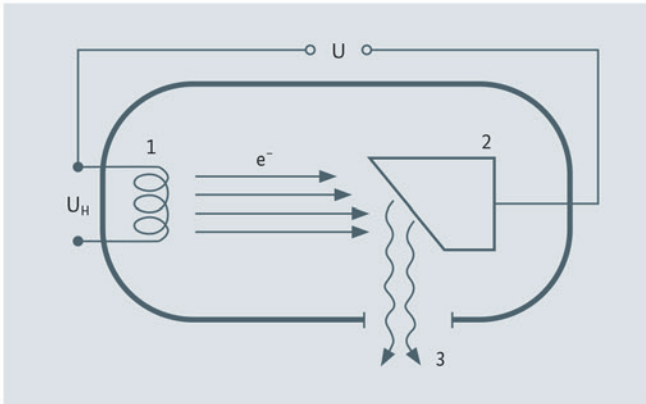
Kurzbeschreibung:	Nachweis der Elementzusammensetzung von Stoffen durch Wechselwirkung mit Röntgenstrahlung und nachfolgendem Aussenden von Fluoreszenzstrahlung
Messtaktische Einsatzbreite:	primär: Identifikation sekundär: Quantifizierung
Nachweisgrenze:	unterer ppm-Bereich
Aggregatzustand:	flüssig, fest
Personalanforderung:	hoch, erweiterte Vorkenntnisse erforderlich
Sicherheitsaspekt:	möglicherweise Strahlenschutzbeauftragter nach Röntgenverordnung (RöV) notwendig
Querempfindlichkeiten:	keine

#### Prinzip

Röntgenfluoreszenzanalysatoren bestehen aus einer anregenden Röntgenquelle, einem Detektor, welcher die Röntgenfluoreszenz der zu analysierenden Probe misst, und einer Recheneinheit, welche die gemessenen Spektren in eine semi-quantitative Materialanalyse überführt.

Abbildung 15 zeigt die Erzeugung von Röntgenstrahlung in einer Röntgenröhre. Die Kathode der Röntgenröhre wird im Vakuum beheizt (Spannung  $U_H$ ). Dabei kommt es zur Glühemission von Elektronen (Edison-Richardson-Effekt). Eine zwischen Kathode (1) und Anode (2) angelegte Beschleunigungsspannung ( $U$ , hier zwischen 8 und 45 kV (Kilovolt)) erzeugt aus den emittierten Elektronen einen Elektronenstrahl.





**Abbildung 15:** Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre  
Quelle: eigene Abbildung

Diese schnellen Elektronen treffen anschließend auf das Anodenmaterial und erzeugen dort unter anderem Röntgenstrahlung (3). Dabei werden zwei Mechanismen unterschieden:

**(1) Bremsstrahlung:** Ein Großteil der schnellen Elektronen wird nahe den positiv geladenen Atomkernen des Anodenmaterials durch Coulomb-Kräfte gebremst und gibt seine Bewegungsenergie in Form eines breitbandigen Strahlungskontinuums ab. Dieses Kontinuum besteht aus der gewünschten breitbandigen Röntgenstrahlung und Wärme.

**(2) Charakteristische Strahlung:** Andererseits können die schnellen Elektronen aus kernnahen Schalen des Anodenmaterials Elektronen herausschlagen. Elektronen aus höheren Schalen (Bohr'sches Atommodell)<sup>1</sup> „rutschen nach“ und geben ihren Energieüberschuss in Form von Strahlung ab. Dabei entstehen diskrete (scharfe) Spektrallinien (z. B.  $K\alpha$ - und  $K\beta$ -Linien), da die Energiedifferenz zwischen den Elektronenschalen eines Elementes nur bestimmte Beträge annehmen kann.

1 Die Darstellung der Atomhülle in Form von Schalen (Energiezustände). Die Schalen werden vom Atomkern, beginnend mit K, alphabetisch benannt.

## Messung

Die erzeugte primäre Röntgenstrahlung trifft über ein Strahlenaustrittsfenster auf die zu untersuchende Probe. Ist die Energie der Erreger-Röntgenstrahlung hoch genug, werden im zu analysierenden Material Elektronen der inneren Schalen herausgeschlagen. Dies führt, analog zur Erzeugung des charakteristischen Strahlungsanteiles der primären Röntgenstrahlung in der Röntgenröhre (Anregung), zur Emission einer charakteristischen sekundären (fluoreszierenden) Röntgenstrahlung. Diese Fluoreszenzstrahlung wird mittels eines geeigneten Detektors gemessen.

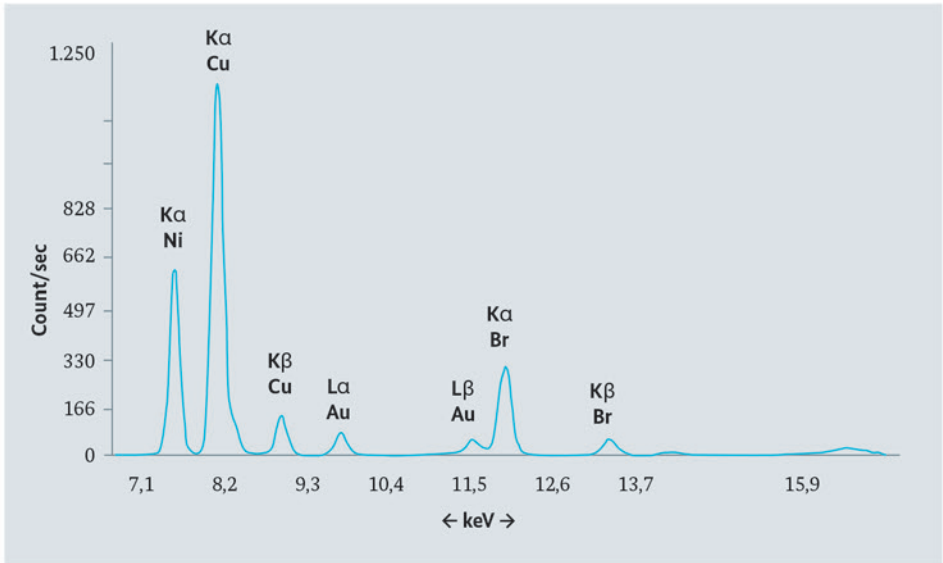
## Auswertung

Wie aus Abbildung 16 ersichtlich, sind die Energiebeträge der einzelnen Schalenübergänge elementspezifisch und werden als Emissionslinien bezeichnet. Durch einen Bibliotheksvergleich wird die Identität der messbaren Elemente einer Probe festgestellt. Die Intensität der Linien (Peakhöhe) ist ein Maß für die Konzentration des jeweiligen Elementes in der Materialprobe. Als Ergebnis wird die qualitative Zusammensetzung der Probe erhalten – als Elementliste bzw. Spektrum mit Linienzuordnung, je nach Gerätesoftware bzw. erworbenen Methoden aber auch in halbquantitativer Form in ppm bzw. %.

Beispiel 1: Bei chlorierten Kohlenwasserstoffen (z. B. PVC) wird nur Chlor erfasst.

Beispiel 2: Die Messung eines weißen Pulvers liefert die Elemente K und Cl. Auf Basis des Analyseergebnisses könnte es sich beispielsweise um Kaliumchlorid, Kaliumchlorat oder Kaliumperchlorat, aber auch Gemische mit Natrium oder Lithiumchlorid handeln. Eine Unterscheidung kann nicht getroffen werden.

Beispiel 3: Eine Goldmünze soll überprüft werden, jedoch beträgt die Informationstiefe hier nur wenige  $\mu\text{m}$  – es kann sich um eine 10- $\mu\text{m}$ -Vergoldung oder auch Massivgold handeln.



**Abbildung 16:** Röntgenfluoreszenzspektrum der Elemente Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Gold (Au) und Brom (Br)  
 Quelle: LKA Berlin  
 Geräteeinstellung: Thermo Fisher Scientific Niton XL2 XRF Analyzer im Modus Electronic Metals.  
 Die x-Achse stellt die Energie der vom Detektor empfangenen Röntgenstrahlung dar, die y-Achse deren Intensität.

### Hinweise für den Anwender

- Der Betrieb von mobilen Röntengeräten erfordert (je nach Bundesland) einen Strahlenschutzbeauftragten nach Röntgenverordnung (RÖV).
- Elemente unterhalb Ordnungszahl 12 sind mit Handheld-Systemen nicht zugänglich. Organische Stoffe sind daher bis auf den Nachweis der potenziellen Heteroatome P, S, Cl, Br, J, As u. a. schwerer Elemente nicht zugänglich.
- Die RFA zeigt eine starke Abhängigkeit von Nachweisgrenze und Empfindlichkeit von der Elementarzusammensetzung der Probe bzw. Probenumgebung (sog. Matrix-Effekte). Insofern gelingt eine belastbare quantitative Analyse nur bei bekannter Probencharakteristik und entsprechend kalibrierter Auswertemethode. Die Eignung der Geräte zur Analyse unbekannter chemischer Stoffe im Gefahrstoffeneinsatz sollte durch Erwerb entsprechender Methoden

sichergestellt werden. Derzeit sind dies meist relativ unspezifische Methoden für Umweltproben, die für den Bereich der Mineralanalyse entwickelt wurden (z. B. Minerale Cu/Zn). Die Eignung der Methoden für den vorgesehenen Einsatz sollte vor Erwerb geprüft werden bzw. seitens des Anbieters belegt sein. Aufgrund der großen Bandbreite der Elementarzusammensetzung potentieller Substanzen sind dennoch nur halbquantitative Aussagen möglich (vgl. Beispiele).

- Die Modi decken, da sie anwendungsbezogen konzipiert werden, i. a. R. nicht das komplette PSE (Periodensystem) ab, sodass immer ergänzend die Spektren direkt angesehen werden müssen!
- Die Methoden sind kombinierte Auswerte- und Messmethoden. Neben der Festlegung in die Auswertung einzubeziehender Elemente enthalten sie Festlegungen zur Spektrenaufnahme, wie insbesondere zum eingesetzten Filter. Leichte Elemente sollten beispielsweise mit Leichtfilter gemessen werden! – Hier wird mit weniger Energie angeregt und schwerere Elemente werden somit ausgeblendet.
- Zu beachten sind auch die unterschiedliche Eindringtiefe der Erregerstrahlung und die Schwächung der ausgelösten Fluoreszenzsignale (vgl. Grenzen der Messtechnik).

### **Grenzen der Messtechnik**

Je höher die Ordnungszahl der zu analysierenden Elemente ist, desto höher ist auch die Energie der notwendigen Röntgenstrahlung, um kernnahe Elektronen herauszuschlagen (damit steigt auch die Energie der Fluoreszenzstrahlung). Materie schwächt Strahlung. Die Eindringtiefe der primären Röntgenstrahlung hängt von der Energie der Strahlungsquelle und der Materialbeschaffenheit ab. Die Eindringtiefe liegt je nach Material zwischen  $\sim 0,6$  mm und 40 cm (Schwächung auf  $< 0,1$  % und Röntgenröhre max. 50 keV).

Die im Material erzeugte sekundäre Strahlung (Fluoreszenz) hat eine geringere Energie und kann demzufolge die Informationen weniger weit transportieren. Beide Effekte zusammen bewirken die Informationstiefe des Verfahrens (Eindringtiefe  $\neq$  Informationstiefe).

Folgen:

- Elemente unterhalb der Ordnungszahl 12 (Natrium) können mit einer handgehaltenen RFA nicht bestimmt werden, da die ausgelöste Fluoreszenzstrahlung den Detektor nicht bzw. stark geschwächt und nur extrem matrix-abhängig erreicht.
- Je nach Material liegt die Informationstiefe bei wenigen  $\mu\text{m}$  bis zu einigen mm. Das bedeutet, Inhomogenitäten in den zu analysierenden Gegenständen/Stoffen (z. B. Be-)Schichtungen führen u. U. zu falschen Ergebnissen.
  - > Beispiel 1: Die Röntgenfluoreszenzenergien der leichten Elemente sind sehr gering (z. B. P ( $K\alpha \sim 2 \text{ keV}$ )) und haben dementsprechend auf dem „Rückweg“ zum Detektor eine extrem kurze Reichweite bzw. werden überproportional geschwächt (geringen Informationstiefe). Wird versucht z. B. Eisenphosphat anstatt direkt durch eine PE-Tüte oder Glas hindurch zu identifizieren, wird nur noch Eisen angezeigt.
  - > Beispiel 2: Eine Münze ist nur mit Silber beschichtet, hat aber einen Kupferkern. (Cu ( $K\alpha \sim 8 \text{ keV}$ )  $\leftrightarrow$  Ag ( $K\alpha \sim 22 \text{ keV}$ )). Bereits bei wenigen Mikrometern Silberschicht verschwindet das Kupfersignal.

Je höher der Anteil eines nicht identifizierbaren Elementes ist, desto schwieriger wird die stoffliche Zuordnung aus der Elementaranalyse.

Feuchtigkeit führt durch Streustrahlung zu einer Überhöhung der Balance und somit zu einer Unterbewertung von Gehalten. Dies ist insbesondere bei Bodenproben, aber auch bei der Messung konzentrierter Lösungen zu beachten.

### Anwendungsmöglichkeiten

Die Röntgen-Fluoreszenzanalyse (RFA) hat ein sehr breites Anwendungsspektrum, vor allem im Bereich der anorganischen Stoffe:

- Elementanalysen in Salzen, Metalllegierungen, konzentrierten Lösungen, Bodenproben, Pulvern
- Im Einzelfall sogar Identifizierung/Klassifizierung bei Vorliegen unbekannter Proben über ihre prozentuale Elementzusammensetzung unter Berücksichtigung der Verfahrensgrenzen bzgl. Verunreinigungen und Matrixeffekten

- Orientierende Untersuchung der Ausbreitung eines Schadstoffes bei großflächigen Kontaminationen (z. B. nach Hochwasser aufgespülte Schwermetalle; Eindringtiefe halogenerter Lösemittel im Boden nach Havarie)

### 2.2.15 Gaschromatographie-Massenspektrometer-Kopplung (GC-MS)

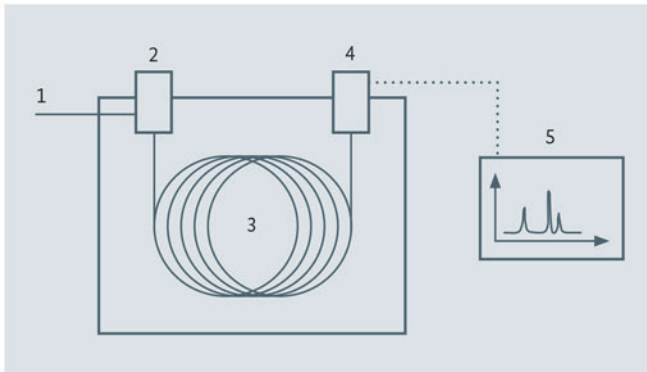
Kurzbeschreibung:	Hochempfindliches Analysensystem zum Nachweis organischer Stoffe und Stoffgemische in unterschiedlicher Probenumgebung durch Auftrennung nach Siedepunkten und den Zerfall der Moleküle in definierte Fragmente
Messtaktische Einsatzbreite:	primär: Identifikation, sekundär: Quantifizierung
Nachweisgrenze:	unter 1 ng [23], analytabhängig
Aggregatzustand:	gasförmig, flüssig, fest
Personalanforderung:	hoch, erweiterte Vorkenntnisse erforderlich
Querempfindlichkeiten:	vereinzelt, in komplexen Probenumgebungen sind Störungen möglich

### Geräteaufbau und Messprinzip

GC-MS-Systeme bilden in vielen Anwendungsbereichen das Standardmessverfahren zur Analyse von Gemischen. Neben der Identifizierung ermöglichen sie grundsätzlich auch eine Quantifizierung der Einzelkomponenten. Die Gerätesysteme bestehen aus einem Gaschromatographen zur Gemischtrennung und nachgeschaltetem Massenspektrometer als Detektor.

Der Gaschromatograph, dargestellt in Abbildung 17, besteht aus einem beheizbaren Probenaufgabesystem (Injektor, 2), in dem die Probe ( $V < 1\mu\text{l}$ ) verdampft wird. Mit der Standard-Probenaufgabe-Ausstattung eines GC-MS-Systems für die Vor-Ort-Analytik, bestehend aus einem Thermodesorber (TD) und (Flüssig-) Injektor, sind unzersetzt verdampfbare organische Flüssigkeiten und Feststoffe sowie organische Gase analytisch zugänglich. Zudem kann die Probenahme und -anreicherung mit der Probenaufgabe kombiniert werden. Hierfür verwendet man spritzenbasierte Anreicherungssysteme wie die Festphasenmikroextraktion (SPME – Solid Phase Micro Extraction) und die Nadel-Anreicherungs-Einheit

(NTD – Needle Trap Device). Beide Systeme können auch zur Beprobung des Gasraumes über einer festen oder flüssigen Probe (Headspace) eingesetzt werden. Darüber hinaus ermöglichen sie eine Anreicherung aus wässriger Phase. Bei Verwendung der spritzenbasierten Systeme muss der Bediener zusätzlich eine Anpassung des Injektors (Wechsel des Liners) vornehmen. Anschließend wird das verdampfte Probengemisch mit Hilfe eines Trägergases (mobile Phase, 1) auf die Trennsäule (3) gespült. Als Trennsäule dienen für Anwendungen in der Gefahrenabwehr dünne beheizbare (Glas-)Kapillaren großer Länge mit einer Innenbeschichtung aus speziellen Polymeren (stationäre Phase). Hier findet der eigentliche Trennvorgang des Gemisches in die Einzelkomponenten statt. Die unterschiedlichen Bestandteile der Probe wandern dabei aufgrund unterschiedlich starker Wechselwirkungen mit der stationären Phase mit verschiedenen Laufzeiten bis zum Ende der Kapillare. Leichte und flüchtige Substanzen gelangen schneller durch die Kapillare, Substanzen mit hohen Siedepunkten benötigen eine längere Laufzeit. Die Signale erfasst ein Detektor (4), der je nach Bedarf ausgewählt wird. Durch Auftragung der Signalintensitäten über die Zeit erhält man ein Response-Zeit-Diagramm – es entsteht ein Chromatogramm (5).

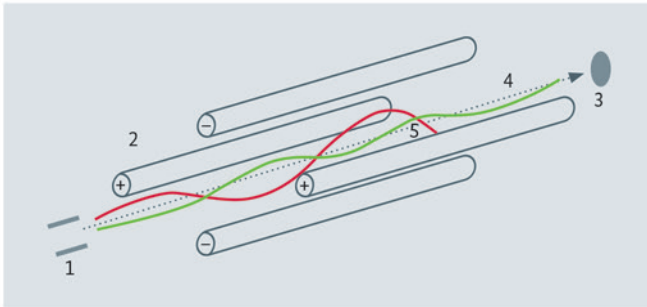


**Abbildung 17:** Schematische Darstellung eines Gaschromatographen

Quelle: eigene Abbildung

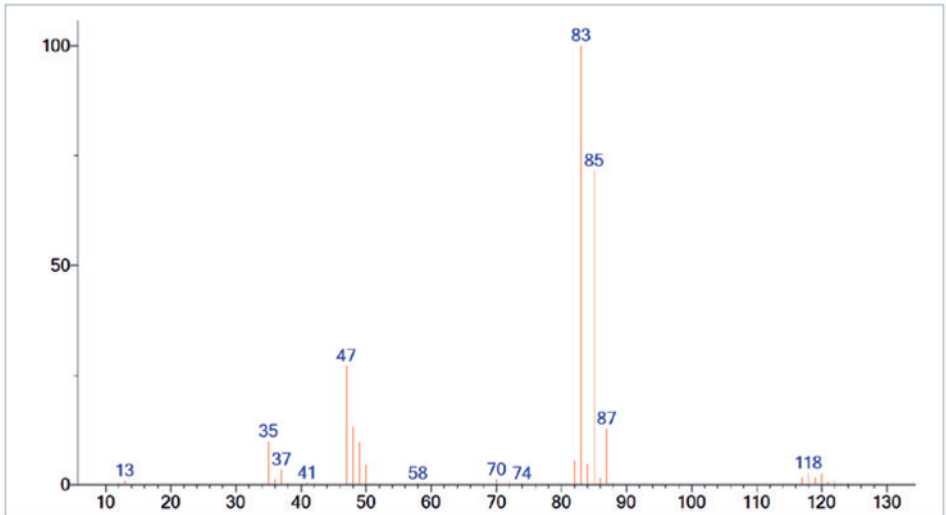
Die nach Möglichkeit getrennten Einzelkomponenten gelangen nach Verlassen des Gaschromatographen bei einer GC-MS-Kopplung über eine direkte und beheizbare Verbindung in das Massenspektrometer. Dieses besteht aus dem Probeneinlass, der Ionenquelle, dem Analysator und dem Detektor. Der Probeneinlass ist mit dem Gaschromatographen verbunden. Die aufgetrennte gasförmige Probe gelangt zur Ionenquelle und wird dort im Hochvakuum ionisiert (z. B. mit sehr schnellen Elektronen beschossen – Elektronenstoßionisation (EI)). Die dabei übertragene

Energie führt nicht nur zur Ionisation, sondern auch zu einer je nach Molekülstabilität mehr oder weniger starken Fragmentierung bzw. Zerfall. Die erhaltenen ionisierten Molekülfragmente werden im Masseanalysator voneinander und vom Probenmolekül unter Einwirkung elektrischer Felder (z. B. Quadrupol, siehe Abbildung 18) nach ihrem Masse-zu-Ladungs-Verhältnis ( $m/z$ ) zeitlich getrennt. Der Detektor erzeugt aus Ionen Elektronen (Konversionsdynode), diese werden verstärkt und bewirken ein messbares elektrisches Signal (Intensität). Das Auftragen der Ionen nach ihrem  $m/z$ -Verhältnis gegenüber ihrer Intensität ergibt sogenannte Massenspektren, wie in Abbildung 19 dargestellt. Die Spektren sind reproduzierbar und bilden die Grundlage der Stoffidentifizierung durch den Vergleich mit einer Spektrenbibliothek.



**Abbildung 18:** Schematische Darstellung Quadrupol-Massenspektrometer  
Quelle: eigene Abbildung





**Abbildung 19:** Massenspektrum von Trichlormethan (Chloroform)

Quelle: Eigene Darstellung

Bei Trichlormethan ist die starke Ausprägung des Isotopenmusters von Chlor erkennbar. Chlor besteht aus den Isotopen  $^{35}\text{Cl}$  und  $^{37}\text{Cl}$  im Verhältnis 3:1.

Masse: 83  $\rightarrow$   $\text{HC}^{35}\text{Cl}_2$ , Masse: 85  $\rightarrow$   $\text{HC}^{35/37}\text{Cl}_2$  (beide Isotope im Fragment),

Masse: 87  $\rightarrow$   $\text{HC}^{37}\text{Cl}_2$

Die Massen von 47 bis 50 zeigen die Fragmente  $\text{CCl}^+$ / $\text{CHCl}^+$ / $\text{CH}_2\text{Cl}^+$ / $\text{CH}_3\text{Cl}^+$ .

Der Molekül-Ionen-Peak bei einer Masse von 119 ist nur sehr schwach vertreten.

## Messung

Untersucht werden insbesondere organische Chemikalien, die einen Siedepunkt unterhalb von 200 °C aufweisen und unzersetzt verdampfbar sind.

Entscheidend für die Analyseparameter mittels GC-MS ist der Charakter der Probe bzw. des Schadstoffgemisches. Insbesondere Aggregatzustand, Dampfdruck, Polarität, Begleitstoffe (Probenmatrix) und die Konzentration der Zielsubstanz(en) spielen in Bezug auf die Probenahme und Probenvorbereitung eine wichtige Rolle. Diese beiden Schritte sind für die Anwendung von GC-MS-Geräten die wichtigsten

und fordern vom Anwender detaillierte Kenntnisse im Bereich der chemischen Analytik.

Alle drei Aggregatzustände sind für ein GC-MS-Gerät zugänglich. Die für die Gefahrenabwehr wichtigsten Probenarten sind in den „Empfehlungen für die Probenahme zur Gefahrenabwehr im Bevölkerungsschutz“ [24] beschrieben. Durch eine geeignete Probenvorbereitung kann ein Großteil der Proben aus dem Bereich „Chemie“, Kapitel 4, mittels GC-MS analysiert werden.

Das Massenspektrometer arbeitet im Hochvakuum. Zum Betrieb ist eine Hochvakuumpumpe notwendig. Für portable wie auch fahrzeuggestützt verwendete Systeme benötigt man erschütterungsfeste Pumpen. Da deren Pumpenleistung eingeschränkt ist, wird der MS-Einlass i. d. R. durch eine beheizte Membran beschränkt. Dies wirkt sich u. a. positiv auf die Nachweisgrenzen polarer Verbindungen aus. Massenspektrometer-Systeme ohne GC kommen für Spezialanwendungen zum Einsatz. Probenahme und -transfer erfolgen direkt mit Hilfe von Heizsonden (vgl. Luft-Boden-Sonde des E<sup>2</sup>M), SPME-Nadeln (vgl. Guardion/Torion) oder auch von Siliconsammlern (vgl. MM1 und MM2 des Spürpanzers Fuchs). Zur Überführung in das MS dient eine kurze Transferkapillare, die mit einer ergänzenden Anreicherungseinheit (Trap) kombiniert sein kann. Man kann diese Systeme auch als Detektor für bestimmte Zielstoffe konfigurieren. Dazu wird nur nach ausgewählten, für die Zielstoffe charakteristischen Einzelmassen gesucht (Single-Ion-Mass-Modus). Ergänzend kann die Detektionsliste mit einer automatischen Auswertesoftware mit hinterlegten Alarmwerten und einem Alarmgeber verbunden werden. Die Arbeit ohne Gaschromatograph erhöht die Proben-Wiederholfrequenz deutlich, ist jedoch auch mit einer sehr geringen Trennung verbunden, wodurch sich die Fragmente verschiedener Stoffe überlagern und zu falschen Ergebnissen führen können.

## Auswertung

Da für die Aufnahme von Massenspektren nur Bruchteile von Sekunden benötigt werden, erhält man für einen GC-Lauf eine große Anzahl an Massenspektren. Die Summe der Ionen-Intensitäten der einzelnen Massenspektren, der sog. Totalionenstrom, bildet aufgetragen gegen die Zeit das Gaschromatogramm. War die Trennung erfolgreich, entsprechen die Signale im Chromatogramm jeweils einem Stoff. Eine gute Peaktrennung sowie Signalform im Gaschromatogramm wirken sich positiv auf die Ergebnisgüte bzw. auf den Identifizierungserfolg des Stoffes aus. Die Identifizierung der einzelnen Stoffe erfolgt anschließend mit Hilfe der Massenspektren über einen Bibliotheksvergleich. Dieser Vergleich erfolgt bei den modernen Geräten automatisch über eine Analysensoftware. Wird eine

speziellere Teildatenbank (z. B. für TICs ~ 2.000 Vergleichssubstanzen) aus einer umfangreichen allgemeinen Datenbank (z. B. NIST ~ 240.000 Vergleichssubstanzen) zusammengestellt, steigert das die Schnelligkeit und die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Identifizierung, wenn der gesuchte Stoff in der Teildatenbank enthalten ist. Da es sich bei den Einzelkomponenten der untersuchten Probe um Realsubstanzen in einer komplexen Mischung handelt, die Bibliotheksspektren jedoch von Reinsubstanzen stammen, stimmen oftmals die Ergebnisse nicht exakt überein. Der Benutzer des GC-MS-Systems muss deshalb bei der Auswertung der Ergebnisse noch einmal kritisch die Plausibilität überprüfen und ggf. manuelle Auswertungen durchführen können.

### **Hinweise für den Anwender**

Für Labor- wie auch mobile Geräte müssen Zeit und Kosten für Fortbildungen, Wartung sowie Pflege des Gerätes einkalkuliert werden. Zudem benötigt das Bedienpersonal ein fundiertes Fachwissen über chromatographische wie auch spektroskopische Abläufe. Die Probenaufarbeitung kann sehr anspruchsvoll sein und verlangt je nach Probencharakter spezielles Wissen aus der analytischen Chemie. Die zu identifizierenden Zielsubstanzen müssen zumindest grob bekannt sein, um eine Verunreinigung der Kapillarsäulen zu vermeiden. Die Bediensoftware ist sehr komplex, deshalb ist eine intensive Einführung, verbunden mit einer häufigen Anwendung zwingend erforderlich.

### **Grenzen der Messtechnik**

Anorganische Substanzen, ionische Verbindungen oder Metalle können durch GC-MS-Systeme nicht analysiert werden. Ebenso sind organische Substanzen mit hohen Siedepunkten, in der Regel über 200 °C, nicht analysierbar. Thermolabile organische Stoffe, darunter viele Sprengstoffe, sind nicht oder nur unter sehr milden Aufgabebedingungen messbar. Geruchsbelästigungen lassen sich aufgrund einer zu geringen Stoffkonzentration oft nicht identifizieren.

Anwendungsbeschränkungen ergeben sich auch aus den Eigenschaften der verwendeten Trennsäule. Durch die Dauer der Analysenläufe ist die Anzahl der im Einsatzfall messbaren Proben begrenzt.

## Anwendungsmöglichkeiten

Die folgenden Beispiele zeigen den nahezu universellen Einsatz von GC-MS-Systemen auch bei komplexen Fragestellungen im Bereich organischer Substanzen.

Für den mobilen Einsatz bei Freisetzung von Gefahrstoffen:

- Feststellen von Belastungen des Luftpfades mit organischen Stoffen
- Klärung des möglichen Vorliegens eines Gemisches organischer Stoffe
- Identifizierung und Quantifizierung vorliegender Stoffe
- Klärung von Fragestellungen in der Kampfstoffanalytik
- Aufspüren weiterer Zielsubstanzen in der Luft und im Boden, nach geeigneter Probenaufarbeitung auch aus Wasser

Für Tischgeräte im Labor:

- Drogen-Screening, Drogentest, Rückstände von Drogen
- Identifikation von Schadstoffen in Umweltproben
- Quantifizierungsmöglichkeit des Zielanalyten mit Hilfe von Standards und Kalibrationen

# Freisetzungsszenarien

3

Zu Beginn einer Einsatzlage besteht für die Einsatzleiter der betroffenen BOS ein Informationsdefizit bezüglich der Art und der Eigenschaften der freigesetzten Stoffe. Dieses Defizit muss durch die Erhebung passender Informationen und Daten geschlossen werden, in diesem Fall der Daten von Messgeräten, um zielgerichtete und wirksame Einsatzmaßnahmen durchführen zu können. Daraus abgeleitete Maßnahmen dienen dazu, die Gefährdung von Einsatzkräften und der Bevölkerung zu verhindern bzw. zu minimieren.

Um unterschiedliche Lagebilder mit verschiedenen Schwerpunkten abbilden zu können, wurden zehn Szenarien erarbeitet. Innerhalb eines bestimmten Szenarios können verschiedene Qualitäten von Informationen nötig sein, wie bspw. eine Aussage zur Detektion von freigesetzten Substanzen, evtl. deren exakte Identifikation oder aber ein auf gemessenen Daten basierender Rückschluss über einen in einem Verdachtsobjekt ablaufenden Prozess.

Weiterhin sind die Probenahme und die Möglichkeit zur Anreicherung bzw. Aufkonzentrierung relevanter Spurenkomponenten ein entscheidender Schritt zur Erlangung qualitativ hochwertiger Informationen. Hieraus folgt, dass ein Messgerät oder die Kombination verschiedener Messgeräte für die jeweilige Lage bzw. Situation und den daraus folgenden Informationsbedarf passend sein muss. Aus einem Szenario können so ein oder mehrere Evaluationsschemata für verschiedene Typen von Messgeräten abgeleitet werden.

Die Gewinnung von Informationen und Daten mittels mobiler Messtechnik wird im Folgenden am Beispiel von Freisetzungsszenarien gefährlicher Stoffe beschrieben. In die Erstellung von Freisetzungsszenarien sollen relevante Rahmenparameter miteinbezogen werden. Diese umfassen im wesentlichen:

- **Produktions- und Transportmengen bzw. Transportwege von Chemikalien**  
Davon ausgehend muss eine Entscheidung getroffen werden können, welche Szenarien mit welchen Substanzen einhergehen. Hierauf basiert dann die Auswahl passender Messverfahren.

- **Unterschiedliche Informationsbedarfe der Sicherheitsakteure auf verschiedenen Ebenen in der Einsatzorganisation**

Eine Einsatzkraft im Gefahrenbereich benötigt andere Informationen als der Einsatzleiter, der bspw. Entscheidungen für den politisch Gesamtverantwortlichen in Katastrophenlagen vorbereiten muss.

- **Unterschiedliches Aus- und Fortbildungsniveau der Endnutzer**

Je nach Einsatzort, Führungsebene und Organisationszugehörigkeit (Feuerwehr, THW, Polizei) sind die Einsatzkräfte unterschiedlich aus- und fortgebildet und müssen aufgrund ihrer Position und Aufgabenzuweisung verschiedenste Einsatzmaßnahmen ableiten. Ein konkretes Beispiel hierfür ist identifizierende Messtechnik. Für die Einsatzkraft direkt an der Freisetzungsstelle unter Schutzkleidung ist vor allem die Aussage über eine Freisetzung und die ungefähre Menge in der Luft wichtig. Der Einsatzleiter der nichtpolizeilichen BOS hingegen ist auf eine exakte Benennung der freigesetzten Substanz angewiesen, um richtige Entscheidungen treffen zu können.

- **Arten und Techniken der Probenahme**

Je nach Aggregatzustand einer Substanz, der Freisetzungsart oder des verwendeten Messverfahrens sind unterschiedliche Arten der Probenahme sinnvoll. Eingesetzte Messtechnik muss in der Lage sein, eine bestimmte Probenart (Gasphase, Oberflächenanhaftung, Spurenkomponente in komplexer Probenmatrix ...) in dem durch das jeweilige Szenario bedingten, benötigten Konzentrationsbereich auch auswerten zu können.

Einen detaillierten Überblick über die Einsatzmöglichkeiten verschiedener Messtechnik ermöglicht die Tabelle 2: Einsatzmöglichkeiten von Messtechnik.

Die Übersicht stellt für in Einsatzlagen zugängliche Stoffarten verfügbare Messtechnik gegenüber. Hieraus lässt sich in Abhängigkeit von der möglichen Probenahme entsprechendes messtechnisches Gerät auswählen und die geräteabhängige Einsatzbreite bestimmen.

Die oberste Zeile der Tabelle 2 zeigt die im Projekt SEMFreS betrachteten mobilen Messtechniken. Dabei unterliegt die Nennung keiner Priorisierung.

Die zweite Reihe zeigt messtaktische Möglichkeiten (Detektion, Identifizierung, Quantifizierung), die sich unter Verwendung der jeweiligen Messtechnik ergeben, wobei eine Einstufung nach Eignungsgrad in Form der Schriftstärke durchgeführt wurde. Durch Anwendung einer speziellen Messtechnik und gleichzeitiger Einbeziehung des Probencharakters werden den drei messtaktischen Möglichkeiten bestimmte Farben zugeordnet (s. Legende).

Die linke Spalte ordnet der Probe definierte Eigenschaften wie den Aggregatzustand (flüssig, fest, gasförmig), die Einteilung in chemische Klassen (organisch, anorganisch) sowie eine Differenzierung zwischen Gemischen und Reinstoffen zu.

Es ist deutlich erkennbar, dass die messtechnische Auswahl für Proben mit einem anorganischen Charakter sehr beschränkt ist. Die Ausnahme bilden die anorganischen Gase und Gasgemische, die vergleichbare messtechnische Möglichkeiten erlauben wie organische Gase und Gasgemische. Von einer Erweiterung um anorganische Feststoffgemische bzw. anorganische Flüssigkeitsgemische wurde abgesehen, da eine fundierte Ergebnisanalyse mit der abgebildeten mobilen Messtechnik nicht gegeben ist. Sicherheitsrelevante anorganische Lösungen (Säuren, Laugen, Wasserstoffperoxid) beinhalten immer einen gewissen Anteil an Wasser und zählen unter „wässrige Lösungen, gelöster Stoff anorganisch“.

Die Fußnoten erläutern die Voraussetzungen, unter denen eine Messung die bestmögliche Aussagekraft erhält.



Am Beispiel GC-MS soll die Anwendung der Übersicht verdeutlicht werden:

Ein Gaschromatograph, gekoppelt mit einem Massenspektrometer, stellt ein identifizierendes Messprinzip auf Grundlage von Spektren dar. Alle drei Aggregatzustände sind diesem Messprinzip zugänglich. Eine Einschränkung findet sich jedoch in der chemischen Klassifizierung, nur organische Proben können mittels GC-MS untersucht werden. Das identifizierende Messprinzip ist besonders geeignet für organische Feststoffe/Feststoffgemische, organische Flüssigkeiten/Flüssigkeitsgemische sowie für organische Gase/Gasgemische. Für einen gelösten organischen Stoff in wässriger Lösung ist eine GC-MS-Analyse unter Durchführung einer erweiterten Probenaufarbeitung zumindest geeignet bzw. durchaus möglich. Bei den organischen Flüssigkeits- und Feststoffgemischen eignet sich eine Messung mittels GC-MS auch zur Quantifizierung, wenn der Stoff bekannt ist bzw. sicher identifiziert wurde und ein Quantifizierungsdatensatz vorliegt. Bei dem gelösten organischen Stoff in wässriger Lösung und den organischen Gasen und Gasgemischen kommt ebenfalls eine Quantifizierung in Frage, wenn eine erweiterte Probenaufarbeitung durchgeführt wird und der Stoff bekannt ist bzw. sicher identifiziert wurde und ein Quantifizierungsdatensatz vorliegt.

Tabelle 2: Einsatzmöglichkeiten von Messtechnik

Messtechnik	ATR-FTIR <sup>9</sup>	Raman <sup>9</sup>	GC-MS <sup>9</sup>	PID <sup>8</sup>	Prüfröhrchen <sup>10</sup>	HL <sup>-1</sup>	IMS <sup>9</sup> (CWA)	IMS <sup>9</sup> (Expl./Btm)	EC <sup>9</sup>	FPD <sup>8</sup>	Ex <sup>10</sup>	RFA <sup>9</sup>
Messtakt. Einsatzbreite	I(Q)	I(Q)	IC(Q)	DQ	(D)(I)Q	D	D(I)(Q)	(D)I(Q)	(D)Q	D	(D)	(I)(Q)
Aggregatzustand Probe	f/fl	f/fl	f/fl/g	g	g	g	f/fl	f/fl	g	f/fl/g	g	f/fl
Zugängliche Stoffarten	o/a	o/a	o	o/a	o/a	o	o	o	o/a	o/a	o	o/a
Feststofforgan.	++	++	++				++					0-
Flüssigkeitorgan.	++	++	++	+	0	+	++ <sup>+4</sup>	0++	++ <sup>+4</sup>	0	-	0-
Feststoff-Mischungorgan.	0-	+-	+++ <sup>+4</sup>				++-					0-
Flüssigkeitsmischungorgan.	0 <sup>-1</sup> --	0 <sup>-1</sup> --	+++ <sup>+4</sup>	+- <sup>7</sup>	00 <sup>-5</sup>	+	++ <sup>+4,6</sup>	++ <sup>+4,6</sup>	++ <sup>+4,6</sup>	0 <sup>+4</sup>	-	0-
Wässrig gelöster Stofforgan.	- <sup>1</sup> --	- <sup>1</sup> --	++ <sup>+3,4</sup>	-- <sup>2</sup>	-- <sup>2</sup>	-- <sup>2</sup>	-- <sup>2</sup> ++ <sup>+2</sup>	-- <sup>2</sup> 0 <sup>-2,4</sup>	-- <sup>2</sup>	-- <sup>2</sup>	--	--
Gasorgan.	+++ <sup>+3,4</sup>	+++ <sup>+3,4</sup>	++ <sup>+4</sup>	++ <sup>+4</sup>	++ <sup>+4</sup>	++	++ <sup>+4</sup>	++ <sup>+4</sup>	++ <sup>+4</sup>	++ <sup>+4</sup>	00	00



**Legende:**

Grün hinterlegt: **Detektion**; gelb hinterlegt: **Identifikation**; rot hinterlegt: **Quantifizierung**;

**Chromatographie**

Messtaktische Einsatzbreite: fett – besonders geeignet; Klammern – wenig geeignet/untypisch

Zugänglicher Aggregatzustand: f – fest; fl – flüssig; g – gasförmig

Zugängliche Stoffart: o – organisch; a – anorganisch; ohne Farbe/Angabe: nicht zutreffend;

++/-- besonders geeignet/nicht geeignet; 0 – neutral; +/- geeignet/weniger geeignet;

grau hinterlegt: Messung der Dampfphase der Flüssigkeit bzw. Lösung

**Anmerkungen:**

- 1 Grundvoraussetzung zur Identifizierung sind hinterlegte Identifizierungsdatensätze, wie Spektren bzw. Spektraldaten. Darüber hinaus ist der Erfolg von vielen weiteren Faktoren abhängig. Bei Gemischen liegt die spektrale Information überlagert vor, sodass vor der Analyse zum Teil eine Auftrennung des Gemisches (Chromatographie) erforderlich ist (vgl. GC-MS) bzw. die Identifizierungssicherheit leidet.
- 2 Aus wässriger Lösung sind gelöste Gase bzw. v. a. niedrig siedende organische Flüssigkeiten unter Verwendung eines Purge-Aufsatzes austreibbar (bei organischen Stoffen ggf. pH-Wert anpassen und aussalzen).
- 3 Über erweiterte Probenaufarbeitung bzw. Probenaufgabemöglichkeiten können gelöste organische Stoffe in wässriger Lösung dem GC-MS zugänglich gemacht werden.
- 4 Quantifizierungen möglich, wenn Stoff bekannt ist bzw. sicher identifiziert wurde und sein Quantifizierungsdatensatz vorliegt.
- 5 Quantifizierung der Einzelstoffe in Gemischen mit geeigneten Prüfröhrchen und EC-Zellen unter Umständen möglich, soweit Nachweisreaktion bzw. Messprinzip ausreichend selektiv (einzelfallabhängig). Zulässige Konzentrationsbereiche und Stoffausschlüsse beachten.
- 6 Quantifizierung (und Identifizierung) bei Gemischen von relativer Selektivität des Messprinzips für die Komponenten abhängig.
- 7 Zur Quantifizierung sind Quantifizierungsdatensätze und relative Zusammensetzung des Stoffgemisches erforderlich.
- 8 Unspezifisches Messsystem (Summendetektor)
- 9 Identifizierendes Messprinzip – Basis: Spektren bzw. Spektraldaten
- 10 Messprinzip bzw. Reaktion eingeschränkt selektiv

### 3.2.1 Transportunfall

Szenariotyp:	Spontanfreisetzung
Zielgruppen:	Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Umweltbehörden
Relevante Stoffe:	Industriechemikalien
Rechtliche Grundlagen:	z. B. ADN, ADR, RID

#### Generische Beschreibung

Innerhalb von Deutschland wurden 2017 über 310 Mio. Tonnen Gefahrgüter transportiert, für über 147 Mio. Tonnen dieser Gefahrgüter wird der Verkehrsweg Straße genutzt. [1] Sind Gefahrguttransporte in Unfälle verwickelt, bergen diese eine hohe Gefahr für Mensch und Umwelt und erzeugen einen enormen Kostenaufwand. Insbesondere für die Feuerwehren stellt ein solches Ereignis den typischen ABC-Einsatz dar [25].

Die freigesetzte Menge kann insbesondere im Straßenverkehr zwischen einigen Kilogramm oder Litern bis hin zu vielen Tonnen bei der Beförderung durch den Güterverkehr oder das Schiffswesen reichen.

Die Freisetzung von Gefahrstoffen kann aus folgenden Ursachen resultieren: menschliches Versagen (Fehlverhalten), Materialversagen oder Mängel an Fahrzeug- und Sicherheitseinrichtungen.

Die Möglichkeiten freigesetzter Chemikalien, die in Industrie und Gewerbe produziert und verarbeitet werden, sind sehr vielfältig. Ein Teil der relevanten Chemikalien ist namentlich in den ADR-Vorschriften aufgeführt. Die Chemikalien umfassen hierbei nicht nur reine Substanzen, es kann sich auch um Mischungen zur Weiterverarbeitung handeln, in einigen Fällen auch um nicht genau bekannte Mischungen aus der Abfallentsorgung.

#### Fallbeispiel: Verkehrsunfall [26]

Am 19.12.2014 kam es um 7.38 Uhr zu einer Meldung über einen Verkehrsunfall mit Lkw-Beteiligung und mehreren eingeklemmten Personen auf der A7 bei Göttingen. Während der ersten Erkundung der Einsatzstelle durch die Feuerwehr kam es plötzlich zu einer Rauchentwicklung auf der Ladefläche eines Lkw. Der nun

durchgeführte Löschangriff mit Wasser verstärkte wider Erwarten den Brandverlauf, sodass er eingestellt werden musste. Eine daraufhin durchgeführte Erkundung der Einsatzkräfte ergab, dass es sich bei dem betreffenden Lkw um einen Gefahrguttransport mit Stückgut handelte. Äußerlich war das Fahrzeug lediglich mit der typischen orangeroten Warntafel gekennzeichnet. Die Ladung bestand aus einzelnen Fässern, die Aluminiumphosphid enthielten. Diese Substanz reagiert heftig mit Wasser und setzt dabei Phosphorwasserstoff/Phosphin (ETW-4: 0,5 ppm) frei, ein sehr giftiges Gas. Die Autobahn wurde daraufhin in beiden Richtungen vollständig gesperrt und evakuiert. Es wurde aufgrund der Erkundungsergebnisse ein weiterer Löschangriff mit Löschpulver unternommen, der rasch seine Wirkung entfalten konnte. Aufgrund des nun einsetzenden Regens musste der Gefahrenbereich nochmals erweitert werden, da sich die chemische Reaktion durch den Einfluss der Nässe deutlich verstärkte. Im weiteren Verlauf des Einsatzes wurden nun durch CSA-Trupps die weitere Erkundung sowie Bergung der Fässer durchgeführt. Diese stellte sich als sehr kompliziert dar, da das ausgetretene Granulat sofort mit dem Wasser auf der Fahrbahn unter Flammenerscheinung anfang zu reagieren. Ein Großteil der beschädigten Fässer konnte bis in den Abend hinein geborgen werden, die letzten beschädigten Fässer wurden dann bis Samstagmorgen gegen 6.00 Uhr gesichert. Mit der Sicherung des Lkw und der notwendigen Reinigungsmaßnahmen an Lkw und Fahrbahn dauerte der gesamte Einsatz etwa 36 Stunden.

### **Fallbeispiel: Frachterbrand [27]**

Am 21. 11. 2001 um 5.03 Uhr kam es zu einer Meldung über einen Frachterbrand im Hafen des Bayer-Werkes in Krefeld-Uerdingen. Der Havarist TMS „Stolt Rotterdam“ führte 1.800 Tonnen konzentrierte Salpetersäure (68 %) in vier Edeltanks mit. Vermutlich beim Entladen gab es im Schiffsinnen ein Leck, auslaufende Salpetersäure entzündete organisches Material und führte zum Brand sowie zu Korrosion am Schiffsrumpf (Schwarzstahl). Als Folge kam es zur Freisetzung von Rauch, giftigen nitrosen Gasen und der Freisetzung von Säure in den Fluss. Durch eindringendes Lösch- und Flusswasser begann das Schiff zu sinken. Bereits entleerte Tanks schwammen auf und rissen sich teilweise von Rohrleitungen los. Die geringe Wassertiefe im Hafenbecken verhinderte das völlige Sinken des Schiffes. Gegen 9.00 Uhr frischte der Wind auf und die Stickoxide drifteten in Richtung Eisenbahnsiedlung auf Duisburger Gebiet. Kontinuierliche Messungen an der Martinstraße ergaben ab 10.15 Uhr NO-Gehalte von bis zu 330 ppb und NO<sub>2</sub>-Werte bis zu 1.060 ppb (Spitzenwerte), d. h. akute Gefahr für Einsatzkräfte und Bevölkerung (ETW-4: 8,2 ppm). Erst ab etwa 11.30 Uhr lagen beide Werte an dieser Stelle unter 100 ppb. Versuche der Fa. Bayer mit konzentrierter Salpetersäure und Schwarzstahl ergaben Freisetzungsraten von 1,77 kg NO<sub>2</sub>/s entsprechend 6.370 kg/h am Ort der Havarie. Eine von der Fa. Bayer durchgeführte Ausbreitungsrechnung ergab, dass

unter ungünstigen Witterungsbedingungen (Sperrschicht in 100 m Höhe und 1 m/s Windgeschwindigkeit) der AEGL2-Wert (12 ppm) erst im Abstand von 2,5 km und der MAK-Wert (5 ppm) erst nach 8 km unterschritten wird! Das bedeutete, dass sich bei der ungehinderten Reaktion der Salpetersäure mit dem Schiffskörper und pessimistischen Witterungsbedingungen eine erhebliche Gesundheitsgefährdung der betroffenen Anwohner und Werksangehörigen ergeben würde. Zur Schadensbegrenzung wurde entschieden, dass der Tankinhalt an Salpetersäure schrittweise abgepumpt und zum gleichen Zeitpunkt mit Flusswasser aufgefüllt wird, dabei laufende Messung von pH-Wert und Nitratgehalt flussabwärts vom Havaristen. Die Hochwasserlage erlaubte das Verklappen der Säure in den Rhein. Am 13.12.2001 konnte der Frachter schleppfähig gemacht und im Duisburger Hafen einer kriminaltechnischen Untersuchung zugeführt werden.

### Detailspekte

Im Szenario „Transportunfall“ mit Freisetzung einer oder mehrerer Substanzen gibt es drei unterschiedliche Ausgangssituationen:

- Eine Gefahrgutkennzeichnung am Fahrzeug bzw. an Gebinden entspricht der ADR, der (Rein-)Stoff ist bekannt. Beim Transport von Chemikalien mittels Tanklastzügen ist bereits an der Beschilderung schnell erkennbar, um welche Substanz(en) es sich handelt. Bei Stückguttransporten muss zunächst die Kennzeichnung an den unterschiedlichen Gebinden erkundet werden.
- Eine Gefahrgutkennzeichnung ist mangelhaft oder nicht vorhanden, der (Rein-)Stoff ist unbekannt.
- Das Stattfinden chemischer Reaktionen aufgrund von Ladungsvermischung sowie Reaktionen der Ladung mit Feuchtigkeit, Löschmittel oder Wärme können zur Bildung unbekannter Folgeprodukte führen.

Der mögliche Konzentrationsbereich kann von Vol.-% in Luft in der unmittelbaren Umgebung der Leckage- oder Freisetzungsstelle bis in den unteren ppm-Bereich weiter abseits der Einsatzstelle reichen. Je nach Konzentration muss unter Umständen verschiedene Messtechnik ausgewählt werden. Messtechnik, die für den ppm-Bereich konzipiert ist, wird bei einer Konzentration von Vol.-% in die Sättigung gehen und so von ihrer Aussagekraft nutzlos werden. Unterschreiten die vorliegenden Konzentrationen die Nachweisgrenze des Messprinzips jedoch, können diese Konzentrationen nicht mehr erfasst werden.

Bei freigesetzten Feststoffen und Flüssigkeiten muss der Dampfdruck beachtet werden. Üblicherweise erzeugen Feststoffe praktisch keine nachweisfähigen Konzentrationen in der Umgebungsluft. Flüssigkeiten mit hohem Siedepunkt bzw. niedrigem Dampfdruck gehen ebenfalls nur schwer in die Umgebungsluft über. In beiden Fällen ist meist nur eine geringe Ausbreitung weg von der Leckagestelle zu beobachten. Im Gegensatz dazu steht die hohe Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Flüssigkeiten mit einem hohen Dampfdruck und gasförmigen Gefahrstoffen, die durch Wärme oder Verbrennung entstehen. Für die Ausbreitungswahrscheinlichkeit und die mögliche Bildung von Folgeprodukten müssen Wetterbedingungen wie Temperatur, Niederschlag und Windstärke berücksichtigt werden. Durch die möglicherweise sehr großen Mengen, die aus Tanks oder Kesselwagen austreten können, sind weitflächige Gebiete durch die Substanzen betroffen.

### Empfohlene Messtechnik

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen sind folgende Messverfahren geeignet:

- |                  |   |
|------------------|---|
| Detektion:       | ist der Gefahrstoff bekannt und können Nebenreaktionen explizit ausgeschlossen werden:<br>Prüfröhrchen, Photoionisationsdetektor (PID), Ex-Meter, Elektrochemische Zellen (ECZ) HL, Schnelltests, Teststäbchen (pH ...), Wassernachweispaste, Flammenphotometer (FPD), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) ...                                      |
| Identifikation:  | bei unbekanntem Substanzen und Bildung von Folgeprodukten aufgrund von Nebenreaktionen:<br>Infrarot- und/oder Raman-Spektrometer (bei Reinstoffen oder Gemischen aus max. zwei Stoffen) und Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer (GC-MS), anschließend kann mit detektierender Messtechnik substanzabhängig gemessen werden |
| Quantifizierung: | abhängig von der messtechnischen Ausstattung, dem Probencharakter und der Aufgabenstellung  |



## Personalanforderung

Beim Einsatz von detektierender Messtechnik im Szenario Anlagenhavarie ist im Rahmen der Ausbildung eine Einweisung notwendig. Die marktüblichen Messgeräte sind zum Gebrauch durch normale Benutzer optimiert und einfach zu bedienen. Es ist keine spezielle berufliche Ausbildung oder ein Studium notwendig. Die Auswertung beschränkt sich auf das Ablesen eines konkreten Messwerts.

Bei den spektroskopischen Methoden (IR und Raman) ist eine Bedienung durch eingewiesenes Personal möglich, da die mobilen Messgeräte durch die Hersteller auf diese Zielgruppe hin entwickelt werden. Für den eingewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen und Weitermelden der Substanznamen beschränken.

Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen solcher Messgeräte Fachkenntnisse notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und Schäden an den Geräten entstehen.

Die Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse aus Spektroskopie und GC-MS setzt zwingend eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus. Die Spektren von Infrarot- und Raman-Spektrometern müssen kritisch interpretiert werden, ebenso die Massenspektren aus GC-MS-Systemen. Darüber hinaus muss bei den Chromatogrammen noch auf eine korrekte Peakidentifizierung geachtet werden.

### 3.2.2 Anlagenhavarie

Szenariotyp:	Spontanfreisetzung
Zielgruppe(n):	Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Umweltbehörden
Relevante Stoffe:	Industriechemikalien
Rechtliche Grundlagen:	z. B. 12. BImSchV

### Generische Beschreibung

Die chemische Industrie ist in Deutschland die drittgrößte Industriebranche und erwirtschaftet 11 % des deutschen Industrieumsatzes. [28] 2015 gab es in Deutschland 3.264 Betriebsbereiche gemäß § 3 BImSchG, die wegen Art und Menge der

vorhandenen gefährlichen Stoffe der Störfall-Verordnung unterliegen. [29] Wie viele Chemikalien in der Chemiebranche genutzt werden, wurde bisher nicht erfasst. Bis zum Jahr 2018 mussten Chemikalienhersteller und -importeure schrittweise alle Chemikalien bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) registrieren, von denen sie innerhalb der Europäischen Union (EU) mehr als eine Tonne jährlich herstellen oder in die EU einführen. Diese Chemikalienerfassung innerhalb der EU wird die Art an Stoffen eingrenzen, die bei einer Anlagenhavarie freigesetzt werden könnten. Aktuell sind in der weltweit bedeutendsten Datenbank für chemische Verbindungen, dem Chemical Abstracts Service (CAS), mehr als 105 Millionen Verbindungen registriert. [30]

Unter Anlagenhavarie wird in diesem Zusammenhang eine Freisetzung von Chemikalien verstanden, die aufgrund von menschlichem oder Materialversagen, von Mängeln an Sicherheitsvorrichtungen sowie durch eine Verkettung verschiedener Umstände auftreten kann. Das Ereignis findet in einer Anlage eines Betriebes der chemischen Industrie statt, in welcher chemische Reaktionen durchgeführt oder vorbereitet werden. Insbesondere stehen hier die Störfallbetriebe gemäß Seveso-Richtlinie im Vordergrund.

Die freigesetzten Mengen können hierbei von wenigen Tonnen bis hin zu einigen zehntausend Tonnen reichen. In Betrieben, die Spezialchemikalien herstellen, werden die Mengen geringer sein als in Fertigungsanlagen für Massengüter, bspw. Kunststoffe aus dem Bereich der Polyolefine.

Die Stoffeigenschaften der Ausgangs-, Zwischen- und Endprodukte sind dem Personal bekannt. Schwieriger gestaltet sich die Identifizierung der Stoffe bei einer außer Kontrolle geratenen Reaktion oder einem Brandereignis. In den beiden letzten Fällen können unbekannte Stoffe oder Mischungen unbekannter Zusammensetzung entstehen, die nur mit komplexer Analytik nachgewiesen werden können.

### **Fallbeispiel: Leitungsleckage [31]**

Am 17.3.2008 kam es um 14.26 Uhr auf dem Werksgelände der INEOS GmbH im Norden der Stadt Köln zu einer Leckage an einer Ethylenleitung. Kurz nach Eintreffen der alarmierten Werkfeuerwehr entzündete sich gegen 14.33 Uhr das ausströmende Gas. In direkter Nachbarschaft zur Brandstelle befanden sich drei Tanks mit Acrylnitril (Tankinhalte 570 t, 2.250 t und 2.860 t). Etwa 30 m östlich entfernt befand sich ein weiterer Tank mit 3.400 t Propylen sowie 65 m südlich davon ein Tank mit 3.000 t 1,3-Butadien.

Die Werkfeuerwehr begann mit den ersten Löschmaßnahmen und der Kühlung des nächstgelegenen Tanks. Gegen 14.43 Uhr barst die Ethylenleitung komplett und das ausströmende Gas bildete eine 40 m hohe Stichflamme. Ab 15.15 schmolz das Aluminiumdach des nahen Acrylnitriltanks, woraufhin der Inhalt ebenfalls zu brennen begann. Die inzwischen ebenfalls eingetroffene Feuerwehr Köln begann mit dem Warnen der Bevölkerung und den ersten Messeinsätzen im Stadtgebiet. Die nördlich des Betriebsgeländes gelegene Stadt Dormagen bereitete sich parallel dazu ebenfalls auf Messeinsätze vor.

Um die Einsatzkräfte der Feuerwehr Köln zu entlasten, wurden gegen 17 Uhr weitere Kräfte aus den umliegenden Landkreisen zur Unterstützung im Messeinsatz angefordert. Die Messungen in der Umgebung ergaben bezogen auf Stickoxide und Blausäure als Brandfolgeprodukte jeweils Messwerte im unteren einstelligen ppm-Bereich. Zum Einsatz kamen u. a. Prüfröhrchen und der CBRN-Erkundungswagen des Bundes (ausgestattet mit IMS und PID).

Kurz vor Mitternacht wurde mit einem Schaumangriff auf das brennende Acrylnitril begonnen und gegen 1 Uhr des 18.3. war das Feuer gelöscht. Da das aufgeheizte Acrylnitril jedoch nun vermehrt ausgasen begann, es verbrannte nun nicht mehr, stiegen die Messwerte hierfür in der Umgebung etwas an. Als Gegenmaßnahme wurde mit 180.000 kleinen Kunststoffbällen der Flüssigkeitsspiegel im Tank abgedeckt, sodass mit dem gleichzeitigen Abkühlen des Acrylnitrils die Messwerte in den folgenden Stunden immer weiter fielen. Während der an den folgenden Tagen durchgeführten Sicherungsmaßnahmen wurden die Messungen beibehalten und konnten am 25.3. schließlich ganz eingestellt werden.

### **Fallbeispiel: Durchgehende Reaktion [32]**

Am 22.2.1993 kam es um 4.14 Uhr in einer Anlage zur Produktion von o-Nitroanisol zu einer unvorhergesehenen Reaktion und einer daraus folgenden Freisetzung der Reaktionsmischung. Ursache war eine Überhitzung der Reaktionsmischung im Tank, die durch einen Bedienfehler ausgelöst wurde. Die Reaktion verursachte eine starke Temperatur- und Druckerhöhung im Tank, weshalb 10 t der Mischung durch ein Sicherheitsventil in die Umgebung gelangten. Die Reaktionsmischung schlug sich als gelber, zähflüssiger Niederschlag in den südlich des Griesheimer Werks gelegenen Stadtteilen Schwanheim und Goldstein nieder und kontaminierte eine Fläche von etwa 0,75 km<sup>2</sup>. Die Maßnahmen von Werkfeuerwehr und Feuerwehr Frankfurt beschränkten sich auf das Aufnehmen der ausgetretenen Stoffmischung mit Bindemitteln, da die Anlage selbst nicht beschädigt wurde. Problematisch war die Situation aufgrund der nicht genau bekannten

Zusammensetzung der Reaktionsmischung, zudem meldete gegen Mittag eine Presseagentur, das o-Nitroanisol krebserregend sei.

Der weitere Verlauf des Unfalls war vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die unbekannte Mischung einerseits hinsichtlich der Einzelstoffe identifiziert werden musste und andererseits die Einzelstoffe entsprechend toxikologisch bewertet werden mussten, um geeignete Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung zu ergreifen. Durch geeignete Analysen konnten bis zum 26.2. 90 % der Reaktionsmischung identifiziert werden, am 1.3. stieg dieser Anteil auf 97,3 %.

### Detailspekte

Im Szenario „Anlagenhavarie“ gibt es zwei unterschiedliche Ausgangssituationen:

- Austritt einer bekannten Substanz oder genau definierten Substanzmischung. Diese Situation ist vor allem bei Materialversagen oder Leckagen relevant.
- Austritt unbekannter Substanzen oder Substanzmischungen oder Entstehung unbekannter Folgeprodukte aufgrund von chemischen Reaktionen, ausgelöst durch Wärme, Löschmittel oder Feuchtigkeit. Diese Situation ist charakteristisch für Freisetzungen aufgrund durchgehender Reaktionen sowie Brandereignissen mit Brandfolgeprodukten in Abhängigkeit der brennenden Ausgangssubstanzen.

Der mögliche Konzentrationsbereich kann von Vol.-% in Luft in der unmittelbaren Umgebung der Leckage- oder Freisetzungsstelle bis in den unteren ppm-Bereich weiter abseits der Einsatzstelle reichen. Je nach Konzentration muss unter Umständen verschiedene Messtechnik ausgewählt werden. Messtechnik, die für den ppm-Bereich konzipiert ist, wird bei einer Konzentration von Vol.-% in die Sättigung gehen und so von ihrer Aussagekraft eingeschränkt sein. Unterschreiten die vorliegenden Konzentrationen jedoch die Nachweisgrenze des Messprinzips, können diese Konzentrationen nicht mehr erfasst werden.

Bei freigesetzten Feststoffen und Flüssigkeiten muss das Verdampfen beachtet werden. Üblicherweise erzeugen Feststoffe praktisch keine nachweisfähigen Konzentrationen in der Umgebungsluft. Flüssigkeiten mit hohem Siedepunkt bzw. niedrigem Dampfdruck gehen ebenfalls nur schwer in die Umgebungsluft über. In beiden Fällen ist meist nur eine geringe Ausbreitung weg von der Leckagestelle zu beobachten. Im Gegensatz dazu steht die hohe Ausbreitungswahrscheinlichkeit von Flüssigkeiten mit einem hohen Dampfdruck und gasförmigen Gefahrstoffen, die durch Wärme oder Verbrennung entstehen. Für die

Ausbreitungswahrscheinlichkeit und die mögliche Bildung von Folgeprodukten müssen Wetterbedingungen wie Temperatur, Niederschlag und Windstärke berücksichtigt werden. Durch die möglicherweise sehr großen Mengen und ggfs. hohen Drücke, die bei Tanks oder Reaktoren auftreten können, sind ggfs. weitflächige Gebiete durch die Substanzen betroffen.

### Empfohlene Messtechnik

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen sind folgende Messverfahren geeignet

- Detektion:** ist der Gefahrstoff bekannt und können Nebenreaktionen explizit ausgeschlossen werden:  
 Prüfröhrchen, Photoionisationsdetektor (PID), Ex-Meter, Elektrochemische Zellen (ECZ), Halbleiter (HL)-Sensoren, Schnelltests, Teststäbchen (pH ...), Wassernachweispaste, Flammenphotometrischer Detektor (FPD), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)
- Identifikation:** bei unbekanntem Substanzen und Bildung von Folgeprodukten aufgrund von Nebenreaktionen:  
 IR, Raman (bei Reinstoffen oder Gemischen aus max. zwei Stoffen) und Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer GC-MS, anschließend kann mit detektierender Messtechnik substanzabhängig gemessen werden
- Quantifizierung:** abhängig von der messtechnischen Ausstattung, dem Probencharakter und der Aufgabenstellung

### Personalanforderung

Beim Einsatz von detektierender Messtechnik im Szenario Anlagenhavarie ist im Rahmen der Ausbildung eine Einweisung notwendig. Die marktüblichen Messgeräte sind zum Gebrauch durch normale Benutzer optimiert und einfach zu bedienen. Es ist keine spezielle berufliche Ausbildung oder ein Studium notwendig. Die Auswertung beschränkt sich auf das Ablesen eines konkreten Messwerts.

Bei den spektroskopischen Methoden (IR und Raman) ist eine Bedienung durch eingewiesenes Personal möglich, da die mobilen Messgeräte durch die Hersteller

auf diese Zielgruppe hin entwickelt werden. Für den eingewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen und Weitermelden der Substanznamen beschränken.

Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen solcher Messgeräte Fachkenntnisse notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und Schäden an den Geräten entstehen.

Die Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse aus Spektroskopie und GC-MS setzt zwingend eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus. Die Spektren von Infrarot- und Raman-Spektrometern müssen kritisch interpretiert werden, ebenso die Massenspektren aus GC-MS-Systemen. Darüber hinaus muss bei den Chromatogrammen noch auf eine korrekte Peakidentifizierung geachtet werden.

### 3.2.3 Überwachung Großveranstaltungen

Szenariotyp:	spontane sowie kontinuierliche/schleichende Freisetzung
Zielgruppen:	Gefahrenabwehrbehörde (Verwaltungsbehörde), Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, THW
Rechtliche Grundlagen:	z. B. GefStoffV, SprengG, SprengV, WaffG, KampfMV
Relevante Stoffe:	toxische Industriechemikalien, chemische Kampfstoffe, Toxine, „Weiße Pulver“, Sprengstoffe

#### Generische Beschreibung

Der Begriff der Großveranstaltung ist nicht klar definiert. Die vfdb-RL 03/03 „Einsatzplanung Großveranstaltung“ [33] spricht u. a. von einer sehr großen Zahl von Teilnehmern. Ein vom MIK NRW 2012 veröffentlichter Orientierungsrahmen für die Planung, Genehmigung und Durchführung von Großveranstaltungen [34] verbindet den Begriff mit Veranstaltungen von täglich mehr als 100.000 Besuchern (Anm.: wobei diese sich nicht gleichzeitig vor Ort aufhalten müssen). Andere Definitionen [35] [36] lassen mehr Spielraum, nach Charakter des Events und Sicherheitslage flexibel zu entscheiden.

In jedem Fall sind Großveranstaltungen Veranstaltungen, die mit großen Menschenansammlungen verbunden sind, wie politische Gipfeltreffen, internationale Konferenzen, religiöse, sportliche und kulturelle Großereignisse und Events bis hin zu Public-Viewing-Veranstaltungen, Fanmeilen u. Ä.

Typisch für das Szenario Großveranstaltung sind seine Komplexität sowie die Möglichkeit vorbereitender Planungen. In Bezug auf die Abwehr von Anschlägen mit CBRN-Stoffen bedeutet dies die mögliche Implementierung nahezu aller sonstigen als relevant für Feuerwehr, Polizei und Rettungskräfte herausgearbeiteten Szenarien mit gefährlichen Stoffen in Kombination mit großen Menschenansammlungen. [34] [35] [36]

Wesentlich für CBRN-Lagen sind das möglichst frühzeitige Erkennen einer Freisetzung sowie deren Identifizierung. Neben der mehrdimensionalen Messaufgabe ist mit einem MANV zu rechnen und es sind Vorkehrungen für die Dekontamination zu treffen. Erschwerend wirken die Vielzahl zu koordinierender Kräfte sowie Faktoren wie beengte Platzverhältnisse, eingeschränkte Flucht- und Rettungswege sowie oft lange Wege zu Sammelplätzen, Dekontamination und Verletztenversorgung.

Im Szenario Großveranstaltung mit CBRN-Lage sind unterschiedlichste Szenariotypen möglich. Diese können anfalls-, aber auch unfall- bzw. havariebedingt sein. Zu einem erheblichen Teil sind diese bereits in den Einzelszenarien charakterisiert. Weitere Möglichkeiten wurden in den vorherigen Abschnitten genannt. Möglich ist die Freisetzung von CBRN-Stoffen aller Aggregatzustände und Toxizitäten. In Frage kommen Spontanfreisetzungen sowie kontinuierliche Freisetzungen unterschiedlichster Art. Sehr effizient und vergleichsweise einfach zu realisieren ist die Nutzung von Drohnen und/oder USBV zur Freisetzung von CBRN-Stoffen. Darüber hinaus sind die Vergiftung von Lebensmitteln und Getränken sowie die Ausbringung von Kontaktgiften möglich.

### **Fallbeispiel: USBV-gestützte Freisetzung gefährlicher Stoffe während einer Großveranstaltung**

In einem Fußballstadion kommt es zu einer kleineren Explosion im Versorgungsbereich. Ein feiner Nebel geht auf Zuschauer im angrenzenden Tribünenbereich nieder. Es riecht nach Bittermandeln. Das Fernerkundungssystem schlägt Alarm, Blausäure. Ermittlungen ergaben, dass eine USBV mit chemischer Beiladung zur Umsetzung gebracht wurde.

## Detailaspekte

CBRN-Schadenslagen bei Großveranstaltungen werden in aller Regel einen terroristischen Hintergrund haben. Ein Unfallereignis, siehe dazu auch Transportunfall und Anlagenhavarie, kann allerdings ebenso nicht ausgeschlossen werden. Die potenziell einsetzbaren Stoffe und Ausbringungsmöglichkeiten sind hier sehr vielfältig. Den Extremfall bildet der Einsatz chemischer und biologischer Kampfstoffe. Vorstellbar sind entsprechende Anschläge in Kombination mit Sprengstoffen/USBV oder Drohnen.

Bei chemischen Kampfstoffen hätten bereits Mengen im unteren Kilogramm-Bereich, eingesetzt in Stadien oder gar abgeschlossenen Räumen, verheerende Folgen. Toxische Industriechemikalien sind wesentlich leichter zugänglich, doch ist deren Ausbringung bzw. das Erreichen toxikologisch relevanter Konzentrationen zumindest im Freien ungleich schwieriger bzw. erfordert wesentlich größere Substanzmengen, die an geplante Veranstaltungsorte schwerer zu verbringen sind. Daher sind in diesem Zusammenhang Szenarien wie herbeigeführte Transportunfälle oder Anlagenhavarien wahrscheinlicher, wobei auch an Anlagen am Veranstaltungsort zu denken ist, wie die Kälteanlage eines Eisstadions. Darüber hinaus spielen brennbare Druck- und Flüssiggase in Kombination mit Zündeinrichtungen eine mögliche Rolle – auch in USBV.

Die Übergänge zwischen CWA und industriell verwendeten Chemikalien sowie Pestizid-Wirkstoffen sind allerdings fließend. Ein Beispiel hierfür sind die weltweit teilweise noch verwendeten phosphororganischen Insektizid-Wirkstoffe. Sie wirken wie die klassischen Nervenkampfstoffe, sind z. T. sogar ähnlich toxisch, wie bspw. Amiton, ein VX-Verwandter. Herstellung und Verkauf unterliegen länderspezifisch großen Unterschieden, sodass eine Beschaffung prinzipiell möglich ist. Darüber hinaus ist eine Synthese durch terroristische Gruppen nicht auszuschließen.

Bei *toxischen Gasen*, wie HCN (bittermandelartig, geruchlos bei entsprechender genetischer Veranlagung), Phosgen (süßlich-fauliger/heuartiger Geruch, lungenschädigende Wirkung zeitversetzt), H<sub>2</sub>S (faule Eier, rascher Gewöhnungseffekt) oder Chlor (reizend/ätzend) liegt die tödliche Dosis bereits 20- bis 50-fach über der von Nervenkampfstoffen wie Sarin und Soman. Zumindest im Freien ist der für eine toxische Konzentration erforderliche Konzentrationsaufbau schwierig. Anders verhält es sich bei Gebäuden, Tunneln und Verkehrsmitteln. Die Gase können dabei auch vor Ort entwickelt und über Klimaanlage bzw. Belüftungssysteme verbreitet werden, d. h., Druckgasbehälter sind kein zwingendes Charakteristikum.

Für Anschlagsszenarien kommen darüber hinaus aus chemischer Sicht Toxine (z. B. Rizin) in Frage, zumal einige dieser Verbindungen vergleichsweise einfach



zugänglich sind. Da es sich um Feststoffe handelt, ist neben der Vergiftung von Speisen und Getränken/Wasser v. a. die Ausbringung in Kombination mit einer USBV und/oder Drohne (Aerosol) vorstellbar. Da diese Stoffe meist deutlich giftiger als CWA sind, reichen sehr kleine Mengen.

Flüssige toxische Industriechemikalien können spontan oder kontinuierlich freigesetzt werden und ggf. von einer Explosion überlagert sein. Die Art der Freisetzung hat neben der freigesetzten Menge bzw. Quellstärke erheblichen Einfluss auf die räumliche und zeitliche Ausbreitung bzw. erreichbare Konzentrationen sowie Nachweis- und Identifizierbarkeit am Zielort.

Bei Betrachtungen der in Frage kommenden Stoffe und der Problematik ihrer Verbringung an den Anschlagort sind selbst in der Nähe der Freisetzungsstelle Konzentrationen eher im ppm-Bereich und darunter zu erwarten. Der Faktor Zeit ist insofern für den Stoffnachweis und die Identifizierung wesentlich, ebenso die Vorhaltung nachweisstarker Messverfahren sowie Probenahmemittel zur Anreicherung. Unterstützend ist es sinnvoll, im Anschlagbereich und Umfeld gezielt nach Rückständen, Ablagerungen und Niederschlägen zu suchen.

Die Überwachung des Veranstaltungsortes sollte die Beobachtung von Verhaltensauffälligkeiten einschließen. Bei schleichender Freisetzung und Ausbreitung kann es allerdings zur Gewöhnung und verspätetem Erkennen kommen. Andere Stoffe sind geruchlos oder weisen bezüglich ihrer Wirkung Latenzzeiten auf. Beobachtungen und Reaktionen sind also nicht verlässlich bzw. können verspätet eintreten.

Beim Eindringen von Drohnen mit offensichtlichem Versprühen von Stoffen oder der Auslösung einer Explosion ist die Verknüpfung mit einer Freisetzung eines CBRN-Stoffes zu unterstellen. Bei Anhaltspunkten für eine Stofffreisetzung ist ggf. bereits vor einer Verifizierung die Räumung einzuleiten. Grundsätzlich kann die Freisetzung jedoch auch vorgetäuscht sein bzw. mit harmlosen Stoffen erfolgen und auf den Faktor Panik setzen.

Bei der Einsatzplanung zu berücksichtigen sind auch Aspekte wie die Gefahr möglicher Folgeanschläge sowie der Kontaminationsverschleppung durch die Fliehenden. Panik und Vermischung von Personenströmen gilt es daher zu verhindern. Die Rettungswege müssen zu separaten Sammelplätzen führen. Personen mit offensichtlich gesundheitlichen Problemen bzw. aus Bereichen mit sichtbarer bzw. detektierter Freisetzung sowie in Windabzugs- bzw. Lüftungsrichtung liegenden Arealen sollten so rasch wie möglich einer Begutachtung und medizinischen Versorgung unterzogen werden. Zuvor sind sie mit geeigneter portabler CBRN-Messtechnik auf Kontamination zu überprüfen und zu dekontaminieren (Verletztendekontamination).

## Empfohlene Messtechnik (C-Lagen)

### Überwachung/Erkundung

Eine Besonderheit des Szenarios Großveranstaltung ist die Möglichkeit zur Vorsorge. Neben Einlass- und Objektkontrollen ist je nach Bedrohungslage eine Überwachung des Aufenthaltsbereiches vorzusehen. Dies schließt den Einsatz geeigneter Messtechnik ein. Die möglichst kontinuierliche und flächendeckende Erfassung der Lage zielt auf die frühzeitige Erkennung eines Ereignisses zur Ausmaß- bzw. Auswirkungsbegrenzung.

Hierfür kommen insbesondere abbildende (FTIR)- oder MIR-QCL-Fernerkundungssysteme in Frage: Neben scannenden Systemen wie dem *SIGIS 2* und *RAPID* [37] [38] sind dies Gefahrstoffkameras, wie das *HI-90* [39] oder das handgeführte System *PORTHOS* [40]. Sie liefern ein zweidimensionales Abbild der Lage. Zur Visualisierung überlagern sie in der Regel ein Videobild mit der Darstellung der nachgewiesenen Schadgaswolke.

Die Überwachung durch Fernmesssysteme ist durch Beobachtung der Menschenmenge aus der Ferne sowie durch verteilte Sicherheitskräfte bzw. Ordner zu ergänzen. Darüber hinaus bietet sich der Einsatz sensorgestützter Messnetze wie das der Firma RAE Systems (AreaRAE-Geräte) an [41]. Dies ist auch insofern sinnvoll, als Fernerkundungssysteme einen freien Blick benötigen, d. h., für abgelegene Bereiche bzw. in Gebäuden nur bedingt einsetzbar sind.

In Gebäuden empfiehlt sich neben sensorgestützten Messnetzen der Rückgriff auf stationäre Raumluft-Überwachungssysteme in Verbindung mit Luftansaugsystemen und geeigneten Detektionssystemen. Für große Hallen, Tunnel u. Ä. kommen darüber hinaus punktuell messende aktive FTIR-Systeme (Sensor-Empfänger-Prinzip), ggf. ergänzt durch Spiegelsysteme zur Erweiterung des Überwachungsbereiches, wie etwa das *LaserWarn* von Block Engineering [42], in Betracht.

Zur Verifizierung eines Alarms ist der Einsatz eines zweiten Nachweissystems anzustreben. Dies gilt im Übrigen nicht nur für Fernerkundungssysteme. Steht keine zeitnahe Bestätigung durch ein anderes Messsystem zur Verfügung, sollte zumindest das den Alarm liefernde Erstsistem den Alarm bestätigen bzw. auf seine ordnungsgemäße Funktion geprüft werden (Plausibilitätscheck).

Auch im Falle von Explosionen, Auftreten von Panik, Meldungen über ungewöhnliche Gerüche, Reizungen, erhöhter Ohnmachtsrate u. Ä. ist der Scan des fraglichen Areals mit maximaler Auflösung sinnvoll. Eine Ergänzung bietet die Vor-Ort-Kontrolle – visuell, olfaktometrisch sowie mit handgeführter Mess- und

Analysentechnik sowie die Probenahme (aus Lachen, Luftprobe) zur Untersuchung mit hochempfindlichen, zentral vorgehaltenen Analysensystemen wie insbesondere GC-MS-Systemen. Die Grenzen sind hier fließend. Es gibt durchaus viele leistungsfähige, tragbare GC-MS-Systeme für den Vor-Ort-Einsatz. Ihre Einsatzgrenzen hängen stark von den Probenaufgabemöglichkeiten, der Bewertungstiefe, den Auswertemethoden sowie der Ausbildung des Personals ab.

### **Kontaminationsnachweis**

In Frage kommen für den Kontaminationsnachweis nachweisstarke, insbesondere kontinuierlich messende sowie aus stofflicher Sicht möglichst universell aufgestellte Messgeräte. Für die Gas- bzw. Dampfphase sind dies heute v. a. Sensorenarrays und PID, ergänzt durch Einzeldetektoren für bestimmte besonders toxische Gase und Dämpfe, wie IMS für den CWA- und TIC-Nachweis sowie verschiedene EC für den Einzelnachweis weiterer toxischer Industriechemikalien (TIC). Die Personen müssen mit den Geräten abgerastert werden, was zeitaufwendig ist und zu Fehlalarmen durch Querempfindlichkeiten führen kann (v. a. beim IMS).

Vielversprechend sind Entwicklungen sog. Kontaminationskameras auf FTIR-Basis. Sie sind nicht nur stofflich relativ universell und schnell, sie liefern auch ein Bild des kontaminierten Bereiches auf einem größeren betrachteten Areal. Für den Stoffnachweis wird allerdings ein Oberflächenfilm von einigen Mikrometer Tiefe benötigt. Ein Beispiel für ein solches System ist das HI-90 (Bruker), welches innerhalb eines BBK-Projektes auf seine Eignung zur Detektion oberflächlicher Kontaminationen untersucht wurde [43]. Ein weiteres bekanntes System ist das LaserScan (mit QCL, handgeführt) [44].

Sichtbare Kontaminationen mit Feststoffen und Flüssigkeiten können darüber hinaus mit sog. warmen IMS sowie ggf. nach Probenahme (flüssig, fest, gasförmig) mit klassischen oder tragbaren GC-MS-Systemen untersucht werden.

Der Einsatz der Detektions- und Analysensysteme ist bedarfsweise durch einzelstoffspezifische Testkits, Prüfröhrchen sowie Spürmittel und Vortests zu ergänzen. Solche Testkits gibt es etwa für CWA, Drogen und Sprengstoffe sowie verschiedene Biokampfstoffe und Toxine.

Erschwerend für den Kontaminations- bzw. Stoffnachweis ist die oft geringe Beaufschlagung der zu untersuchenden Oberflächen. Auch wird diese bei Kontaminationsmessung bereits einige Zeit zurückliegen. Ein Nichtnachweis ist insofern weder Beweis für das Nichtvorliegen einer Freisetzung noch der Nichtbeaufschlagung der Person.

## Zusammenfassung möglicher Messtechnik

Nachfolgend werden die wichtigsten Analysen- und Detektionssysteme sowie Testkits und Vortests genannt. Der lagebezogen sachgerechte und kombinierte Einsatz sämtlicher Mittel ermöglicht den bestmöglichen Schutz durch rasche Ergebniserzielung, hohe Identifizierungssicherheit sowie wirksame Unterstützung bei der Abarbeitung eines Ereignisses. Einen detaillierten Überblick für die Einsatzmöglichkeiten verschiedener Messtechnik ermöglicht die Tabelle 2 im Kapitel 3.1.

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen sind folgende Messverfahren geeignet:

Allgemeine Detektion:

- Fernerkundungssysteme (vgl. Aussagen zu Überwachung/Erkundung)
- Eingeschränkt unspezifische Detektoren wie Photoionisationsdetektor (PID), Flammenphotometrischer Detektor (FID), Halbleiter (HL)-Sensoren, Sensorenarrays wie das Gefahrstoffdetektorenarray (GDA) mit großer stofflicher Bandbreite, da nur vor Ort bzw. punktuell einsetzbar
- Stärker eingeschränkt Mehrgasdetektoren – Anwendungsbreite von Sensor-Bestückung abhängig (ausgewählte Einzelstoffe sowie ggf. PID, UEG)
- Eingeschränkt Kopplungen von (tragbaren) Gaschromatographen mit unspezifischen bzw. breitbandigen Detektoren, wie FID, PID u. a. (diskontinuierlich messend)
- Stärker eingeschränkt IMS und FID, da als Kampfstoffdetektoren stark selektiv
- Stark eingeschränkt Prüfröhrchen und Elektrochemische Zellen, da diskontinuierlich arbeitend und Kenntnis des vorliegenden Stoffes erforderlich
- Nur für Sonderanwendungen: Ex-Grenzen-Warn- und Messgeräte (sehr hohe NWG)

Identifikation:

- Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer (GC-MS-Systeme)
- Abgeschwächte Totalreflexion – Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (ATR-FTIR)- und Raman-Spektrometer

- Eingeschränkt FTIR-Fernerkundungssysteme und Kontaminationskameras, da relativ kleine Spektrenbibliotheken sowie NWG und Informationsgehalt stark vom Temperaturunterschied zwischen Stoff/Wolke und Hintergrund abhängig sind
- Eingeschränkt IMS, da hoch querempfindlich sowie mit extrem kleiner Spektrenbibliothek – Verbesserung der Identifizierungssicherheit in Kopplung mit GC, dann allerdings diskontinuierlich
- Eingeschränkt Testkits/Immunoassays für Toxine u. a., da sie keine sichere Identifizierung bzw. Stoffausschluss ermöglichen

#### Quantifizierung:

- PID, FID, Prüfröhrchen – im Umfang vorliegender Quantifizierungsdatensätze
- ECZ – beschränkt auf Zielsubstanz
- Sehr grob, mit Ex-Messgeräten u. Ä. (UEG/OEG, Vol.-%-Bereich)
- Nicht leistbar mit GC-MS unter Einsatzbedingungen

#### Überwachung großer Räume:

- Abbildende Fernerkundungssysteme auf Basis von FTIR-Spektrometern (scannend: z. B. SIGIS 2 [37], RAPID/RAPIDplus [38]; Multikanal-FTIR-Spektrometer: z. B. HI-90 [39] sowie Systeme mit QCL: z. B. PORTHOS [40])
- Punktuell messende Fernerkundungssysteme auf Basis von FTIR-Spektrometern mit extern positionierten Spiegeln (Sensor-Empfänger-Prinzip) zur Luftpfadkontrolle wie das LaserWarn [42] oder EM 27 und OPS [45]
- Eingeschränkt stationäre Raumluft-Überwachungssysteme wie MAusKat, [46]
- Stark eingeschränkt portable modular aufgebaute Messnetze wie AreaRAE, [41]

#### Kontaminationskontrolle:

- Stofflich möglichst universell aufgestellte sog. Gasdetektoren für den unteren ppm- und ppb-Bereich wie PID und FID einschließlich entsprechend konfigurierter Mehrgasdetektoren, Sensorenarrays u. Ä.

- für ausgewählte Einzelstoffe und Stoffklassen Detektoren hoher Selektivität, wie IMS und Flammenphotometrischer Detektor für chemische Kampfstoffe, sowie Einzelgasdetektoren wie insbesondere ECZ
- Kontaminationskameras, wie insbesondere FTIR-Kameras als Multikanal-FTIR-Spektrometer [43] oder mit QCL [44]
- Spürmittel wie pH-Papier, Wassernachweispaste etc.

Die Einsatzmöglichkeiten der Messtechnik zur Überwachung großer Räume wurden in Abhängigkeit des Aggregatzustandes und der chemischen Klassifizierung der Probe in der nachfolgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

**Tabelle 3:** Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Überwachung Großveranstaltungen“

Messtechnik	Fernerkundung, abbildend	Fernerkundung, punktuell	Kontaminationskamera, berührungsfrei
Feststoff, organ.	- - - -	- - - - -	+ + - -
Feststoff-Mischung, organ.	- - - -	- - - - -	+ - - -
Flüssigkeit, organ.	- - - -	- - - - -	+ + + - -
Flüssigkeitsmischung, organ.	- - - -	- - - - -	+ 0 - -
wässr. Lösung, gelöster Stoff organ.	- - - -	- - - - -	- - - - -
Gas, organ.	+ + + + - -	+ + + + - -	- - - - -
Gasmischung, organ.	+ 0 - -	+ 0 - -	- - - - -
Gas, anorg.	+ 0 - -	+ 0 - -	- - - - -
Gasmischung, anorg.	+ - - -	+ - - -	- - - - -

**Legende:**

Grün hinterlegt: Detektion; gelb hinterlegt: Identifikation; rot hinterlegt: Quantifizierung  
 + + / - - : besonders geeignet/nicht geeignet; 0: neutral; + / - : geeignet/weniger geeignet

**Personalanforderung**

Zur Nutzung von Detektoren, Testkits u. Ä. reicht eine kurze Einweisung. Marktübliche Geräte sind für den Gebrauch durch Einsatzkräfte optimiert, robust und

einfach zu bedienen. Die Auswertung beschränkt sich auf das Ablesen des angezeigten Messwertes und das Laden eines angewiesenen Kalibrierdatensatzes.

Bei den identifizierenden Gerätesystemen ist die Sachlage komplexer. Bei den für die Gefahrenabwehr konzipierten portablen FTIR- und Raman-Spektrometern beschränkt sich der grundlegende Einweisungsaufwand für Bediener im Extremfall ebenfalls auf wenige Minuten. Zur Ausnutzung der vollen analytischen Leistungsfähigkeit ist allerdings eine mehrstündige Einweisung erforderlich. Fernerkundungssysteme sowie insbesondere GC-MS-Systeme benötigen zur sachgerechten Bedienung zumindest eine mehrtägige Operatorenschulung sowie Festigung durch regelmäßiges Üben.

Die Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse eingesetzter spektroskopischer Analysengeräte sowie Festlegungen zur Probenaufbereitung und Analyse setzen eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus. Da die Fehlbedienungs- und Fehlinterpretationsmöglichkeiten erheblich sind, ist ergänzend ein mit dem Gerätesystem vertrauter Chemie-Fachberater (Studium der Chemie, möglichst mit Erfahrung auf dem Gebiet der Analytik) wünschenswert.

### 3.2.4 Güterkontrolle

Szenariotyp:	Arbeitsschutz
Zielgruppe(n):	BAG, Zoll, Umweltbehörden, Rettungsdienst
Relevante Stoffe:	u. a. Brommethan, Ethylenoxid, Formaldehyd, Cyanwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Sulfuryl-difluorid und diverse toxikologisch bedenkliche Industriechemikalien
Rechtliche Grundlagen:	z. B. TRGS 512, BG Verkehr, GefStoffV

### Generische Beschreibung

In Deutschland wurden im Jahr 2017 ca. 4,7 Milliarden Tonnen Güter auf Straßen, Seewegen, dem Schienennetz, mittels Luftfracht oder über Rohrleitungen transportiert. [47] Bei einem Teil dieser Güter handelt es sich um Lebensmittel, die teilweise vor Schädlingen geschützt werden müssen. Auch Waren aus organischen Rohstoffen, wie Holz oder Leder, müssen vor Insekten- und Schimmelbefall bewahrt werden. Um einen schädlichen Einfluss auf diese Waren zu vermeiden,

werden sie durch Einbringen von Begasungsmitteln in den Transportbehälter, oft Überseecontainer, geschützt. Diese Begasungsmittel sind hochreaktive, toxische Chemikalien, die Schädlinge abtöten können. Da diese Chemikalien aber nicht selektiv auf nur bestimmte Zielorganismen wirken, werden sie auch für Menschen, die sich in eine solche Umgebung begeben, zur Gefahr.

Zum Einsatz kommen nur eine Reihe von wenigen Substanzen, in Deutschland sind unter bestimmten Bedingungen folgende Begasungsmittel zugelassen: Bromethan, Ethylenoxid, Formaldehyd, Cyanwasserstoff, Phosphorwasserstoff und Sulfuryldifluorid. [48] Im internationalen Gütertransport finden sich jedoch auch immer wieder nicht zugelassene Begasungsmittel, die die Mitarbeiter von Kontrollbehörden zum Teil einer erheblichen Gesundheitsgefährdung aussetzen. Unter anderem kommen Carbonylsulfid, Chlorkiprin und Schwefelkohlenstoff zum Einsatz. [49]

Eine weitere Möglichkeit, die zur Freisetzung und Gefährdung von Kontrollpersonal führt, besteht in der Freisetzung von Stoffen, die während der Produktion der Güter zum Einsatz gekommen sind. Hierbei handelt es sich nicht um eine Begasung der Güter, sondern die Güter gasen die Schadstoffe selbst aus. Es kann sich unter anderem um Industriechemikalien, wie Formaldehyd, Ammoniak, Benzol, Chlormethan, Styrol, Kohlenstoffdioxid handeln. [50]

Die Grenzwerte der in Deutschland zugelassenen Begasungsmittel liegen im einstelligen ppm-Bereich, die Grenzwerte der relevanten Industriechemikalien liegen dagegen in einem breiteren ppm-Bereich (z. B. Benzol: 0,06 ppm und Kohlenstoffdioxid: 5000 ppm). [48] [50] Im realen Einsatz liegt auch der Konzentrationsbereich für Begasungsmittel in einem breiten ppm-Bereich, da die Gefahrstoffkonzentrationen auch oberhalb gesetzlicher Grenzwerte liegen. [51]

Normalerweise besteht für begaste Container eine Kennzeichnungspflicht, diese kann jedoch vergessen, während des Transportes beschädigt oder abgerissen worden sein. Eine Begasung sollte ebenfalls auch in den Frachtpapieren vermerkt sein.

Aktuell besteht für Personal ohne messtechnische Ausstattung keine Möglichkeit, ein Begasungsmittel oder eine Industriechemikalie nachzuweisen. Aussagekräftige Informationen über eine eventuelle Gesundheitsgefährdung, können erst durch eine kosten- und zeitaufwendige Laboruntersuchung der jeweiligen Luftproben erhalten werden. [52]

Die Aufgabe, vor der das Kontrollpersonal in diesem Szenario steht, ist eine sichere Detektion von Begasungsmitteln bzw. Industriechemikalien, um sich selbst vor einer Exposition zu schützen.



**Fallbeispiel: Fehlende Begasungskennzeichnung bei Containern [53]**

Am 7.6.2011 wurde gegen 16.40 Uhr auf der A60 bei Prüm ein niederländischer Sattelzug durch das Bundesamt für Güterverkehr angehalten und kontrolliert. Die Beförderungseinheit war mit zwei 20-Fuß-Containern beladen und vorn und hinten mit neutralen orangefarbenen Warntafeln als Gefahrguttransport gekennzeichnet. Zusätzlich war an allen vier Seiten des vorderen Containers der Großzettel (Placard) Nr. 9 für verschiedene gefährliche Stoffe und Gegenstände angebracht. Die beiden beförderten Container waren mit Hochsicherheitsplomben verschlossen.

Die Überprüfung der Beförderungspapiere ergab, dass militärische Güter befördert wurden. Gemäß den weiteren Angaben in dem vorgelegten Großcontainer- oder Fahrzeugpackzertifikat wurden im vorderen Container gefährliche Güter der UN-Nummer 3166 „Verbrennungsmotoren mit Antrieb durch entzündbare Flüssigkeit“ mitgeführt, die jedoch nicht den Vorschriften des ADR unterliegen.

Die Container waren nicht mit dem Warnkennzeichen für Begasung gemäß dem Absatz 5.5.2.3.2 der Anlage A des ADR versehen. Ebenso waren in den vorgelegten Dokumenten die Angaben über die Beförderung von Güterbeförderungseinheiten (CTU), die begast und vor der Beförderung nicht vollständig belüftet wurden, nicht enthalten.

Bei der genauen Überprüfung der Container wurde jedoch festgestellt, dass sich an den oberen Stirnseiten der beiden Container Aufschriften befanden, die auf eine evtl. Begasung hinwiesen. Auch die Abdichtungen der Verschlussstüren mit Silikon wiesen auf eine evtl. Begasung hin.

Ein geeignetes Messgerät zur genauen Detektion der Substanz stand nicht zur Verfügung. Die weitere Überprüfung ergab jedoch, dass die Container am 2.5.2011 und am 2.6.2011 begast worden waren. Als Begasungsmittel wurden die Stoffe Lambda-Cyhalothrin und Dichlorvos-2,2-dichlorovinyldimethylphosphate (Insect Guard Pest Strips) verwendet. Bei diesem Insektizid besteht durch Einatmen die Gefahr einer Gesundheitsschädigung. Es ist gemäß Sicherheitsdatenblatt sofort ein Arzt zu verständigen.

**Fallbeispiel: Art und Quelle des Gefahrstoffes nicht identifizierbar [53]**

Am 19.5.2014 gegen 9.35 Uhr wurde auf der A4 bei Dresden eine vorn und hinten mit neutralen orangefarbenen Warntafeln als Gefahrguttransport gekennzeichnete Beförderungseinheit von einer mobilen Kontrollgruppe des Bundesamtes für Güterverkehr angehalten und kontrolliert. Die beiden Kontrolleure der

Kontrollgruppe stellten bei der Kontrolle der Beförderungspapiere fest, dass die Beförderungseinheit, ein Sattelzug mit Plane und Spriegelaufbau, verschiedene gefährliche Güter in Versandstücken transportierte. Eine Überprüfung der gefährlichen Güter war außerhalb der Beförderungseinheit nicht möglich. Zur Feststellung der beförderten Güter und der richtigen Angaben im Beförderungspapier war insoweit eine Inaugenscheinnahme des Laderaums erforderlich.

Für die Laderaumkontrolle wurde die Plane der Beförderungseinheit an einer Seite geöffnet. Die Laderaumkontrolle wurde von einem Kontrolleur durchgeführt. Nach dem Betreten der Ladefläche stellte dieser einen starken Geruch fest, den er aber nicht näher bestimmen konnte. Der Kontrolleur verließ daher unverzüglich die Ladefläche.

Da sich bei dem Kontrolleur nach der Laderaumbesichtigung jedoch ein leichtes Unwohlsein einstellte, wurde der Notarzt verständigt. In dem herbeigerufenen Rettungstransportwagen (RTW) wurde der Kontrolleur mit Sauerstoff behandelt, konnte danach aber seinen Dienst fortsetzen.

Es wird vermutet, dass der Kontrolleur beim Betreten der Ladefläche geringe Mengen Chlorgas eingeatmet hat. Ein Messgerät zur genauen Detektion der Substanz stand jedoch nicht zur Verfügung.

### **Detailspekte**

Im Szenario „Begaste Container“ gibt es zwei unterschiedliche Ausgangssituationen:

- Verwendung eines Begasungsmittels, der Container ist hierbei entsprechend internationaler Verfahren gekennzeichnet
- Ausgasen unbekannter Substanzen oder Substanzmischungen oder eine fehlende Kennzeichnung der Container bei durchgeführter Begasung

Ziel des Einsatzes von Messtechnik im Szenario „Begaste Container“ ist der Arbeitsschutz für das eingesetzte Kontrollpersonal. Im Fokus steht eindeutig die Detektion einer begrenzten Anzahl giftiger Substanzen, um eine Aufnahme dieser Schadstoffe über die Atemwege oder die Haut zu verhindern.

## Empfohlene Messtechnik

Da eine Identifikation der Schadstoffe nicht erfolgen muss, beschränkt sich die Auswahl geeigneter Messtechnik auf die Detektion einer begrenzten Anzahl von Substanzen. Der Messtechnik sollte es möglich sein, bekannte Begasungsmittel sowie eine Reihe ausgasender Industriechemikalien nachzuweisen. Listen und Informationen über diese Stoffe können beim Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) erhalten werden. Die Messtechnik muss sehr breitbandig (Stoffe unterschiedlicher Eigenschaften) detektieren können und zudem über eine möglichst niedrige Nachweisgrenze verfügen, um toxische Stoffe (z. B. Phosphin) in sehr niedrigen Konzentrationen detektieren zu können.

Abhängig von den Eigenschaften der zu erwartenden Substanzen sind folgende Messverfahren geeignet:

Detektion: Prüfröhrchen, spezifische Sensoren, PID, IMS, GC-MS [52]

## Personalanforderung

Beim Einsatz von detektierender Messtechnik im Szenario Güterkontrolle (v. a. PID, Prüfröhrchen, ECZ) ist im Rahmen der Ausbildung eine Einweisung notwendig. Die marktüblichen Messgeräte sind zum Gebrauch durch normale Benutzer optimiert und einfach zu bedienen. Es ist keine spezielle berufliche Ausbildung oder ein Studium notwendig. Die Auswertung beschränkt sich auf das Ablesen eines konkreten Messwerts.

Besonderes Augenmerk muss auf die Pflege und Wartung der Messgeräte gerichtet werden, da diese im Arbeitsschutz verwendet werden. Es müssen Pflege- und Wartungsfristen gemäß Herstellerangaben beachtet werden und die durchgeführten Arbeiten dokumentiert werden. Die Arbeiten selbst sind üblicherweise durch die Nutzer nach Einweisung einfach durchzuführen und setzen ebenfalls keine spezielle berufliche Ausbildung oder ein Studium voraus.

### 3.2.5 Illegale Entsorgungsplätze

Szenariotyp:	akute bis potenzielle Freisetzung
Zielgruppen:	Polizei, Umweltbehörden
Relevante Stoffe:	eine Vielzahl von Stoffen
Rechtliche Grundlagen:	z. B. AVV, AltölV, AltholzV
Fragestellungen:	Gefährdungsabschätzung

#### Generische Beschreibung

Nahezu alles, was jemals produziert wurde, kann zu Abfall werden. Der „Abfall“-Begriff ist im KrWG (Kreislaufwirtschaftsgesetz) definiert. Für jede Abfallart gibt es einen rechtlich und technisch vorgesehenen Entsorgungsweg, der aus verschiedenen Gründen und Motiven gelegentlich verlassen wird. Eine mögliche Variante ist die illegale Lagerung von Abfällen (z. B. Lagerung von Abfällen oder Mengen, für die keine Genehmigung vorliegt) oder die illegale Entsorgung an dafür nicht vorgesehenen Plätzen (illegale Walddeponie, Verklappen).

Eine Mengenbeschränkung ist hierbei nicht definierbar. Eine illegale Entsorgung kann von Privatpersonen bis hin zur Großindustrie begangen werden. Betroffene Orte können Straßen- und Waldränder im öffentlichen Raum, ungenutzte Grundstücke, Gruben, Senken, alte Deponien, Seen, abgestellte Container usw. sein.

#### Fallbeispiel: Chaoshaufen aus Altholz [54]

Ein Chaoshaufen aus 44.000 m<sup>3</sup> Altholz befindet sich auf abgelegenen, teilweise betoniertem altem Industriebahngelände in Berlin-Heinersdorf. Es läuft ein Strafverfahren und der Betreiber befindet sich bereits in Untersuchungshaft. Nach LKA-Bestandsaufnahme befinden sich in dem Haufen „alle jemals seit dem Kaiserreich in Deutschland verwendeten Holzschutzmittel“.

Im Zuge der Ermittlungen und durch Maßnahmen der zuständigen Behörden sind Baustraßen/Brandschneisen angelegt worden, die den Chaoshaufen in sechs Teilhaufen à ca. 8.000 m<sup>3</sup> teilen.

Am 17.10.1999 um 2.18 Uhr kam es auf der hintersten Teilfläche nach Brandstiftung zu einem Feuer. Anfänglich entstand eine senkrechte, sehr hoch reichende Feuer- und Rauchsäule, sodass sogar Flugrouten geändert werden mussten.

Da die nächste Wasserversorgungsstelle rund 1.000 m entfernt war, wurden zur Vergrößerung der Brandschneisen drei Radlader eingesetzt und die Flughafenfeuerwehr mit Schaumwerfer angefordert. Mit zunehmendem Löscherfolg war schwärzerer Rauch mit geringerer Höhe zu beobachten. Letztendlich verbrannten rund 5.000 m<sup>3</sup> Holz in 24 Stunden – ein Übergreifen des Feuers auf die benachbarten Teilflächen konnte verhindert werden.

24 Stunden später entstand ein Schaumteppich auf der Panke (Nebenfluss der Spree, Entfernung zum Brandort 2,5 km Luftlinie). Es fiel ein brandiger Geruch auf und es kam zum Fischsterben. Was war passiert? Unter dem Brandherd befand sich eine Gleisanlage, deren Gleisbettentwässerung in die Panke führt (die Verifizierung der hydraulischen Verbindung wurde mit den Farbstoffen Uranin und Kongorot durchgeführt).

Weitere Löschwasseranalysen ergaben zahlreiche organische und anorganische Verbindungen (z. B. Lindan, DDT, Schwermetalle ...). Das Fischsterben wurde vermutlich primär durch die Tenside des Löschschaumes verursacht.

### **Fallbeispiel: Gewässerverschmutzung [54]**

Am 10.6.2003 wurden zwischen zwei Einläufen des Berliner Seggeluchbeckens (Packereigraben, Heinzegraben) viele tote Fische entdeckt. Sämtliche Analysen und Ermittlungen führten zunächst nicht zur Feststellung einer kausalen Ursache des festgestellten Sauerstoffmangels.

Der Fall konnte aufgeklärt werden, nachdem im Zuge einer Anzeige wegen Betrugsverdacht festgestellt wurde, dass eine Firma, die im Auftrag eines bekannten Cola-Herstellers Freidosen verteilen sollte, diese im Feststellungszeitraum des Fischsterbens innerhalb eines Monats entleert und über eine Hebeanlage in die Regenkanalisation, die direkt in das Seggeluchbecken führt, entsorgt hat. Insgesamt handelte es sich um 550.000 Dosen à 250 ml.

### **Fallbeispiel: Geruchsbelastung [54]**

Am 14.12.2011, um 20.15 Uhr alarmiert die Filialeiterin einer Berliner Reichelt-Filiale Polizei und Feuerwehr, da einige Mitarbeiter über Reizungen der Augen und

der oberen Atemwege in Verbindung mit Übelkeit und Kopfschmerzen klagten. Zwei Mitarbeiter wurden im Krankenhaus ambulant behandelt. Die Symptome verschwanden jedoch recht schnell wieder an frischer Luft. Als Ursache wurden von der Feuerwehr Ausgasungen aus einem Pfandflaschenautomaten identifiziert.

Nach Freigabe der betroffenen Räume durch die Feuerwehr erfolgte um 21.45 Uhr eine erneute Alarmierung der Polizei, da weitere Personen über oben genannte Symptome klagten. Nachdem auch der C-Dienst der Feuerwehr die Ursache nicht näher beleuchten konnte, wurde schließlich um 22.30 Uhr die Rufbereitschaft von LKA KT 61 (ATF) hinzugezogen.

„Da die Geschädigten – trotz recht langer Kontaktzeit – über vergleichsweise geringe Symptome klagten, gingen wir von keiner akuten Bedrohung aus und näherten uns dem Tatort bis wir den beschriebenen – für einen Pfandflaschenautomaten untypischen – Geruch wahrnehmen konnten. Allen schien der Geruch vertraut zu sein, jedoch konnte ihn niemand benennen.“

Ein Gasadsorptionsröhrchen (Tenax) wurde mit 10 Hüben (à 100 ml Luft) in der unmittelbaren Nähe des Getränkeautomaten beladen und anschließend im GC-MS-System vermessen. Im Ergebnis erhielt man ein umfangreiches Chromatogramm mit über 70 Einzelsignalen verschiedener Intensität. Neben vielen Alkanen, Alkohole mit hoher Signalstärke, wurde schließlich eine Substanz mit geringer bis mittlerer Signalstärke identifiziert – Benzoessäuremethylester. Auch bekannt als Heizkörperverdampferflüssigkeit wird Benzoessäuremethylester zur Bestimmung des Heizkostenanteiles in Mietwohnungen im  $\mu\text{l}$ -Bereich verwendet. Bei Freisetzung von größeren Mengen (hier geschätzt mehrere ml) kommt es zu beschriebenem Geruch und Symptomen – wie die anschließende Vor-Ort-Recherche im Internet und in Sicherheitsdatenblättern ergab. Nach Leerung und Reinigung des Automaten durch eine Fachfirma und intensiver Lüftung konnte die Filiale erst am Mittag des Folgetages wieder freigegeben werden.

## **Detailspekte**

Die vom Abfall ausgehenden Gefahren sind vielfältig. Freisetzungen von Gasen und Dämpfen (z. B. Stoffe mit hohem Dampfdruck in undicht werdenden Gebinden), chemische Reaktionen zwischen Abfallkomponenten, Freisetzung bzw. Elution gefährlicher Stoffe. Die Liste von Gefahren ist lang und unüberschaubar, genau wie die denkbaren Wirkungen: akute Gefahren (Feuer, Toxine) oder Umweltverschmutzung (Boden, Wasser, Luft).

Im Allgemeinen steht bei der Lagebewältigung die umweltschonende und sachgerechte Bergung und Entsorgung im Vordergrund. Dabei sind ggf. folgende Fragestellungen analytisch und fachlich zu klären:

- Welche Stoffe wurden freigesetzt bzw. könnten freigesetzt werden? Wie verhalten sich diese Stoffe in der Umwelt?  
Je nach Sachlage kann hier die komplette Bandbreite der mobilen und stationären Analytik zum Einsatz gebracht werden.
- Sind Umweltmedien wie Böden, Gewässer oder Luft verunreinigt, gilt es die Ausdehnung zu detektieren, um den Sanierungsumfang festlegen zu können. Gegebenenfalls kann auch die zeitliche Ausbreitung zu berechnen und detektierend zu überprüfen sein.  
Der Stoff muss identifiziert werden, dann kann detektierend das Ausmaß der Verschmutzung erfasst werden

### Empfohlene Messtechnik

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen, sind folgende Messverfahren geeignet:

Detektion	Messtechnik zur Bestimmung von Umweltparametern (pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Prüfröhrchen für Schadstoffe, Schnelltests (z. B. Anionen-Nachweis), colorimetrische Tests ...), Infrarot-Messgeräte (RedEye), Messgeräte für radioaktive Kontaminationen (Contamat), Photoionisationsdetektoren (PID), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)
Identifikation:	IR- und Raman-Spektroskopie; im Bereich der Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer GC-MS, stehen verschiedene Methoden der Probengewinnung sowie der speziellen Einlasstechnik im Vordergrund, z. B. Direkte-MS, DESI-MS, Probenträger wie SPME-Fasern oder Tenax und andere absorptive Oberflächen (Twister)
Quantifizierung:	abhängig von der messtechnischen Ausstattung, dem Probencharakter und der Aufgabenstellung

Spezielle zeitsparende Probenahme-Möglichkeiten und Messtechniken werden in Abhängigkeit des Aggregatzustandes und der chemischen Klassifizierung der Probe in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tabelle 4:** Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Illegale Entsorgungsplätze“

Messtechnik	Probenahmetechnik	Direkt-MS-Methoden	
	Z. B. SPME, Twister, Adsorptionstechniken	Z. B. DESI, DART	Colorimetrische Tests
<b>Anmerkung</b>	Keine oder nur geringe Probenvorbereitung		
Feststoff, rein	0 0	+ + 0	+ + 0
Feststoffmischung	0 0	+ + 0	0 0 0
Flüssigkeiten, rein	+ + 0	+ + 0	+ + -
Fl.-Mischung	+ + 0	+ + 0	+ + -
Wässr. Lösung	+ + 0	0 0 0	+ + -
Gas, rein, org.	+ + 0		+ + -
Gas, rein, anorg.	0 0 -		+ + -
Gasmischungen	+ + 0		+ + -

**Legende:**

Grün hinterlegt: Detektion; gelb hinterlegt: Identifikation; rot hinterlegt: Quantifizierung  
 -: ungeeignet; 0: bedingt geeignet; +: geeignet; ++: empfohlen

### Personalanforderung

Beim Einsatz detektierender Messtechnik, wie einfachen Bestimmungen von Umweltparametern (pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Prüfröhrchen für Schadstoffe, Schnelltests (z. B. Anionen-Nachweis) usw.), PID, IMS sowie spektroskopischen Methoden (FTIR und Raman), ist eine Bedienung durch ausgewiesenes Personal möglich, da diese Tests und mobilen Messgeräte für diese Zielgruppe entwickelt werden. Für den ausgewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen und Weitermelden eines Farbumschlags oder Substanznamens beschränken.



Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen solcher Messgeräte Fachkenntnisse über z. B. Probenaufbereitung, Probenaufgabe und Parametrisierung der Geräte notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und Schäden an den Geräten entstehen.

Insbesondere Umweltproben sind äußerst komplex. Die Interpretation der Messergebnisse aus Spektroskopie (IR, FTIR, Raman, RFA) und GC-MS setzt zwingend eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus – ein Studium der Umweltwissenschaften ist hilfreich. Sämtliche Spektren müssen kritisch interpretiert werden (z. B. Qualität Peakerkennung), automatische Bibliothekenvergleiche müssen auf Plausibilität überprüft werden (alle Peaks vorhanden, stimmen die Relationen) und identifizierte Substanzen müssen richtig bewertet werden (z. B.: Zielsubstanz = Symptome).

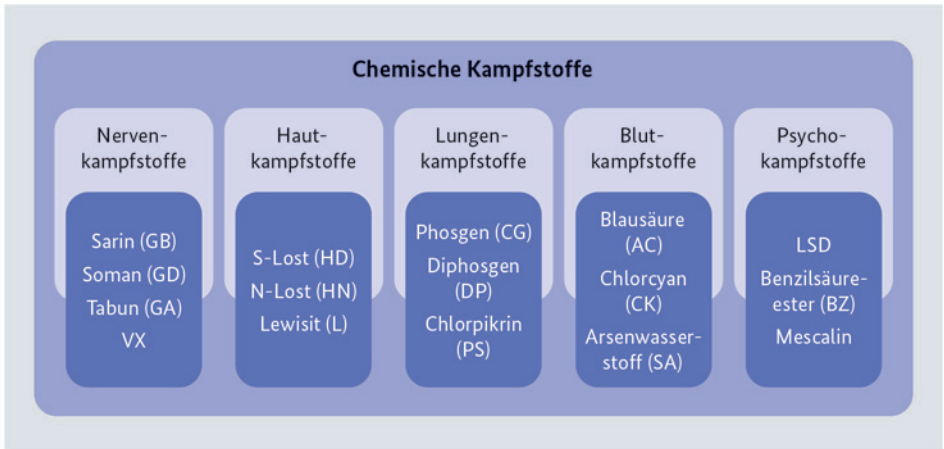
### 3.2.6 Kampfstofffreisetzung

Szenariotyp:	Spontanfreisetzung
Zielgruppen:	Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Umweltbehörden
Rechtliche Grundlagen:	z. B. KrWaffG, SprengG, KampfMVO
Relevante Stoffe:	Chemische Kampfstoffe (CWA)

### Generische Beschreibung

Generell versteht man unter chemischen Kampfstoffen alle chemischen Substanzen, welche aufgrund ihrer toxischen Wirkung schädigend gegen Menschen, Tiere und Pflanzen eingesetzt werden können. Dabei ist es unerheblich, ob sie nur vorübergehend, nachhaltig oder sogar direkt tödlich wirken. Das CWÜ (Chemiewaffen-Übereinkommen) definiert chemische Kampfstoffe kurz als Chemikalie, die als chemische Waffe eingesetzt werden kann. [55] Kampfstoffe können infolge von Terroranschlägen, Kriegshandlungen oder durch Altlasten früherer Kriege freigesetzt werden. Bei einer Spontanfreisetzung handelt es sich um eine Kampfstoffwolke oder/und eine Flächenkontamination. Es besteht die Gefahr einer längerfristigen Oberflächenkontamination sowie der Entstehung einer sich schnell ausbreitenden Schadstoffwolke. Die Wolke kann den Kampfstoff gasförmig oder auch als Aerosol enthalten.

Es gibt eine vielfältige Anzahl an zu betrachtenden chemischen Kampfstoffen, von denen einige in Abbildung 20 beispielhaft aufgeführt sind.



**Abbildung 20:** Übersicht der wichtigsten chemischen Kampfstoffe

Für Kampfstoffe gelten folgende Kriterien:

- Hohe Toxizität
- Polyvalente Wirkung
- Sofortiger oder verzögerter Wirkungseintritt
- Sinnliche Unwahrnehmbarkeit
- Leichte Aufnahme in den Organismus
- Entsprechende physikalische Parameter
- Lange Lagerstabilität
- Chemische Stabilität und „Prinzip der Unentgiftbarkeit“
- Hohes Diffusionsvermögen

Diese Kriterien machen deutlich, dass bei einer Kampfstofffreisetzung eine schnelle Identifikation durch geeignete Messtechnik zwingend erforderlich ist, um Menschenleben zu schützen. [56]

### **Fallbeispiel: Terroranschlag in einem Wohngebiet [57]**

Am 27.6.1994 wurde in Japan (Matsumoto) ein Terroranschlag verübt. In den späten Abendstunden wurden 12 Liter Sarin mit einem Heizlüfter von einem Lkw in einen Wohnbereich geblasen. Aufgrund der warmen Temperaturen schliefen viele Bewohner bei offenem Fenster. Infolge der Kampfstofffreisetzung wurden sieben Menschen getötet und 58 Menschen verletzt. Insgesamt waren 600 Personen betroffen. Der Nachweis des Giftes erfolgte erst sieben Tage später durch die Analyse einer Wasserprobe aus einem Teich im Garten eines nahegelegenen Hauses.

### **Fallbeispiel: Terroranschlag in einer U-Bahn [58]**

Am 20.5.1995 wurde in Japan (Tokio) ein Terroranschlag verübt. In besetzten U-Bahn-Zügen wurde von Mitgliedern der Aum-Shinrikyo-Sekte der Kampfstoff Sarin ausgebracht. Der Anschlag erfolgte nahezu gleichzeitig in fünf U-Bahn-Wagons unterschiedlicher Züge. Der erste Anschlag wurde um 8.05 Uhr gemeldet. Der erste Nachweis von Sarin erfolgte etwa zwei Stunden später um 10.20 Uhr. Infolge der Kampfstofffreisetzung wurden zwölf Menschen getötet, 54 erheblich sowie 984 mittelgradig vergiftet. In der Fabrikationsstätte der Sekte wurden am 22. März 1995 von der Polizei verschiedene Ausgangsstoffe zur Herstellung von Sarin beschlagnahmt. Das in Tokio eingesetzte Sarin enthielt kleine Mengen an Diisopropylmethylphosphonat, einem typischen Nebenprodukt bei der Sarinherstellung.

### **Fallbeispiel: Schadstofffreisetzung durch kriegerischen Konflikt [57]**

Im Mai 1999 kam es im damaligen Jugoslawien zu einer kriegsbedingten Schadstofffreisetzung. Infolge der Bombardierung der serbischen Industrieanlagen wurden erhebliche Mengen von Schadstoffen in die Luft und in die Oberflächengewässer geleitet. Große Flächen wurden kontaminiert. Als freigesetzte Stoffe sind Phosgen, Chlor, Chloroxide und Stickoxide zu nennen.

## Ausgangssituation

Bei einer Kampfstofffreisetzung handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um die Ausbringung zunächst unbekannter flüssiger, fester oder gasförmiger Substanzen in Gebäuden, Fahrzeugen oder unter freiem Himmel. Die Menge kann, in Abhängigkeit der Ausbringung, zwischen wenigen Gramm und einigen Kilogramm liegen. Somit befindet sich der Konzentrationsbereich in der Luft bei Vol.-% in der unmittelbaren Umgebung der Freisetzungsstelle und im ppm-Bereich weiter abseits. Je nach Konzentration muss unterschiedliche Messtechnik ausgewählt werden. Solche, die für den ppm-Bereich konzipiert ist, wird bei einer Konzentration von Vol.-% in den Sättigungsbereich gehen und so an Aussagekraft verlieren. Andererseits kann mit grober Messtechnik eine niedrige Konzentration nicht mehr nachgewiesen werden, wenn sie unterhalb der Nachweisgrenze des Messprinzips liegt.

Bei den freigesetzten Stoffen spielt der Dampfdruck eine entscheidende Rolle. Stoffe mit niedrigem Dampfdruck, wie z. B. der Kampfstoff VX, erzeugen nur sehr geringe und nur schwierig zu detektierende Konzentrationen in der Umgebungsluft; während Kampfstoffe mit einem hohen Dampfdruck hingegen sehr gut mit entsprechender Messtechnik nachgewiesen werden können. Kampfstoffe mit hohen Siedepunkten bzw. niedrigen Dampfdrücken stellen wegen ihres geringen Dampfdrucks äußerst sesshafte Kampfstoffe dar, welche für Tage oder Wochen als Oberflächenkontamination am Ort ihrer Ausbringung verbleiben können.

Umweltbedingungen wie Temperatur, Windstärke und Niederschlag besitzen einen großen Einfluss auf die Ausbreitung, die Sesshaftigkeit und den Nachweis von chemischen Kampfstoffen.

## Empfohlene Messtechnik

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen, sind folgende Messverfahren geeignet:

Detektion:	Prüfröhrchen, Photoionisationsdetektor (PID), Ex-Meter, Elektrochemische Zellen (ECZ), Halbleiter(HL)-Sensoren, Schnelltests, Teststäbchen (pH), Wassernachweispaste, Flammenphotometrischer Detektor (FPD), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS), Fernerkundungssysteme
------------	---

Identifikation:	Infrarot (IR)- und Raman-Spektroskopie, Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer GC-MS
Quantifizierung:	Abhängig von der messtechnischen Ausstattung, dem Probencharakter und der Aufgabenstellung

### **Personalanforderung**

Beim Einsatz von detektierender Messtechnik im Szenario Kampfstofffreisetzung ist im Rahmen der Ausbildung eine Einweisung notwendig. Die marktüblichen Messgeräte sind zum Gebrauch durch normale Benutzer optimiert und einfach zu bedienen. Es ist keine spezielle berufliche Ausbildung oder ein Studium notwendig. Die Auswertung beschränkt sich auf das Ablesen und Weitermelden eines konkreten Messwerts.

Bei den spektroskopischen Methoden ist eine Bedienung durch eingewiesenes Personal nötig, da die mobilen Messgeräte durch die Hersteller auf diese Zielgruppe hin entwickelt werden. Für den eingewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen und Weitermelden der Substanznamen beschränken.

Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist selbst durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen solcher Messgeräte Fachkenntnisse notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und zu Schäden am Gerät führen.

Die Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse aus Spektroskopie und GC-MS setzen zwingend eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus. Sowohl die Spektren von Infrarot- und Raman-Spektrometern müssen kritisch interpretiert werden, wie auch die Massenspektren aus GC-MS-Systemen. Darüber hinaus muss bei den Chromatogrammen auch auf eine korrekte Peakidentifizierung geachtet werden.

### 3.2.7 Unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtung (USBV)

Szenariotyp:	Umsetzung bzw. Auffinden einer USBV
Zielgruppen:	Kriminalpolizei, Bundespolizei, Zoll
Rechtliche Grundlagen:	z. B. SprengG, SprengV, GefStoffV
Fragestellung:	<p>Informationsbedarf für Polizeiführer, Gefährdungseinschätzung.</p> <p>Werden noch weitere unbekannt Substanzen aufgefunden, müssen diese zu Eigenschutzmaßnahmen identifiziert werden.</p> <p>Auffinden einer USBV:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. USBV hat sich noch nicht umgesetzt: PDV 100 Entschärfer</li> <li>2. USBV hat sich umgesetzt: Tatortarbeit</li> </ol>

#### Generische Beschreibung

##### Durchsuchungsmaßnahme

Im Rahmen einer Durchsuchungsmaßnahme wird eine USBV aufgefunden. Der Fundort wird zuerst durch die Einsatzkräfte abgesperrt. Anschließend wird eine Meldung an die Einsatzleitstelle abgegeben. Diese sendet dann die USBV-Entschärfer an den Fundort. Die USBV wird von den Entschärfern entschärft. Nach Abschluss der Entschärferarbeiten wird der Tatort bzw. Fundort von den Entschärfern für die Spurensuche freigegeben.

Die Detektionstechnik, die hier zum Einsatz kommt, wird zu Eigenschutzmaßnahmen verwendet.

##### Besondere Lagen

Besondere Lagen wie z. B. die Umsetzung einer USBV erfordern eine abgestimmte Zusammenarbeit von Polizei und Rettungsdienst.

Der Tatort-/Gefahrenbereich wird durch die Einsatzkräfte abgesperrt. Der Einsatz innerhalb der inneren Absperrung erfolgt immer nur nach Absprache mit der Polizei. Soweit die medizinische Versorgung innerhalb des Gefährdungsbereiches erfolgen muss, darf der Bereich durch Kräfte des Rettungsdienstes nur mit

Einwilligung und unter Vorgaben der Polizei betreten werden. Wegen der nicht auszuschließenden Eigengefährdung kann ein derartiger rettungsdienstlicher Einsatz nur freiwillig erfolgen.

Um Sicherheit für weitere Einsatzkräfte herzustellen, muss der Tatort nach weiteren USBVs abgesucht werden. Ferner muss eine Überprüfung erfolgen, ob noch eine Restgefahr von der umgesetzten USBV ausgeht.

Anschließend wird der Tatort für die Rettungskräfte und die Spurensuche freigegeben.

Die Durchführung von einigen der beschriebenen Maßnahmen setzt eine fachspezifische Ausbildung voraus und ist deshalb den ausgebildeten Kräften aus den Bereichen „Sprengstoffermittlungen und Entschärfung USBV“ vorbehalten.

### **Fallbeispiel: Durchsuchung [59]**

Durchsuchungsmaßnahme bei Herrn A. Müller am 1. 4. 1992. Herr Müller war bekannt dafür, dass er sich in der rechten Szene bewegt. Bis 1990 besaß Herr Müller einen Waffenschein. Dieser wurde ihm im Dezember 1990 aufgrund eines Gewaltdelikts entzogen. Aufgrund von Hinweisen eines verdeckten Ermittlers, dass Herr Müller Waffen und Explosivstoffe in seiner Wohnung lagerte, wurde eine Durchsuchungsmaßnahme geplant.

Da mit Sprengfallen und USBVs zu rechnen war, wurden Entschärfer für die Durchsuchungsmaßnahme herangezogen. Die Durchsuchungsmaßnahme wurde durchgeführt, als Herr Müller die Wohnung verlassen hatte.

Beim Öffnen der Haustür wurde durch die Entschärfer eine Sprengfalle aufgefunden und entschärft. Zwei weitere Räume waren ebenfalls mit Sprengfallen gesichert. Diese konnten auch durch die Entschärfer entschärft werden. Im Rahmen der Durchsuchungsmaßnahme wurden sowohl verschiedene militärische Explosivstoffe als auch Behältnisse mit unbekanntem Chemikalien aufgefunden. Um zu überprüfen, inwieweit von den aufgefundenen Chemikalien eine Gefährdung ausging oder nicht, mussten diese vor dem Abtransport identifiziert werden.

Für den Abtransport der Chemikalien bzw. Explosivstoffe wurde vor Ort mit der vorhandenen Messtechnik überprüft, um welche Stoffe es sich handelt.

Bevor die aufgefundenen Chemikalien abtransportiert werden konnten, mussten die Inhaltsstoffe der aufgefundenen festen und flüssigen Stoffe mit geeigneter

mobiler Detektionstechnik sicher und schnell identifiziert werden. Dabei war es notwendig, sowohl Spuren von indizierten Substanzen im Falle der Wischproben als auch sichtbare Kleinmengen von Substanzen bis Gebinde in Gramm- bis Kilogrammengen untersuchen zu können.

### **Fallbeispiel 2: Unfall [59]**

Ein Bastler delaborierte illegale Pyrotechnik (Polenböller), um sich eine Rohrbombe zu bauen. Beim Umfüllen kam es aufgrund elektrostatischer Aufladungen zur Umsetzung. Anwohner informierten die Polizei und die Feuerwehr. Beim Eintreffen der Rettungskräfte wurde der Bastler mit schwersten Gesichtsverletzungen sowie schweren Handverletzungen aufgefunden. Während durch die Rettungskräfte die Erstversorgung des Bastlers erfolgte, wurde die Wohnung von USBV-Entschärfnern durchsucht. In der Wohnung wurden sowohl weitere pyrotechnische Gegenstände als auch nicht gekennzeichnete Chemikalien aufgefunden.

**Zusätzliche Inhalte unterliegen einer sensiblen Klassifizierung, weiterführende Informationen können Polizeikräfte erhalten bei:**

Thomas Forster  
E-Mail [kt25@bka.bund.de](mailto:kt25@bka.bund.de)  
Telefon 06 11/55-0

### **3.2.8 Aufspüren eines illegalen Labors**

Szenariotyp:	verdeckte Ermittlung
Zielgruppen:	Kriminalpolizei, Zoll, Gemeinsame Ermittlungsgruppen
Rechtliche Grundlagen:	z. B. BtMG, SprengG, SprengV, Verordnung (EG) Nr. 111/2005
Fragestellungen:	Informationsbedarf für Polizeiführer, Objekt lokalisieren, Zugriffsplanung, Gefährdungsabschätzung, Anfangsverdacht Straftat

Abgrenzung der Szenarien „Aufspüren“ und „Sicherstellen“ eines illegalen Labors: Im Zusammenhang mit der polizeilichen Handhabung illegaler Labore gibt es drei Phasen:



1. Die polizeitaktische Phase (Aufspüren und Observieren zwecks Zugriffsplanung)
2. Der Zugriff (durch Spezialeinsatzkräfte zur Festnahme von Personen im Laborobjekt und deren Entfernung aus demselben)
3. Die Sicherstellung (Erkennen und Abstellen von Gefahrenquellen, Sicherung von Beweismitteln, Abbau und Abtransport von Laborgerätschaften/Chemikalien/Abfällen)

Die beiden beschriebenen Szenarien „Aufspüren“ und „Sicherstellen“ liegen zeitlich vor bzw. nach dem Zugriff, der Zugriff durch SEK/MEK selbst ist nicht Gegenstand der Szenarien.

### **Generische Beschreibung**

Synthetische Drogen stellen auf Basis einer Analyse der Europäischen Beobachtungsstelle für Drogen und Drogensucht (EMCDDA) gegenwärtig die größte Herausforderung bei der Bekämpfung missbräuchlich konsumierter Rauschgifte dar. [60] Nach Cannabis sind Substanzen vom Amphetamin-Typ (amphetamine-type stimulants – ATS) noch vor den klassischen Rauschgiften Kokain und Heroin die europaweit am häufigsten missbräuchlich konsumierte illegale Substanzgruppe. [61] Nach Berichten des United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC) wird seit 1990 über die illegale Herstellung von ATS aus mehr als 70 Ländern berichtet und es ist ein deutlicher Trend zur weiteren Verbreitung dieser Substanzgruppe zu verzeichnen. Erkenntnisse von UNODC, Europol und EMCDDA führen zur Einschätzung, dass Europa ein Schwerpunkt der illegalen Herstellung von ATS bildet. [62] Neben vielen kleinen Synthesestätten werden durch polizeiliche Maßnahmen auch Großproduktionsanlagen sichergestellt, die in organisierte kriminelle Strukturen eingebunden sind. So befindet sich beispielsweise in West- und Zentraleuropa der weit überwiegende Teil der weltweit sichergestellten illegalen Amphetamin-Produktionsstätten.

### **Fallbeispiel: Drogenlabor [63]**

Im Verlauf der Ermittlungen in einem OK-Verfahren (OK = Organisierte Kriminalität) ist der Verdacht des Betriebens eines illegalen Labors zur Herstellung von Betäubungsmitteln aufgekommen.

Es liegen Hinweise vor, dass verschiedene Objekte (Gebäude) als Tatort in Frage kommen können. Seitens der ermittlungsführenden Polizeidienststelle ist es nicht möglich, durch klassische Observationsmaßnahmen das Gebäude und darin die genaue Lage der illegalen Produktionsstätte ausfindig zu machen. Auch steht nicht fest, um welche Art von Produktionsstätte es sich handeln könnte, welches Betäubungsmittel hergestellt und nach welchem Verfahren produziert wird. Aus der polizeilichen Ermittlungsarbeit ist die Herstellung verschiedener Rauschgifte wahrscheinlich. Des Weiteren kommen eine Herstellung von Amphetamin oder aber die Lieferung einer größeren Menge von MDMA (3,4-Methylenedioxy-metamfetamin) in Betracht. Aus folgenden Ermittlungen ergibt sich, dass eine große Rauschgiftmenge aus dem Labor an eine ausländische Händlergruppierung abgegeben werden soll. Die Polizeiführung entscheidet, das Rauschgiftgeschäft zu unterbinden und die beteiligten Personen festzunehmen.

**Zusätzliche Inhalte unterliegen einer sensiblen Klassifizierung, weiterführende Informationen können Polizeikräfte erhalten bei:**

Michael Pütz  
E-Mail kt45@bka.bund.de  
Telefon 06 11/55-0

Dr. Björn Ahrens  
E-Mail kt45@bka.bund.de  
Telefon 06 11/55-0

### 3.2.9 Sicherstellung illegales Labor

Szenariotyp:	Tatort-Arbeit, Durchsuchungsmaßnahme
Zielgruppe(n):	Kriminalpolizei, Zoll, Gemeinsame Ermittlungsgruppen, Feuerwehr
Relevante Stoffe:	Drogen, Sprengstoffe (inkl. Edukte, Zwischenstufen, Hilfsprodukte), Prozesschemikalien und -gase, Lösemittel
Rechtliche Grundlagen:	z. B. BtMG, SprengG, SprengV, Verordnung (EG) Nr. Nr. 111/2005
Fragestellungen:	Informationsbedarf für Polizeiführer, Lageeinschätzung Gefährdungsabschätzung Einsatzkräfte, Beweissicherung, Beurteilung von Produktionsvorgängen und Laboreinrichtungen, Spurensicherung, Entscheidungsgrundlage für Sicherstellung und Asservatentransport

## Generische Beschreibung

Im Rahmen kriminalpolizeilicher Ermittlungen werden eindeutige Hinweise auf eine illegale Produktionsstätte/Lagerstätte für Betäubungsmittel erhalten. Nach einer kurzen Observationsphase erfolgt der Zugriff durch Spezialeinsatzkräfte. Das vorliegende Szenario beschreibt die anschließenden Arbeiten zur Gefahreinschätzung, Gefahreneindämmung und Beweissicherung in der Sicherstellungsphase, die üblicherweise gemeinsam von Tatortermittlern und Kriminaltechnikern ausgeführt werden. Abbau und Abtransport von Laboreinrichtungen/Chemikalien/Beweismitteln erfolgen teils durch Polizeikräfte, teils durch die Feuerwehr. Zur Einschätzung der Lage soll mittels mobiler Vor-Ort-Messtechnik am Tatort festgestellt werden, ob und wenn ja, welche BtM oder Vorläuferstoffe/Explosivstoffe produziert werden. Weiter soll geklärt werden, welche Chemikalien vorgefunden werden und ob von diesen eine unmittelbare Gefahr für die Einsatzkräfte sowie die Bevölkerung vor Ort ausgeht und, in Abhängigkeit der Ergebnisse, ob weitere Sicherungsmaßnahmen wie beispielsweise Evakuierung oder Hinzuziehen von weiteren Spezialkräften veranlasst werden müssen.

Im folgenden Fallbeispiel wird ein vereinfachtes Sicherstellungsszenario beschrieben, das davon ausgeht, dass sich im Labor keine Personen befinden. Der Realfall sieht häufig anders aus – es wird ja gerade versucht, die Täter in flagranti zu stellen, idealerweise jedoch beim Verlassen des Labors nach erfolgter BtM-Herstellung.

### Fallbeispiel: Kurierfahrzeug [63]

Ein Kurierfahrzeug wird mit einer sehr großen Menge Rauschgift (RG) bei einer Polizeikontrolle festgehalten. Es stellt sich bei ersten kriminaltechnischen Untersuchungen heraus, dass es sich bei dem Rauschgift um in 1-Kilogramm-Pakete abgepackte Amfetaminpaste (Amfetaminsulfat, mit Koffein gestreckt und hohem Feuchtigkeitsanteil) mit durchschnittlichem Wirkstoffgehalt handelt. Im Zuge von polizeilichen Verhören gibt einer der Beschuldigten, der Fahrer des Kurierfahrzeugs, einen Hinweis auf die Produktionsstätte, in der das Rauschgift hergestellt worden sein soll. Er kann keine Details benennen, insbesondere nicht, ob die komplette Rauschgiftsynthese dort stattfindet oder nur der letzte Schritt der Kristallisation. Er kennt lediglich die Adresse, eine heruntergekommene Kfz-Werkstatt in einem Gewerbegebiet, die einem seiner ebenfalls festgenommenen Mitfahrer in dem Kurierfahrzeug gehört. Nachdem eine einwöchige Observation der Kfz-Werkstatt keinerlei Aktivitäten in dem Objekt und der unmittelbaren Umgebung ergeben hat und der Besitzer keinerlei Aussage zu dem Objekt oder darin eventuell stattgefundenen RG-Produktionsprozesse machen wollte, ordnet der Staatsanwalt mit richterlichem Beschluss die Sicherstellung und Durchsuchung des Objekts

an. Aufgrund der Observationsphase wird nicht davon ausgegangen, dass sich Personen im Objekt befinden oder aktive Produktionsvorgänge ablaufen. Insofern liegt der Fokus des polizeilichen Handelns nach der Sicherstellung des Objekts auf der Sicherung und Asservierung von Beweismitteln und Spuren durch die Tatortgruppe und auf kriminaltechnischen Vor-Ort-Untersuchungen zum Auffinden und Einschätzen von Gefahrenquellen (Sind in dem Labor auch Sprengstoffe hergestellt worden? Sind gefährliche, ggf. unvorschriftsmäßig gelagerte Chemikalien vorhanden, z. B. Metallhydride? Werden aus Gebinden oder Apparaturen giftige oder brennbare Dämpfe oder explosive Gasmischungen freigesetzt?) und zur BtM-rechtlichen Relevanz (Grundstoffe/BtM/BtM-haltige Abfälle) von aufgefundenen Stoffen. Dies schließt auch den Einsatz von Gasspürgeräten beim Betreten des Objekts ein (Ex/Ox-Detektoren), um eine Explosionsgefahr durch Freisetzung von Gasen/Dämpfen aus Behältnissen/Apparaturen festzustellen. Hieraus ergeben sich Grundlagen für Entscheidungen, welche Asservate sofort durch die Polizei entfernt werden müssen (Gefahr im Verzug), zu welchem Zeitpunkt die Feuerwehr hinzugezogen werden muss und ob weitere Maßnahmen erforderlich sind (z. B. bei Anwohnergefährdung).

## **Detailspekte**

Im Zuge der Sicherstellungsmaßnahmen ist es erforderlich, verfahrensrelevante Beweismittel auszuwählen und für die kriminaltechnische Untersuchung zu asservieren. Hierbei bedarf es der sicheren Identifizierung im Bereich von Haupt- und Nebenkomponten von Substanzen im Milligramm- bis Kilogramm-Bereich, aber auch der Sicherung von Spuren. In diesem Zusammenhang werden z. B. BtM-Spuredetektionstechniken eingesetzt, um zu beweisen, dass Laborgerätschaften tatsächlich nachweislich zur RG-Herstellung verwendet worden sind. Im Regelfall werden hierzu Wischproben von Oberflächen genommen oder Lösemittelextrakte von Innenoberflächen hergestellt und diese später im kriminaltechnischen Labor untersucht. Dies ermöglicht Wiederholungs- und Bestätigungsanalysen, bei der Spurenanalytik vor Ort kann eine Spur vernichtet werden. Im Einzelfall können aber auch vor Ort Oberflächenspurenuntersuchungen, z. B. mittels IMS durchgeführt werden (z. B. als Entscheidungsgrundlage für die Mitnahme von Gerätschaften für weitergehende Laboruntersuchungen oder zur Feststellung großflächiger Kontaminationen von Arbeitsflächen, Wänden oder Böden).

Das größte Risiko für Freisetzungen von Gefahrstoffen besteht unmittelbar nach dem Zugriff, wenn sich in dem Labor noch laufende Synthesapparaturen befinden und nach Abschluss der Sicherstellungs- und Asservierungsmaßnahmen, wenn die im Labor gelagerten, häufig in ungeeigneten oder beschädigten Behältnissen befindlichen Chemikalien und Laborabfälle abtransportiert werden müssen.

Beweiserhebliche Asservate und Teilproben von Gefahrstoffen werden von den Polizeikräften zur kriminaltechnischen Untersuchung überführt, für den Abtransport der Großmengen von Gefahrstoffen ist i. d. R. die Feuerwehr zuständig.

### Empfohlene Messtechnik

Abhängig von den Informationen zu den aufgefundenen Substanzen, z. B. ob die Substanzen bekannt sind oder nicht, sind folgende Messverfahren geeignet:

- Detektion:** Gaschromatographie, gekoppelt mit einem Massenspektrometer (GC-MS), Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) für die Spurenanalytik an Oberflächen (z. B. kontaminierte Arbeitsflächen, Laborgerätschaften); Prüfröhrchen, Photoionisationsdetektor (PID), Elektrochemische Zellen (ECZ), Ex-Meter, Thermosensoren/Thermographiekamara zur Feststellung von Gefahrenquellen beim Erstbetreten des Labors; Farbstests, Teststäbchen und pH-Meter zur Schnelluntersuchung/Gefährdungsabschätzung von Chemikalien, Lösungsmitteln, Rauschgiften, Explosivstoffen u. Ä.
- Identifikation:** Zur Identifikation asservierter Materialproben bei der Tatortarbeit in illegalen Laboren kommen IR, Raman und GC-MS in Frage. Mittels Infrarot (IR)- und Raman-Spektroskopie können flüssige und feste Proben problemlos direkt gemessen werden; mittels GC-MS können flüssige und feste Proben nur unter Verwendung spezieller Direkteinlass-Systeme (z. B. PSI-Probe) analysiert werden. Für die Spurenanalyse steht alleine die Massenspektrometrie zur Verfügung. Hier stehen jedoch verschiedene Methoden der Probengewinnung (z. B. SPME-Faser oder andere adsorptive Oberflächen, Saug- sowie Wischproben) und spezielle GC-MS-Einlasssysteme oder direktmassenspektrometrische Techniken („ambient MS“) wie DART- oder DESI-MS im Vordergrund.
- Quantifizierung:** Quantitative Analyseverfahren werden bei der Tatortarbeit üblicherweise nicht eingesetzt, dies geschieht nach der repräsentativen Probenahme sichergestellter Asservate im kriminaltechnischen Labor. Allerdings

werden bei der Tatortarbeit mittels portabler Waagen zumindest die Bruttogewichte von BtM, Grundstoffen, Prozesschemikalien und Laborabfällen bestimmt, oder, falls nicht möglich, die Flüssigkeitsvolumina geschätzt und Gebindeabmessungen dokumentiert (vor allem bei Asservaten, die nicht vollständig zur Laboruntersuchung abtransportiert werden).

Häufig werden colorimetrische Schnelltests als zeitsparende Messtechnik für unterschiedliche polizeiinteressante Stoffe (BtM, Explosivstoffe) genutzt. Die Abhängigkeiten vom Aggregatzustand und der chemischen Klassifizierung der Probe sind in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengefasst.

**Tabelle 5:** Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Sicherstellung illegales Labor“

Messtechnik	Colorimetrische Tests
Messgeschwindigkeit	Minuten
Feststoff, rein	+ + -
Feststoffmischung	- - -
Flüssigkeiten, rein	+ + -
Fl.-Mischung	+ + -
Wässr. Lösung	- - -
Gas, rein, org.	- - -
Gas, rein, anorg.	- - -
Gasmischungen	- - -

**Legende:**

Grün hinterlegt: Detektion; gelb hinterlegt: Identifikation; rot hinterlegt: Quantifizierung  
 -: ungeeignet; 0: bedingt geeignet; +: geeignet; ++: empfohlen

**Personalanforderungen**

Bei der detektierenden Messtechnik sowie spektroskopischen Methoden (IR und Raman) ist eine Bedienung durch eingewiesenes Personal möglich, da die Tests und mobilen Messgeräte durch die Hersteller auf diese Zielgruppe hin entwickelt werden. Für den eingewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen

und Weitermelden oder auf das Ablesen eines Farbumschlags bzw. auf Probenahmen beschränken.

Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen solcher Messgeräte Fachkenntnisse notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und zu Schäden an den Geräten führen.

Die Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse aus Spektroskopie und GC-MS setzt zwingend eine Fachausbildung (Studium) und naturwissenschaftliche Grundlagen voraus. Sowohl die Spektren von Infrarot- und Raman-Spektrometern müssen kritisch interpretiert werden, wie auch die Massenspektren aus GC-MS-Systemen. Darüber hinaus muss bei den Chromatogrammen noch auf eine korrekte Peakidentifizierung geachtet werden. Insbesondere Spurenidentifizierung ist artefaktanfällig (Matrixeffekte u. a.), was eine fachkundige Ergebnisbewertung erfordert.

Die Gefährdungseinschätzung (durch Chemikalien, Prozessgase, Explosivstoffe ...) und das Abstellen von Gefahrenquellen („Herunterfahren“ laufender Synthesapparaturen) erfordern naturwissenschaftlich-technische Spezialkenntnisse und müssen von Kriminaltechnikern (Tatortingenieure, kriminaltechnische Sachverständige) vorgenommen werden, ggf. gemeinsam mit Spezialisten der Feuerwehr.

## Zugangskontrollen

Szenariotyp:	Personen- und Warenkontrolle
Zielgruppen:	Kriminalpolizei, Bundespolizei, Zoll
Relevante Stoffe:	Explosivstoffe, Gefahrstoffe, Giftstoffe, Drogen, Vorläufersubstanzen zur Herstellung von gefährlichen Stoffen
Rechtliche Grundlagen:	z. B. SprengG, SprengV, GefStoffV, BtMG
Fragestellung:	Untersuchung von Personen und Waren hinsichtlich mitgeführter Substanzen auf Explosivstoffe, Betäubungsmittel, Gifte. Die erhaltenen Informationen dienen der Gefährdungsabschätzung, dem Gewinnen eines Anfangsverdachts bezüglich des Begehens einer Straftat. Sie dienen als Entscheidungshilfe für den Polizeiführer zur Lagebeurteilung.

## Generische Beschreibung

Im Rahmen von Sicherheitsmaßnahmen zum Schutz von hoch gefährdeten Personen werden z. B. bei Staatsbesuchen Sicherheitsbereiche definiert, die nur von kontrollierten/m Personen/Personal durchschritten werden dürfen. Auch bei Großveranstaltungen ist ein kontrollierter Zugang zum Veranstaltungsort mit Personenüberwachungsmaßnahmen erforderlich. Ähnlich den Sicherheitskontrollen an Flughäfen finden an den hierfür eingerichteten Kontrollstellen Überprüfungen von Personen und Waren auf verdächtige Gegenstände und Substanzen statt, deren Einstufung hinsichtlich des Gefährdungspotenzials im Bezug zur schützenden Person oder zum Ereignis steht.

### Fallbeispiel: Zugangskontrollen Hotel [63]

Staatsbesuch des israelischen Staatspräsidenten in Berlin. Der zu schützende Staatsgast besucht für mehrere Tage die Hauptstadt und führt politische Gespräche mit dem Bundespräsidenten, der Bundeskanzlerin und Vertretern der jüdischen Gemeinden in Deutschland.

Der Staatsgast ist in einem großen Berliner Hotel untergebracht, welches auch viele Gäste beherbergt, die nicht am Staatsbesuch beteiligt sind. Für die Dauer des Staatsbesuches werden die Zugänge und Zufahrten zu dem Hotel für die Öffentlichkeit gesperrt sowie ein Sicherheitsstreifen von mehreren hundert Metern um das Hotel mit kontrollierten Durchlässen eingerichtet, um einen geregelten Zugang von berechtigten Personen zur gewährleisten. An den Durchlässen bilden sich lange Schlangen von Anwohnern, Hotelgästen und anderen Personen, die überprüft werden müssen.

Bei den Personenüberprüfungen werden u. a. mitgeführte Flüssigkeiten und Substanzen festgestellt. Unter anderem werden bei vielen Personen diverse Trinkflaschen mit wässrigem Inhalt und Kosmetikflaschen mit organischen Flüssigkeiten aufgefunden. Weiterhin sind Dosen und Tüten mit pulverförmigen Substanzen in mitgeführten Taschen und Rucksäcken festgestellt worden. Zusätzlich werden Wischproben von Kleidungsstücken und Gegenständen zur Überprüfung auf anhaftende Spuren von Explosivstoffen, Betäubungsmitteln und sonstigen Gefahrstoffen genommen.



## Detailspekte

### Ausgangssituation

Eine unbekannte Substanz wird in einem Raum oder unter freiem Himmel bewusst ausgebracht.

In erster Linie sind dabei Explosivstoffe, Gifte und Betäubungsmittel im Fokus. Aber auch Gefahrstoffe wie starke Säuren oder toxische Industriechemikalien sollen miterfasst werden. Es ist hierbei mit einer hohen Zahl an Einzeluntersuchungen sowie einer großen Zahl von Personen, welche die Kontrollstelle passieren müssen, zu rechnen. Dabei kommt es an den Kontrollstellen zur Bildung von langen Warteschlangen, was dazu führt, dass das Kontrollpersonal unter Zeitdruck gesetzt wird und damit zusätzlich zur Richtigkeit der eingesetzten analytischen Verfahren auch entsprechende Anforderungen an die Geschwindigkeit der Kontrollmaßnahme gestellt werden.

Die Inhaltsstoffe der aufgefundenen festen und flüssigen Stoffe müssen mit geeigneter mobiler Detektionstechnik sicher und schnell identifiziert werden. Dabei ist es notwendig, sowohl Spuren von indizierten Substanzen im Falle der Wischproben als auch sichtbare Kleinmengen von Substanzen bis zu Gebinden im Gramm- bis Kilogrammereich untersuchen zu können.

### Empfohlene Messtechnik

In der Regel kann mit einer einzigen chemisch-analytischen Methode nicht auf alle zu erwartenden Substanzen geprüft werden. Weiterhin ist der Zeitbedarf für die eingesetzte Technik zu beachten. Hier ist eine hohe Zahl von Einzelmessungen in kurzer Zeit von entscheidender Bedeutung.

Abhängig von den Eigenschaften und dem Konzentrationsbereich der zu erwartenden Substanzen sind folgende Messverfahren geeignet:

Detektion:	Ionenmobilitätsspektrometer (IMS) (Spuren), Flammenphotometrischer Detektor (FPD) (Spuren), Schnelltest-Kits (Farbreaktionstest) (sichtbare Mengen), Teststäbchen (pH ...), Prüfröhrchen;
Identifikation:	IR (sichtbare Mengen), Raman (sichtbare Mengen) und Gaschromatographie, gekoppelt mit einem

## Massenspektrometer (GC-MS) (Spuren und sichtbare Mengen)

Quantifizierung: Abhängig von der messtechnischen Ausstattung, dem Probencharakter und der Aufgabenstellung kann gegebenenfalls eine Quantifizierung erfolgen, dies ist aufgrund des hohen Zeitdrucks eher unüblich

Eine häufig genutzte zeitsparende Messtechnik für unterschiedliche polizeiinteressante Stoffe (BTM, Explosivstoffe) wird, in Abhängigkeit des Aggregatzustandes und der chemischen Klassifizierung der Probe, in der nachfolgenden Tabelle 6 zusammengefasst.

**Tabelle 6:** Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Zugangskontrollen“

Messtechnik	Colorimetrische Tests
Messgeschwindigkeit	Minuten
Feststoff, rein	0 0 0
Feststoffmischung	0 0 -
Flüssigkeiten, rein	0 0 -
Fl.-Mischung	0 0 -
Wässr. Lösung	0 0 -
Gas, rein, org.	0 0 -
Gas, rein, anorg.	0 0 -
Gasmischungen	0 0 -

### Legende:

Grün hinterlegt: Detektion; gelb hinterlegt: Identifikation; rot hinterlegt: Quantifizierung  
 -: ungeeignet; 0: bedingt geeignet; +: geeignet; ++: empfohlen

## Personalanforderung

Bei der detektierenden Messtechnik sowie spektroskopischen Methoden (IR und Raman) ist eine Bedienung durch eingewiesenes Personal möglich, da die Tests und mobilen Messgeräte durch die Hersteller auf diese Zielgruppe hin entwickelt werden. Für den eingewiesenen Benutzer kann sich das Auswerten auf das Ablesen

und Weitermelden bzw. auf das Ablesen eines Farbumschlags bzw. von Substanznamen beschränken.

Die Verwendung von GC-MS-Systemen ist durch eingewiesenes Personal nur bedingt möglich. Vielfach sind zum korrekten Bedienen und Auswerten der Ergebnisse solcher Messgeräte Fachkenntnisse notwendig. Durch eine Fehlbedienung können die Ergebnisse sehr ungenau werden und zu Schäden an den Geräten führen.



# Evaluation von Messtechnik

4



Auf der Basis von einheitlichen Szenarien und Evaluationsschemata können die Endanwender zielgerichtet passende Messgeräte für einen Einsatz oder eine Beschaffung auswählen. Letztendlich soll somit der Schutz der Einsatzkräfte und der Bevölkerung verbessert werden. Bisher sind Endanwender bei der Auswahl und beim Einsatz von tragbarer Messtechnik auf ihre Erfahrungen in vergleichbaren Einsätzen angewiesen und auch auf Ratschläge und Hinweise von anderen Stellen. Der Einsatz von Messtechnik kann also bei gleichartigen Ereignissen an verschiedenen Orten unterschiedlich ausfallen.

In diesem Kapitel werden, nach Messprinzipien getrennt, die Einsatzmöglichkeiten, einzelne Messgeräte sowie deren Handhabung vorgestellt. Eine Bewertung der Messgeräte findet hierbei jedoch nicht statt.

Die dargestellten Informationen stammen aus den ausführlichen Evaluationsbögen, die während des Projektes für einzelne Geräte erstellt wurden. Diese Dokumente können im Anhang 2 eingesehen werden. Bei der Evaluation wurden acht Hauptpunkte berücksichtigt:

1. **Allgemeine Geräteinformationen**  
Hier werden eindeutige Informationen zur Beschreibung sowie Anwendungsmöglichkeiten des individuellen Gerätes vermerkt. Existieren mehrere aktuelle Ausführungen des Gerätes, so werden diese ebenfalls aufgeführt.
2. **Finanzielle Aspekte**  
Dieser Punkt ermöglicht einen Gesamtüberblick der ungefähren Kosten, die von der Beschaffung über die Nutzung bis hin zur Entsorgung zu erwarten sind. Es sollte beachtet werden, dass es sich bei den angegebenen Preisen um Richtwerte handelt und keinesfalls um verbindliche Angaben.
3. **Technisch-taktische Parameter**  
Es erfolgt die Betrachtung der wichtigsten Punkte für die Einsatzmöglichkeit im mobilen Einsatz.

4. **Robustheit**  
Die Darstellung der Gesichtspunkte, die eine besondere Rolle beim Einsatz unter rauen und widrigen Bedingungen spielen.
5. **Handhabung**  
Hier erfolgte die Auflistung der Eigenschaften unterschiedlicher Softwarepakete unter der Prämisse der einfachen Bedienung auch für den ungeübten Nutzer. Auch besondere Fähigkeiten (z. Bsp. Nachtsichtfähigkeit) des jeweiligen Gerätes wurden hier vermerkt.
6. **Messtechnische Leistungsfähigkeit**  
Die Darstellung der Probenvoraussetzungen und Grenzen sowie Möglichkeiten der Einsatzfähigkeiten.
7. **Datenmanagement**  
Hier wurden Generierung, Darstellung und Sicherung der Messwerte erfasst.
8. **Qualifizierung von Einsatzkräften**  
Darstellung nötiger Vorkenntnisse, die zur Handhabung des Gerätes nötig sind, und des zu planenden Ausbildungsaufwands, um einen reinen Bediener zum Erzeugen valider Messwerte zu befähigen.

Im Abschnitt Handhabung fließen neben Daten der Evaluationsbögen auch Erkenntnisse aus der Messkampagne am IBK zum Handling von Messtechnik unter Schutzkleidung mit ein. Nach einem Kriterienkatalog wurde die Handhabung einer Reihe handgetragener Detektionsgeräte unter chemischer Schutzausrüstung (gasdichter CSA, Typ 1a, Maske unter Haube und Chemikalienschutzhandschuhe) getestet. Zu den Testkriterien gehörten unter anderem Gewicht/Handlichkeit, Display- und Tastatureigenschaften, Wahrnehmbarkeit des Detektionsergebnisses, Probenaufgabe/Reinigung, Menüführung sowie allgemeines Handling. Um den subjektiven Faktor zu minimieren, erfolgte dieser Teil der Evaluation in Form einer Doppelbestimmung. Dabei wurde der Bedientest durch zwei Gruppen mit jeweils sechs Teilnehmern durchgeführt. Die anschließende Bewertung konnte durch ein vorher festgelegtes Punktesystem realisiert werden. Im Anhang 3 werden die getesteten Messgeräte und deren Bewertungen dargestellt.

In diesem Kapitel werden zunächst für die verschiedenen Messverfahren die jeweiligen Einsatzmöglichkeiten beschrieben. Es werden anschließend jeweils geräteübergreifend eine allgemeine Beschreibung der Messgeräte sowie die wesentlichen Hinweise zur Handhabung gegeben.

### **4.1.1 Colorimetrie**

#### **Einsatzmöglichkeiten**

Im Rahmen vieler polizeilicher Tätigkeiten (z. B. Gefahrenabwehr, Tatortarbeit, Durchsuchungen, Entschärfungen etc.) ist es wichtig, Spuren von Explosivstoffen direkt vor Ort detektieren zu können. Zu diesem Zweck können portable Analysegeräte oder auch chemische Schnelltests herangezogen werden. Diese Methoden können eine Materialanalyse in einem kriminaltechnischen Labor zwar nicht ersetzen, in Anbetracht des entstehenden zeitlichen Vorteils aber sinnvoll ergänzen. Es handelt sich hier um chemische Schnelltests zum Nachweis von Explosivstoffen oder Vorsubstanzen/Precursor. Die Explosivstoffe/Vorsubstanzen werden durch eine chemische Farbreaktion nachgewiesen (vgl. Kapitel 2.2.2 Colorimetrische Schnelltests).

Gegenstand der Untersuchungen für SEMFreS waren die Tests IDenta der Firma IDenta Corporation sowie ExPen und Expray der Firma Mistral. Daneben werden auch Colorimeter erwähnt, bei welchen die Auswertung der Farbumschläge elektronisch erfolgt. Hierbei handelt es sich um den SEEKERe der Firma Analyticon.

Folgende Punkte werden für oben genannte Geräte zusammengefasst: a) Allgemeine Informationen, b) Lagerung, c) Anwendungsspektrum, d) Handhabung und e) Haltbarkeit nach Anbruch.

#### **a) Allgemeine Informationen**

Allen drei Tests liegt eine leicht verständliche, deutschsprachige Bedienungsanleitung bei. Beim SEEKERe besteht die Möglichkeit, die Anleitung per Videos am Gerät selbst zu erhalten. Von den Firmen werden Koffer bzw. Boxen für den



Transport der Testkomponenten angeboten. Die Kosten für einen Einzeltest liegen bei allen drei Tests zwischen 3 und 5 Euro. Eine Swipe Card (Beprobungskarte) für den SEEKERe liegt mit Abnahme von 600 Stück bei 2,10 Euro (zusätzlich zum einmaligen Nettoanschaffungspreis des Gerätes von ca. 19.000 Euro). Die Beprobungskarten des SEEKERes, wie auch die des IDenta Schnelltests können über den Haushaltsmüll entsorgt werden.

## **b) Lagerung**

### *IDenta und ExPen:*

Vom Hersteller wird eine Lagertemperatur zwischen  $-20\text{ °C}$  und  $+50\text{ °C}$  angegeben. Um die Temperaturstabilität der Testsätze zu überprüfen, wurden diese jeweils für 24 h bei  $-15\text{ °C}$  und bei  $+50\text{ °C}$  gelagert. Bei anschließender Beprobung konnte kein negativer Einfluss auf die Nachweisfähigkeit der beiden Tests festgestellt werden.

Auf Grundlage der Messbedingungen ist höchstens eine kurzzeitige Lagerung im Auto empfehlenswert, bei längeren Lagerzeiten sollten die Schnelltests in normal temperierten Räumlichkeiten aufbewahrt werden.

### *Expray:*

Vom Hersteller wird keine Lagertemperatur angegeben. Da es sich um Sprühdosen handelt, sollte von Lagerungen über  $30\text{ °C}$  abgesehen werden. Der Temperaturtest wurde nur bei  $-15\text{ °C}$  für 24 h durchgeführt. Bei anschließenden Beprobungen konnte kein negativer Temperatureinfluss auf die Nachweisfähigkeit festgestellt werden.

Die Lagerung im Auto ist höchstens kurzzeitig empfehlenswert, bei längeren Lagerzeiten sollten die Schnelltests in normal temperierten Räumlichkeiten aufbewahrt werden.

### *SEEKERe:*

Vom Hersteller werden keine Angaben diesbezüglich gemacht. Eine Lagerung der Beprobungskarten sollte daher ausschließlich bei Raumtemperatur erfolgen.

### c) Anwendungsspektrum

*IDenta:*

Es sind sieben Einzeltests erhältlich (siehe Abbildung 21):

1. IDT0010T General Screening Kit: Basistest für Nitroaromaten, Nitramine, Salpetersäureester und Nitrate
2. IDT0020T Harnstoffnitrat (Ureanitrat)
3. IDT0030T Ammoniumnitrat
4. IDT0035 New Ammoniumnitrat
5. IDT0040T TATP
6. IDT0050T Chlorate/Bromate
7. IDT0060T Perchlorate

Das General Screening Kit besteht aus einer Testkarte mit drei einzeln gekapselten Ampullen, die nacheinander zerdrückt werden, bis ein positiver Nachweis erfolgt. Bei Test 2 handelt es sich ausschließlich um einen Harnstoffnitratnachweis. Test 3 weist nur Ammonium nach, während mit Test 4 sowohl Nitrat als auch Ammonium nachgewiesen werden können. Der TATP-Test 5 kann für Peroxid-basierte Explosivstoffe eingesetzt werden. Durch Test 6 können durch Zerdrücken der ersten und zweiten Kapsel Chlorate und Bromate nachgewiesen werden. Die dritte Kapsel dient der Neutralisation des Gemisches zur gefahrlosen Entsorgung.



**Abbildung 21:** Testsatz IDenta

Quelle: BKA

*ExPen:*

Die Produktlinie (Produktset) ExPen besteht aus acht Teststiften (siehe Abbildung 22) für die einzelnen Sprengstoffanalysen, einer Beschreibung und Wischpapier für die Probenahme.

ExPen 1 Nitroaromatische Explosivstoffe

ExPen 2 Nitramine bzw. Salpetersäureester

ExPen 3 Anorganische Nitrate

ExPen 1 bis 3 gehören zusammen und müssen nacheinander angewendet werden, bis ein positiver Nachweis erfolgt.

ExPen AN Ammoniumverbindungen

ExPen P Perchlorate

ExPen U Harnstoffnitrat (Ureanitrat)

ExPen A Chlorate

ExPen B+ Peroxide

ExPen A und B+ gehören zusammen und müssen nacheinander angewendet werden.

Mit den einzelnen Teststiften ist es möglich, eine große Bandbreite von Explosivstoffen nachzuweisen.



**Abbildung 22:** Testset ExPen

Quelle: BKA

*Expray:*

Der Test besteht aus drei verschiedenen Reagenzien in Spraydosen (siehe Abbildung 23):

1. Spray (E): Nitroaromatische Explosivstoffe
2. Spray (X): Nitramine bzw. Salpetersäureester
3. Spray (I): Nitrate

Die Sprays 1 bis 3 gehören zusammen und müssen nacheinander angewendet werden.

Wie bei den anderen Tests ist es für die chemische Reaktion zwingend notwendig, die richtige Reihenfolge einzuhalten.

Der Testsatz beinhaltet keinen Nachweis für Ammoniumionen, Harnstoffnitrat (Ureanitrat), Chlorat-, Perchlorat- und Peroxid-basierte Explosivstoffe.



**Abbildung 23:** Testsatz Expray

Quelle: BKA

*SEEKERe:*

Erhältlich sind Testkarten für folgende Explosivstoffgruppen:

1. General Explosives (Beprobungskarte siehe Abbildung 25: Nitroaromaten (G1), Nitramine und Salpetersäureester (G2), Anorganische Nitrate (G3), Chlorate (G4) sowie Peroxide (G5))

Bei der Detektion kann der SEEKERe jedoch nicht zwischen den Gruppen G2 und G3 sowie zwischen G4 und G5 unterscheiden.

2. Test für Perchlorat-haltige Explosivstoffe
3. Kombinationskarten von Nitrit/Nitrat sowie
4. Kombinationskarten von Harnstoff/Ammonium
5. Die Beprobungskarte für „Home Made Explosives“ deckt die Gruppen Anorganische Nitrate, Chlorate und Peroxide ab



**Abbildung 24:** SEEKERe  
Quelle: WIS



**Abbildung 25:** Beprobungskarte SEEKERe

Quelle: BKA

#### d) Handhabung:

##### *IDenta:*

Die Chemikalien sind gekapselt und müssen für die Anwendung zerdrückt werden (sehr festes Drücken!), sodass keine Verunreinigung der Umgebung entstehen kann. Der integrierte Probenehmer ist robust und lässt sich auf unterschiedlichen Oberflächen gut beproben.

##### *ExPen:*

Die Chemikalien sind gekapselt und müssen vor der Anwendung zerdrückt und anschließend gut vermischt werden. Danach wird die Lösung auf den Probenehmer getropft. Wenn sich der Tropfen nicht vollständig von der Spitze löst, kann es zu einer Verunreinigung des Teststiftes kommen. Der Probenehmer ist mit einer Klebstoffschicht versehen. Dies kann bei Beprobungen von glatten Oberflächen zu Rückständen des Klebstoffs führen und eine erfolgreiche Probenahme verhindern.

##### *Expray:*

Die Chemikalien müssen auf den Probenehmer aufgesprüht werden, wodurch sowohl die Spraydose als auch die Umgebung verunreinigt werden. Zudem entsteht ein sehr unangenehmer Geruch. Auch hier ist der Probenehmer mit einer Klebstoffschicht versehen (selbe Problematik wie beim ExPen).

*SEEKERe:*

Nach dem Scannen des Barcodes sollte die beprobte Karte sofort in das Gerät eingeführt werden (andernfalls wird die Messung abgebrochen und die Karte muss verworfen werden). Das Gerät überprüft den Verschmutzungsgrad der Probenkarte, anschließend können die Kapseln durch kräftiges Drücken einer Klappe an der Geräterückseite zerdrückt werden. Auf dem Display erscheinen weitere Instruktionen, die beachtet werden müssen. Das Ergebnis erscheint als Gruppenzuordnung mit Ergebnisgüte, weiterführende Informationen zur Explosivstoffgruppe können im Gerät abgefragt werden. Alle Testergebnisse werden automatisch im Gerät gespeichert, zusammen mit dem Barcode der Wischkarte, Datum, Uhrzeit und den präzisen GPS-Daten. Sie können somit sicher der jeweiligen Wischkarte sowie dem entsprechenden Einsatz zugeordnet werden. Der Probennehmer ist robust und lässt sich auf unterschiedlichen Oberflächen gut beproben.

Zur Reinigung des Gerätes können mitgelieferte Ethanol-haltige Tücher genutzt werden.

**e) Haltbarkeit nach Anbruch***IDenta und SEEKERe:*

Einzeltest, Punkt entfällt.

*ExPen:*

Je Teststift können zwei bis drei Beprobungen durchgeführt werden. Nach dem Zerschlagen der Kapsel sollte der Test innerhalb von 2 h verbraucht werden.

*Expray:*

Der Hersteller gibt eine Haltbarkeit zwischen 1 und 2 Jahren an. Zudem enthält das Set ein Testpapier, mit welchem die Wirksamkeit der angebrochenen Dosen überprüft werden kann. Dennoch sollte eine Verklebung der Spraydüse nach längerer Anbruchzeit beachtet werden.



## 4.1.2 Photoionisation

### Einsatzmöglichkeiten

Photoionisationsdetektoren kommen immer dann zum Einsatz, wenn entweder die relative Konzentration oder Konzentrationsschwankungen von Schadstoffen in der Luft bestimmt oder die genaue Konzentration einer bekannten, reinen Substanz ermittelt werden soll (vgl. Messprinzip 2.3.7). Da die Messwertaufnahme sekundlich erfolgt, sind die Geräte bestens für einen Einsatz im direkten Umfeld der Freisetzungsstelle geeignet.

### Kurzzusammenfassung Evaluation

Die Evaluation erfolgte deshalb insbesondere unter Berücksichtigung der Geräteenutzung durch Einsatzkräfte in Schutzkleidung, der Beschaffungskosten und des Aufwands für Gerätepflege und -unterhalt.

Im Projekt standen das MiniRAE 300 (Fa. RAE Systems) und der TIGER (Fa. Ion-Science) zur Verfügung. Bei beiden handelt es sich um reine PID-Geräte ohne weitere Sensoren. Dadurch unterscheiden sie sich von den Mehrgasmessgeräten, die neben dem PID typischerweise noch weitere Sensoren enthalten. Der Vorteil reiner PID-Geräte ist oft die bessere Bedienbarkeit aufgrund einer größeren Bauform, die Verwendung von Listen mit Responsefaktoren (oft mehrere hundert Einträge) sowie die vorhandenen Datenlogger. In Mehrgasmessgeräten wird das Messsignal des PID in der Regel nur als VOC („volatile organic compounds“ – flüchtige organische Bestandteile) angezeigt.

Die beiden Evaluierten Messgeräte kosten mit Grundausstattung (Akku, Kalibriergas, Verbrauchs- und Reinigungsmaterial) etwa um 4.500 Euro. Zubehör- und Verbrauchsteile können separat durch den Nutzer bestellt werden. Je nach Anwendungsfall können zusätzlich zur weitverbreiteten Lampe mit 10,6 eV Energie für beide Geräte auch UV-Lampen mit 9,8 eV oder 11,7 eV Energie benutzt werden. Erfahrungsgemäß haben die 10,6 eV-Lampen eine Lebensdauer von mehreren Jahren, die Prüfgasflaschen für die Kalibrierung halten je nach Füllmenge ein bis zwei Jahre (monatliche Überprüfung der Kalibrierung).

Die Geräte wiegen jeweils unter einem Kilogramm und sind mit einer Hand tragbar. Die Laufzeiten sind jeweils vom verwendeten Typ der Batterien bzw. Kapazität der Akkus abhängig, betragen aber mindestens acht Stunden. Ein Wechsel der Stromversorgung ist problemlos an der Einsatzstelle möglich, sodass die Laufzeiten entsprechend verlängert werden können. Beim TIGER muss beachtet werden, dass

auch bei ausgeschaltetem Gerät Energie im Standby verbraucht wird. Bei langer Lagerung ohne Erhaltungsladung sind Batterien oder Akkus nach einigen Wochen entladen, dem kann durch Entnehmen der Batterieschale vorgebeugt werden. Das Starten der Geräte dauert beim TIGER ca. 40 Sekunden und beim MiniRAE ca. 20 Sekunden, bei Temperaturen von 10 bis 25 °C und relativen Luftfeuchtigkeiten von 40 bis 60 %.

Beide Geräte haben im Messbetrieb eine Schutzklasse von IP65 und sind gut zu reinigen. Materialien und mechanische Festigkeitswerte genügen durchweg den Anforderungen an einen Einsatz durch BOS.

## Handhabung

Eine Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist bei allen Geräten gegeben, optische und akustische Warnsignale sind gut wahrnehmbar.

Das MiniRAE liegt aufgrund seiner geraden, quaderartigen Form weniger gut in der Hand, gleichzeitig ist ein Auslösen der Tasten mit Schutzhandschuhen schwierig (hoher Druckpunkt). Die Schriftgröße sowie das Erreichen der Betriebsbereitschaft können sehr positiv bewertet werden. Das MiniRAE verfügt über ein Menüsystem mit Klartexten, die Menüsteuerung erfolgt teilweise mit Tastenkombinationen, die bei den jeweiligen Tasten nicht ersichtlich sind, zudem kann der Tastencursor nur in eine Richtung bewegt werden.

Der TIGER liegt aufgrund seiner ergonomischen Form sehr gut in der Hand. Die Navigation durch die insgesamt sechs Bedienknöpfe mit gutem Druckpunkt ist komfortabel und in beide Richtungen steuerbar. Bei der Menüführung verwendet der TIGER ausschließlich Piktogramme, was für ungeübte Benutzer zu Schwierigkeiten bei der Deutung der Symbole führt.

Eine ausführliche Darstellung und Bewertung einzelner Parameter findet sich in den Evaluationsbögen der jeweiligen Messgeräte.

### 4.1.3 Ionenmobilitätsspektrometrie (Gase und Dämpfe)

#### Einsatzmöglichkeiten

Die IMS-Technologie hat ihren Ursprung in den achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts. Die Geräte wurden für den militärischen Einsatz zur schnellen Detektion und Identifikation chemischer Kampfstoffe verwendet (vgl. Messprinzip 2.3.8).

Darüber hinaus ist mit der Technologie auch die Anwendung bei einer Reihe typischer Industriechemikalien möglich. Die Aufnahme dieser Substanzen in die Gerätebibliotheken ist möglich.

### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Die Evaluation erfolgte unter Berücksichtigung der anspruchsvollen Anforderungen bei Realeinsätzen (Bedienung in Schutzkleidung, Aufwand bei Gerätepflege und Wartung). Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Beurteilung der analytischen Leistungsfähigkeit, insbesondere die Querempfindlichkeiten durch Störstoffe und das Fehlverhalten (falsch positive und falsch negative Messergebnisse).

Im Projekt standen eine Reihe von Ionenmobilitätsspektrometern zur Verfügung, die in zwei unterschiedliche Gruppen eingeteilt werden können: persönliche Alarmgeräte und tragbare Detektionsgeräte. Die persönlichen Alarmgeräte weisen eine kleine Bauform auf und liegen gewichtsmäßig typischerweise um ein Kilogramm. Evaluiert wurden das  $\mu$ RAID (Fa. Bruker) und das LCD 3.3 (Fa. Smiths Detection). Ihr Einsatzzweck ist die Warnung des Trägers bei einer plötzlichen Freisetzung der Substanzen. Die größeren Detektionsgeräte werden meist zur Erkundung und Lokalisierung einer Freisetzungsquelle durch Einsatzkräfte verwendet. Evaluiert wurden das RAID-M100 (Fa. Bruker) und das LCD Nexus (Fa. Smiths Detection).

Nicht Bestandteil der Evaluierung waren die Detektionseigenschaften aufgrund unterschiedlicher Ionisierungsverfahren und verschiedener Dopanden. Letztlich wirken sich diese Parameter auf die Detektion und Identifikation bestimmter Substanzen aus, sodass ein Nutzer zunächst die im Einzelfall zu erwartenden Zielsubstanzen spezifizieren muss und anschließend ein IMS mit passender Ionisierung und vor allem Dopanden auswählen muss.

Für persönliche Warngeräte muss ein Nutzer pro Gerät etwa 10.000 Euro veranschlagen, die etwas komplexeren Detektionsgeräte kosten etwas unter 20.000 Euro. Typisches mitgeliefertes Zubehör sind Tragetaschen, Akku und Netzteil, notwendige Filter sowie passende Testsubstanzen. Bibliotheken können nutzerspezifisch von den Herstellern erstellt werden.

Die Betriebszeiten der Geräte mit Akku liegen zwischen vier und sieben Stunden, eine Ausnahme bildet hier das LCD 3.3, das etwa 30 Stunden lang im Batteriebetrieb läuft. Der Austausch von Batterien oder Akkus ist an der Einsatzstelle problemlos möglich. Das Einschalten der Geräte bei Temperaturen von 10 bis 25 °C und relativen Luftfeuchtigkeiten von 40 bis 60 % dauert überschlägig eine Minute.

Es muss jedoch beachtet werden, dass diese Zeit nur bei gut gepflegten, sauberen Geräten einzuhalten ist. Die Geräte mit radioaktiver Ionisierung neigen bei langer Lagerung ohne Betrieb (mehr als vier Wochen) zum internen Verschmutzen. Solche Geräte benötigen beim Starten deutlich länger, ein intern ablaufender Funktionstest erkennt Verschmutzungen und ungünstige Parameter und gibt das Gerät erst dann frei, wenn es einen internen Reinigungszyklus durchlaufen hat und danach wieder verlässliche Messwerte liefert. Dieser Prozess kann mehrere Minuten dauern.

Alle Geräte sind dekontaminierbar und haben Schutzklassen von entweder IP65 ( $\mu$ RAID) oder IP67 (alle anderen). Die mechanischen Anforderungen entsprechen den gängigen militärischen Standards und liegen damit über den Beanspruchungen, die in einem typischen Einsatz durch BOS zu erwarten sind.

## Handhabung

Eine Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist bei allen Geräten gegeben, optische und akustische Warnsignale sind gut wahrnehmbar.

Beim  $\mu$ RAID war die Bedienung unter Schutzkleidung durch kleine Schriftgrößen im Display sowie die plan mit dem Gehäuse abschließenden Bedienknöpfe unvorteilhaft. Als umständlich wurde ebenfalls die Prozedur zur Herstellung der Betriebsbereitschaft empfunden. Positiv muss beim  $\mu$ RAID die Helligkeit des Displays hervorgehoben werden. Die Menüführung beim  $\mu$ RAID ist englisch und aufgrund von Tastenkombinationen umständlich. Die Ergebnisanzeige ist eine achtstufige Balkenanzeige für die Konzentration und stellt NATO-Kurzzeichen (Stoffcodes) von bis zu zwei Gefahrstoffen gleichzeitig dar. Das Verhalten der Reaktantionen, negativ sowie positiv, wird auf dem Display dargestellt, allerdings bei Detektion bzw. Identifikation eines Gefahrstoffs durch dessen Substanzkürzel ersetzt.

Das LCD 3.3 wies nahezu keine Probleme in der Bedienung, weder mit noch ohne Schutzkleidung, auf. Die Menüführung des LCD 3.3 ist deutsch und anwenderfreundlich. Die Ergebnisanzeige bildet bei drei verfügbaren Detektionsmodi eine dreistufige Balkenanzeige für die Konz. und die Stoffcodes für CWA und TICs.

Das LCD-NEXUS wurde nicht mit in die Praxistests einbezogen. Es ist eine Weiterentwicklung des LCD 3.3 und gleicht diesem in Handhabung, Menüstruktur und Ergebnisanzeige.

Einschränkungen in der Bedienbarkeit des RAID-M 100 zeigten sich beim Ablesen des Displays (geringer Kontrast, Einsehbarkeit) und durch das vergleichsweise hohe Gewicht. Die Steuerung der Menüfunktionen in deutscher Sprache durch lediglich zwei Bedienknöpfe ist nicht zwingend intuitiv erlernbar und setzt geübte Benutzer voraus. Die Messwertanzeige bildet eine achtstufige Konzentrationsanzeige für Gefahrstoffe in Form von Stoffcodes. Gleichzeitig mit der Anzeige des Gefahrstoffes kann die Erhöhung bzw. der Abfall der Reaktantionen nachvollzogen werden.

Eine ausführliche Darstellung und Bewertung einzelner Parameter findet sich in den Evaluationsbögen der jeweiligen Messgeräte.

In Geräten mit radioaktiver Ionisierung befindet sich ein radioaktiver Strahler. Laut Anlage 3 der StrlSchV gibt es isopenabhängige Freigrenzen (z. B. liegt die Freigrenze für Strahlungsquellen mit dem Isotop  $^{63}\text{Ni}$  bei  $< 100 \text{ MBq}$ ). Liegt die Aktivität des Strahlers über dieser Freigrenze, besteht für das Gerät eine Anzeige- und Meldepflicht bei der zuständigen Aufsichtsbehörde. Die Lagerung des Gerätes muss in jedem Fall diebstahlgeschützt erfolgen.

#### **4.1.4 Ionenmobilitätsspektrometrie (Explosivstoffe und Betäubungsmittel)**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Neben der Kampfstoff- und TIC-Detektion findet die IMS-Technologie auch im Spurenbereich in der Explosivstoff- und Betäubungsmittel-Detektion Anwendung. Zum Einsatz kommen Ionenmobilitätsspektrometer z. B. bei kriminaltechnischen Untersuchungen von Polizeibehörden, Sicherheitsüberprüfungen an Flughäfen oder bei Zugangskontrollen als Sicherheitsmaßnahme zum Schutz hochgefährdeter Personen (Staatsbesuche). Mittels unterschiedlicher Probenahmetechniken können auf verschiedenen Oberflächen (Haut, Stoff, Metall, Kunststoff u. a.) geringste, nicht sichtbare Mengen relevanter Stoffe aufgenommen und anschließend mit den Geräten analysiert werden.

##### **Gerätetechnische Besonderheiten**

Die Evaluation der Geräte erfolgte auf Basis der erstellten Evaluationsbögen. Es werden Vor- und Nachteile bestimmter Ionisationsverfahren und IMS-Technologien der hier untersuchten Geräte erläutert. Weiterhin werden, im Hinblick auf eine anwenderfreundliche Nutzung, relevante Aspekte von Technik und Software beschrieben.

Die Ionisierung erfolgt bei den untersuchten Geräten grundsätzlich unter Atmosphärendruck (Normaldruck). Bei den hier untersuchten Geräten werden unterschiedliche Ionisierungsquellen eingesetzt. Sobald die Ionisierung der Analyte über die Bildung von Reaktantionen erfolgt, handelt es sich um eine chemische Ionisierung. Erfolgt die chemische Ionisierung unter Atmosphärendruck, spricht man von Atmospheric Pressure Chemical Ionisation (APCI).

Dem SABRE 5000 sowie dem MobileTrace dienen zur Ionisierung radioaktive Quellen. Die Ionisation der Luftbestandteile erfolgt bei dieser Methode durch einen  $\beta$ -Strahler, der kontinuierlich Elektronen emittiert. Durch die so entstehenden Reaktantionen erfolgt die Ladungsübertragung auf die Analyte. Radioaktive Ionisationsquellen sind sehr robust, besitzen eine hohe Langzeitstabilität und benötigen keine eigene Stromversorgung. Die Fehlfunktionsrate ist äußerst gering, somit werden keine Wartungen oder Ersatzteile benötigt. Der messbare Konzentrationsbereich ist durch die Anzahl der Reaktantionen begrenzt. Die Aktivitätswerte der radioaktiven Quellen beider Geräte liegen laut aktueller Strahlenschutzverordnung oberhalb der Freigrenze. Somit muss der Betrieb bei der zuständigen Strahlenschutzbehörde angezeigt werden und bedarf einer Genehmigung, zusätzlich erfolgen regelmäßige kostenpflichtige Dichtigkeitsuntersuchungen. Die Lagerung der Geräte unterliegt gesetzlichen Regelungen, die spätere Entsorgung ist darüber hinaus u. U. kostenpflichtig.

Im Itemiser 4DX wird der Analyt direkt durch eine UV-Lampe ionisiert, da die Ionisierungsenergie der UV-Lampen zu gering ist, um die Luftbestandteile zu ionisieren. Die nachzuweisenden Analyte nehmen die Photonen elektromagnetischer Strahlung auf und werden dadurch ionisiert. Mit dieser Methode ist der nachzuweisende Konzentrationsbereich größer, da die Ionisation nicht durch die Anzahl der Reaktantionen beschränkt wird. Es ist keine Ionisationskammer nötig, somit kann die gesamte Länge der Driftröhre genutzt werden, was die Ionentrennung positiv beeinflusst. Es werden nur Moleküle ionisiert, deren Ionisierungspotenzial kleiner oder gleich der Ionisierungsenergie der gewählten UV-Lampe ist. UV-Ionisationsquellen sind jedoch weniger robust und bedürfen einer regelmäßigen Wartung und müssen zusätzlich mit Strom versorgt werden, zudem ist der Ersatz von UV-Lampen kostenintensiv (Vgl. 2.2.10 Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)).

Eine Ionisierung kann auch, wie beim DE-tector, durch niederenergetische Röntgenquanten erfolgen. Über eine Glühkatode werden Elektronen in Richtung der Anode beschleunigt. Das Eindringen der Elektronen in das Anodenmaterial erzeugt die Brems- und charakteristische Strahlung, zusammen bilden diese Strahlungen die Röntgenstrahlung (Vgl. 2.2.14 Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA)). Diese niederenergetische Röntgenstrahlung ionisiert zusammen mit Photoelektronen (umgewandelte Röntgenstrahlung höherer Energie) die Luftbestandteile in

der Reaktionskammer. Die damit erzeugten Reaktantionen können anschließend den Analyten ionisieren. Der Vorteil dieser Methode liegt in der energiereicheren Röntgenstrahlung im Gegensatz zur energieärmeren UV-Strahlung, daraus resultiert eine höhere Ionisierungswahrscheinlichkeit und letztendlich eine gesteigerte Empfindlichkeit. Da es sich um weiche Röntgenstrahlung handelt, unterliegt das Gerät keinen behördlichen Auflagen. Der messbare Konzentrationsbereich ist abhängig von den gebildeten Reaktantionen und die Ionisationsquelle (Röntgenröhre) unterliegt geräteabhängigen Wartungsintervallen und bedarf einer zusätzlichen Stromversorgung.

Smiths Detection macht keine näheren Angaben zur Ionisationsquelle im IONSCAN 600. Es wird lediglich angegeben, dass es sich nicht um eine radioaktive Quelle handelt. Weitere Ausführungen können diesbezüglich nicht gemacht werden.

In den hier untersuchten Geräten muss zwischen der klassischen (IMS) und der Ionenfallen-IM-Spektroskopie (Ion Trap Mobility Spectrometry, ITMS bzw. TIMS) unterschieden werden.

Im SABRE 5000, dem DE-tector sowie dem IONSCAN 600 wird die klassische IMS-Technologie verwendet. Nach der Ionisation lässt ein Ionengitter das Ionen-Gas-Gemisch in den Driftraum. Darin werden die Ionen im homogenen elektrischen Feld aufgrund unterschiedlicher Masse und/oder Struktur voneinander getrennt und am Ende von einem Detektor erfasst. Der Nachteil dieser Methode ist die Nutzung des Ionengitters. Ein Großteil der gebildeten Produktionen kann das Ionengitter nicht passieren (kurze Schaltdauer des Gitters, Entladung der Ionen am Gitter), dies führt zu einer verringerten Empfindlichkeit der Technologie.

Die ITMS findet im Itemiser 4DX sowie im MobileTrace Anwendung. Nach dem Einstellen eines Ionisationsgleichgewichtes wird der Einlass in die Driftröhre über einen Gegengasstrom (Driftgas) gesteuert. Durch Verstärkung bzw. Verringerung dieses Gegenstromes kann die Menge an Gas (damit auch die Menge an Ionen), die in die Driftröhre gelangen soll, bestimmt werden. Aufgrund dieses Gegenstromprinzips und der Veränderung des elektrischen Feldes in der Driftröhre werden die Ionen gleicher Art in ihrer Beweglichkeit gehemmt („gefangen“). Mit steigender Feldstärke werden nacheinander alle Ionen mit entsprechender Auflösung detektiert. Aufgrund des Fehlens des Schaltgitters können alle gebildeten Ionen die Driftregion erreichen, das garantiert eine hohe Empfindlichkeit. [64]

Befindet sich im Ionenmobilitätsspektrometer nur eine Driftröhre, sollte sich die Schaltzeit, um die Hochspannung umpolen zu können, im Millisekunden-Bereich befinden. Somit erhält man eine quasisimultane Detektion der positiven und

negativen Ionen. Spektrometer mit zwei Driftröhren ermöglichen dagegen eine simultane Detektion beider Ionenarten (Vgl. 2.2.10 Ionenmobilitätsspektrometer (IMS)).

### Kurzzusammenfassung Evaluation

Die erste der beiden Gruppen bilden die handgeführten Geräte: das MobileTrace der Firma SAFRAN (Morpho Detection) mit 4,3 kg sowie das SABRE 5000 von Smiths Detection mit 3,2 kg. Beide Geräte können zusätzlich mit einem Schultergurt gesichert werden und verfügen über die Möglichkeit einer direkten Gasanalyse durch Einsaugen der Probenluft. Mit diesen Geräten können Container, Autokofferräume oder größere Gepäckstücke auf illegale Stoffe untersucht werden. Die Gasanalyse umfasst beim MobileTrace die simultane Explosivstoff- bzw. Betäubungsmitteldetektion. Beim SABRE 5000 besteht die Möglichkeit, entweder auf gasförmige Explosivstoffe oder gasförmige CWAs/TICs zu testen. Beide Geräte können zusätzlich über Spurenprobenahme Feststoffe und Flüssigkeiten (vorher trocken lassen) detektieren. Auch bei der Spurenprobenahme kann das MobileTrace Explosivstoffe und BtM simultan erfassen, während das SABRE 5000 diese Stoffe getrennt im jeweiligen Modus erfassen kann. Das MobileTrace zeigt positive und negative Produktionen immer zeitgleich an, beim SABRE 5000 erfolgt die automatische Umschaltung nur im Modus der direkten Gasanalyse. Das SABRE 5000 verfügt über eine automatische Selbstkalibrierung, beim MobileTrace erfolgt diese regelmäßig über die manuelle Messung von Kalibrierstreifen. Die Probenahme erfolgt über Streifen aus unterschiedlichem Material oder beim MobileTrace zusätzlich über einen Probenahmestab. Die Verdampfungstemperatur des SABRE 5000 beträgt max. 210 °C, die des MobileTrace 230 °C. Die Analysendauer liegt bei beiden Geräten bei 8 bis 20 Sekunden. Zwischen den Probemessungen kann es zu Reinigungszeiträumen kommen. Diese sind stark von der Verschmutzung oder Überlastung der Geräte abhängig. Das SABRE 5000 kann bei Temperaturen von 0 bis 40 °C, das MobileTrace bis 50 °C eingesetzt werden. Die relative Luftfeuchte sollte beim SABRE 5000 70 % nicht überschreiten, beim MobileTrace sind relative Feuchten bis 95 % möglich. Beide Geräte sind als Dauerläufer konzipiert, die Stabilisierungszeit beträgt 15 bis 30 Minuten, diese kann jedoch nach längerer Zeit im ausgeschalteten Zustand weitaus höher ausfallen. Die Bruttokosten für das SABRE 5000 belaufen sich auf ca. 30.000 Euro und die des MobileTrace auf ca. 34.000 Euro.

Die zweite Gruppe bezieht sich auf die tragbaren Tischgeräte: den Itemiser 4DX der Firma SAFRAN (Morpho Detection) 12,2 kg, den IONSCAN 600 von Smiths Detection mit 10,8 kg sowie den DE-tector von Bruker mit 12,7 kg. Für den schnellen Transport besitzen die Geräte einen Tragegriff am Gehäuse. Mit diesen Geräten



können Feststoffe und verdampfbare Flüssigkeiten untersucht werden. Die Probenzufuhr erfolgt über Probenahmestreifen aus unterschiedlichem Material, Einweg-Wattestäbchen oder aber über einen Probenahmestab. Bei dem Itemiser 4DX erfolgt die thermische Desorption bis 230 °C, beim IONSCAN 600 und dem DE-tector bis 250 °C. Der DE-tector verfügt über Dotierungsmittel, die dem Probengas automatisch in definierter Konzentration zugefügt werden, um bei der Ionisierung Störsubstanzen zu unterdrücken. Die Geräte können Explosivstoffe und BtM simultan nachweisen. Dabei beträgt die Analysendauer 8 bis 2 Sekunden. Die Kalibrierung erfolgt bei diesen Geräten automatisch. Ähnlich wie bei den handgeführten Geräten kann es zwischen den Messzeiten zu Reinigungszeiträumen kommen, die stark von der Verschmutzung oder Überlastung der Geräte abhängig sind. Die Betriebstemperaturen liegen beim Itemiser 4DX und dem DE-tector bei 0 bis 40 °C und beim IONSCAN 600 bei -10 bis 50 °C. Die Geräte können bis zu einer relativen Luftfeuchte von 95 % betrieben werden. Die Stabilisierungszeit beträgt beim Itemiser 4DX und dem DE-tector ca. 30 Minuten. Beim IONSCAN 600 ist die Stabilisierungszeit stark temperatur- und feuchtigkeitsabhängig, so beträgt diese bei 20 °C und 40 % rel. Feuchte 10 Minuten, bei 10 °C und 60 % rel. Feuchte jedoch schon 45 bis 60 Minuten. Die Geräte sind als Dauerläufer konzipiert. Die Stabilisierungszeit kann aber nach längerer Zeit im ausgeschalteten Zustand weitaus höher ausfallen. Die Bruttokosten für den Itemiser 4DX liegen bei ca. 44.000 Euro, die des IONSACAN 600 bei ca. 55.000 Euro und die Bruttokosten des DE-tectors liegen bei ca. 40.000 bis 50.000 Euro.

## Handhabung

Die untersuchten Ionenmobilitätsspektrometer zur Detektion von Explosivstoffen und Betäubungsmitteln sind für die Analyse kleinster, nicht sichtbarer Substanzmengen konzipiert (Spurenanalyse), eine Handhabung unter Vollschutz steht deshalb nicht im Vordergrund. Dennoch besteht die Möglichkeit, die Geräte unter Vollschutz zu bedienen. Das MobileTrace gibt es in der „Hardened“ Ausführung, mit hellerem Bildschirm und höherer Schutzart, jedoch mit relativ kleiner Schriftgröße. Für die anderen vier untersuchten Geräte gibt es keine Sonderausführungen. Die Bedienung unter Vollschutz unterliegt daher Einschränkungen (z. B. kleine, unbeleuchtete Tasten, kleiner Tastenabstand, kleines Display). Das SABRE 5000 bietet noch die Möglichkeit eines um 180° rotierbaren Displays. Die fünf getesteten Geräte können bei einem verdeckten Einsatz aufgrund der Fähigkeit der Spurenanalyse sowie verschiedener Alarmoptionen (akustischer Alarm quittierbar/deaktivierbar bzw. ausschließlich optischer Alarm) eingesetzt werden. Bei allen Softwaresystemen können die Bibliotheken durch den Nutzer angepasst werden, es können analytische Einstellungen individualisiert werden, zudem sind die unterschiedlichen Menüs (Service-, Bedien- und evtl. Administrationsmenü)

voneinander getrennt. Die Möglichkeit des Fernzugriffs bietet nur der Itemiser 4DX. Dabei können mehrere Geräte über ein Interface verbunden werden und so Gerätestatus, Datenfluss, -speicherung und -archivierung sowie fällige Serviceintervalle zentral gesteuert werden. Bei allen Geräten sind in der Software Hilfestellungen für Servicearbeiten sowie Lösungsvorschläge bei Problemen integriert. Für die Datenübertragung ist/sind mindestens ein USB-Anschluss (SABRE 5000) oder mehrere USB-Anschlüsse und ein Netzwerkanschluss (Itemiser 4DX, IONSCAN 600, MobileTrace, DE-tector) integriert. Der IONSCAN 600 verfügt optional über einen Drucker, bei dem DE-tector und dem Itemiser 4DX sind diese standardmäßig im Gerät verbaut. Von Vorteil sind im Gerät integrierte Akkus (oft 1 h Kapazität), die einen Wechsel des eigentlichen Akkus (ca. 4 h Kapazität) im laufenden Betrieb (Itemiser 4DX, MobileTrace und IONSCAN 600) problemlos ermöglichen. Der DE-tector verfügt optional über eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, die vor Datenverlust bei Störungen im Stromnetz schützen soll. Die Möglichkeit, die benötigten Trockenfilter regenerieren zu können (Itemiser 4DX), erspart dem Nutzer hohe Kosten. Die Menüführung an den Geräten ist mehrsprachig, u. a. auch in deutscher Sprache realisiert. Die Ergebnisanzeige der Geräte gestaltet sich unterschiedlich und ist ein Stück weit nutzerabhängig. Wichtig sind vor allem klare und deutliche Ergebnisanzeigen, die einen minimalen Interpretationsspielraum zulassen. Eine codierte Anzeige der Stoffe (keine Klarnamen) stellt die Privatsphäre der Person sicher und verhindert die Entstehung von Panik.

#### **4.1.5 Flammenphotometrie**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Das AP4C (Flammenphotometrischer Detektor) ist ein Warngerät zum Nachweis von Elementen in einer unbegrenzten Anzahl von Gasen, Vorstufen, Derivaten oder unbekanntem Substanzen und wird nicht durch den Vergleich mit einer Bibliothek beschränkt. Die stoffliche Zugänglichkeit beschränkt sich jedoch auf Substanzen, welche folgende Elemente/Gruppen enthalten: Phosphor, Schwefel, Arsen und CH (Kohlenwasserstoffe). Zusätzlich können stickstoffhaltige Verbindungen nachgewiesen werden, die bei der Verbrennung eine HNO-Verbindung bilden und damit zur Anregung des HNO-Kanals des AP4C führen. Das AP4C kann daher insbesondere als Kampfstoffdetektor eingesetzt werden.

## Kurzzusammenfassung Evaluation

Die Evaluation erfolgte unter Berücksichtigung der anspruchsvollen Anforderungen bei Realeinsätzen. Insbesondere wurden der Aufwand bei der Gerätepflege und Wartung sowie die Bedienung in Schutzkleidung bewertet.

Dem Projekt stand das Flammenphotometer AP4C der Firma PROENGIN zur Verfügung. Es wird handgetragen eingesetzt und dient der Einsatzkraft zur Erkundung und Lokalisierung einer Freisetzungsquelle.

Die Brutto-Anschaffungskosten liegen ca. bei 20.000 Euro. Der Lieferumfang umfasst das Messgerät, Vor-Ort-Schulung für Bediener, zwei Wasserstoffkartuschen, Batteriehalterung und Batterien, Probenahmezubehör + Zusatzsystem (S4PE) sowie Transportkoffer. Eine Messwert-Interpretations-Software (ca. 34.000 Euro) und eine Remote-Software ca. (10.000 Euro) gelten als optionale Zusatzausrüstung. Die Instandhaltung ist im Handbuch beschrieben, eine Kalibrierung ist nicht notwendig. Das Gerät wiegt incl. Batterien und Wasserstoffkartusche ca. 2,5 kg und kann mit einer Hand getragen werden. Die Laufleistung im Akkubetrieb liegt bei > 12 h, die Möglichkeit, den Akku extern zu laden, ist mit Zusatzkosten von ca. 700 Euro verbunden. Der Wechsel des Akkus und der Wasserstoffkartusche (nach ca. 12 h) kann problemlos vor Ort erfolgen. Die Messbereitschaft liegt bei Temperaturen > 0 °C bei ca. 2 Sekunden und bei Temperaturen < 0 °C bei 15 Sekunden. Die Betriebstemperatur liegt zwischen -32 °C und 50 °C bei einer relativen Feuchte von bis zu 93 %. Die Schutzart beträgt IP56, dies impliziert einen Schutz gegen Staub in schädigender Menge, einen vollständigen Schutz gegen Berührung und einen Schutz gegen starkes Strahlwasser. Eine Wischdekontamination ist möglich.

Durch das Zusatzsystem (S4PE) können neben Gasen auch Flüssigkeiten und Feststoffe vermessen werden. Durch das S4PE werden die genommenen flüssigen oder festen Proben verdampft. Anschließend kann das AP4C durch Austausch des Spüradapters mit einem Probenröhrchen diese Probe analysieren. Bei flüssigen Proben wird mit Hilfe des S4PE eine kontaminierte Fläche von 10 x 10 cm abgerastert und selbiges anschließend zur Analyse in das Probenröhrchen des AP4C gesteckt. Feste Proben werden mit dem S4PE aufgenommen, verdampft und anschließend ebenso vermessen wie für die flüssigen Proben beschrieben. Die Anwendung des Zusatzsystems wird detailliert im Handbuch aufgeführt.

## Handhabung

Eine Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist möglich, optische und (wahlweise) akustische Warnsignale sind gut wahrnehmbar.

Die Bedienung des Gerätes erfolgt anwenderfreundlich über einen Drehschalter durch drei Positionen (Aus, An, Kartuschenwechsel). Die Verwendung des Zusatzsystems für die Probenahme wurde nicht unter Schutzkleidung getestet. Das AP4C besitzt keine Tastatur und kein Display, da direkt am Gerät keine Einstellungen erfolgen können.

Die Alarmierung des Benutzers erfolgt durch eine voreingestellte Warnschwelle bei Anwesenheit oben genannter spezifischer Elemente bzw. Stoffgruppen. Die detektierten Elemente/Gruppen werden auf dem Gerät in der entsprechenden Spalte optisch angezeigt. Dabei bedeutet „G,V“ Phosphorverbindungen, „HN,AC“ stickstoffhaltige Verbindungen, „L,SA“ Arsenverbindungen und „HD,HL“ Schwefelverbindungen. Ein rotes Blinken der „CH“-LED verweist zusätzlich auf CH-Verbindungen wie Alkohole, Lösungsmittel oder Alkane, welche gegebenenfalls eine entflammbare Atmosphäre hervorrufen können. Die Abkürzungen unter den LEDs sind unter Vollschutz nur sehr schwer erkennbar, was für den ungeübten Nutzer eine Erstausswertung in Schutzausrüstung erschwert. Zusätzlich verfügt das Gerät über hinterlegte Kalibrationskurven, welche einen groben Anhaltspunkt für die in der Umgebungsluft präsente Konzentration liefern. Die halbquantitative Konzentrationsanzeige besteht aus max. 5 LEDs pro Verbindungsspalte. Dabei bedeutet das erste Lämpchen in Gelb eine noch ungefährliche Menge, während Lämpchen 2 bis 5 in Rot eine bereits gesundheitsgefährdende Stoffmenge anzeigen. Optional kann zusätzlich ein akustisches Signal zugeschaltet werden, welches durch ein Piepen unterschiedlicher Frequenz die detektierte Konzentration widerspiegelt. Alle optionalen Einstellungen können nur über die externe Messwert-Interpretations-Software erfolgen.

Eine ausführliche Darstellung und Bewertung einzelner Parameter befindet sich im Evaluationsbogen des Gerätes.

### 4.1.6 Raman-Spektroskopie

#### Einsatzmöglichkeiten

Mit Handheld Raman-Spektrometern können neben festen und flüssigen TICs auch Stoffe, die dem Betäubungsmittelgesetz unterliegen, sowie Explosivstoffe

identifiziert werden. Es bedarf keiner Probenvorbereitung, teilweise kann sogar durch Verpackungsmaterialien hindurch gemessen werden.

### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Die Evaluation erfolgte unter Betrachtung unterschiedlicher messtechnischer Eigenschaften sowie unter Berücksichtigung der Gerätenutzung durch Einsatzkräfte in Schutzkleidung.

Dem Projekt standen zwei mobile Raman-Geräte zur Verfügung. Der FirstDefenderRM der Firma Thermo Fisher Scientific sowie das IDRaman mini der Firma Ocean Optics gehören beide zur Gruppe der dispersiven Geräte. Eine zweite Gruppe bilden die Fouriertransformationen(FT)-Geräte. Bei den dispersiven Geräten erfolgt die spektrale Zerlegung des Streulichtes durch Gitter, bei der Fouriertechnik erfolgt die Verarbeitung der Streustrahlung über ein Interferometer und mathematische Berechnungen. Dispersive Geräte beinhalten keine beweglichen Teile, sie sind daher extrem robust und entsprechen teilweise Militärstandards. Im mobilen Fourier-Spektrometer werden noch bewegliche Teile verbaut, dennoch sind diese robust und kompakt genug, um im Feldeinsatz bestehen zu können. [65]

In dispersiven Geräten steht ein breiter Wellenlängenbereich für Anregung zur Auswahl. Die Anregungswellenlängen liegen zwischen 200 und 800 nm. Bei den FT-Geräten werden typischerweise Anregungsenergien im nahen Infrarot-Bereich (NIR), z. B. 1064 nm, aber auch aus dem sichtbaren Bereich (VIS) z. B. 768 nm, genutzt. Je kleiner die Wellenlänge, umso energiereicher ist die Strahlung und umso höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass Fluoreszenz in Konkurrenz angeregt wird und das Raman-Spektrum überdeckt. Andererseits steigt mit der Energie jedoch grundsätzlich die Ausbeute und Intensität der Raman-Banden. Die Wahl des passenden Geräts ist also abhängig von der Aufgabenstellung bzw. dem Haupteinsatzfeld.

Neben der Laserfrequenz spielen aufgabenabhängig Laserleistung und die Belichtungszeit eine wichtige Rolle. Ihre Anpassung durch den Nutzer erlaubt im Bedarfsfall eine schonende Probenanalyse. Es gilt jedoch zu beachten, dass dies mit einem Intensitätsverlust der Raman-Banden verbunden ist. Bei dem FirstDefenderRM können diese Optionen direkt am Gerät eingestellt werden. Das IDRaman mini bietet diese Einstellungen nur über die externe Software an. Auch die Einstellung eines zeitverzögerten Messbeginns (zeitverzögerte Aktivierung des Lasers) kann z. B. bei Sprengstoffverdacht die Sicherheit der Einsatzkräfte erhöhen. Beim FirstDefenderRM kann diese Option genutzt werden, bei dem IDRaman mini erst bei Modell 2.0. Zudem gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, den Laser mit der

Probe in Berührung zu bringen. Eine Möglichkeit besteht aus dem fokussierten Laserstrahl, hier trifft ein „kleiner“ Laserpunkt auf die Probe. Die Auflösung und der Energieeintrag für diese kleine Fläche der Probe sind hoch, Inhomogenitäten in der Probe können unentdeckt bleiben. Die zweite Möglichkeit bildet ein defokussierter Laserstrahl, die Ergebnisse sind von geringerer Auflösung, der Energieeintrag verteilt sich jedoch auf eine größere Fläche der Probe. Eine dritte Möglichkeit ist das Raster Orbital Scanning (ROS). Hierbei wird ein Teil der Probe mit einem fokussierten Laserstrahl abgetastet. Die Auflösung des Ergebnisses ist höher als bei der ersten Methode, der Energieeintrag auf die abgetastete Fläche reduziert sich jedoch enorm, und eventuelle Inhomogenitäten fließen in die Ergebnisbildung ein. Mit der letzten Methode können auch energiereiche Stoffe (Explosivstoffe) unter bestimmten Bedingungen sicher identifiziert werden. [66] Diese Anwendung muss jedoch beim Verdacht auf Vorhandensein von Explosivstoffen mit den zuständigen Entschärfnern vor Ort abgeklärt werden!

Der Spektralbereich der für die Identifizierung meistgenutzten Grundschwingungen liegt zwischen 200 und  $4.000\text{ cm}^{-1}$ , hier deckt der FirstDefenderRM mit 250 bis  $2.875\text{ cm}^{-1}$  den breitesten Wellenzahlbereich ab. Die Angaben zum Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) für die Geräte sind unterschiedlich und nur schwer zu vergleichen. Grundsätzlich kann man sagen, je mehr Scans pro Sekunde möglich sind, umso besser wird die Akkumulation (Mittelung aufgenommener Spektren) und umso geringer bleibt die Messzeit. Die Geräte versuchen automatisch ein sehr gutes Spektrum zu erzielen, dabei werden auch die Fluoreszenz-Signalhöhe und die Raman-Aktivität der Probe berücksichtigt. Letztlich ist die Identifizierungssicherheit jedoch von vielen Faktoren abhängig. Daher sind Praxistests mit den Zielsubstanzen am aussagefähigsten.

Je höher die optische Auflösung, umso mehr Informationen werden im Spektrum (z. B. Bandenaufteilung) erhalten. Die höchste Auflösung der beiden getesteten Geräte zeigt der FirstDefenderRM mit  $7\text{ cm}^{-1}$ . Je detaillierter ein Spektrum abgebildet wird, umso genauer ist eine Identifizierung möglich. Bei der Identifizierung spielt auch die Qualität der Bibliotheken eine wichtige Rolle. Deshalb ist es von Vorteil, eigene Spektren in die Bibliotheken einzubinden oder gegebenenfalls neue Bibliotheken zu erstellen. Mit der Software beider Geräte können eigene Spektren in die Auswertung einbezogen werden. Der FirstDefenderRM bietet die Möglichkeit, Bibliothekscans aufzunehmen, hier ist die Anzahl der Scans pro Sekunde gleichbleibend, doch wird die Zahl der insgesamt aufgenommenen Scans automatisch angepasst. Beim IDRaman mini müssen die Einstellungen über die externe Software erfolgen und können vom Bediener eingestellt werden. Die Erweiterung der eigenen Spektrenbibliotheken erhöht die Anzahl identifizierbarer Stoffe. Bei der Aufnahme eigener Spektren muss jedoch auf optimale Messbedingungen und auf die Reinheit der Probe geachtet werden. Eine zweifelsfreie zusätzliche

Identifizierung der Probe über GC-MS würde den neuen Bibliothekseintrag belastbar machen.

Weiterhin ergibt sich ein Unterschied bezüglich der Identifizierungsalgorithmen. Geräte mit Einzelstoff-Identifizierungsalgorithmus (IDRaman mini) benötigen zwingend ein hinterlegtes Gemisch-Spektrum. Geräte mit Gemischerkennungsalgorithmus (FirstDefenderRM) sind hier variabler. Sie können oftmals die Hauptkomponenten auf Basis hinterlegter Einzelstoff-Spektren identifizieren oder ermitteln stofflich ähnliche Verbindungen. Bei alleiniger Verfügbarkeit eines Gemischerkennungsalgorithmus kann es im Einzelfall jedoch zu einer falsch positiven Gemischidentifizierung kommen. Darüber hinaus können grundsätzlich einzelne oder sogar alle identifizierten Komponenten falsch sein. Die Güte der Identifizierung bzw. Identifizierungssicherheit ist grundsätzlich von einer Vielzahl von Einflüssen. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Zusammensetzung der Spektren-Bibliothek. Aber auch die Intensität der Raman-Banden, die individuelle Bandenlage der Substanzen, die Art und Konzentration der Stoffe sowie die möglichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen der Gemisch-Bestandteile fließen in die Ergebnisse ein. Die Ergebnisse der Gemischidentifizierungen sind daher nur begrenzt belastbar. Häufig sind sie nur für Hauptkomponenten sinnvoll, oft nur für die ersten beiden angezeigten Ergebnisse, und nicht selten sind die Ergebnisse falsch. Die Auswertung sollte ein erfahrener Anwender übernehmen, da die Ergebnisse kritisch zu hinterfragen sind.

Die Analyse von wässrigen Lösungen ist grundsätzlich möglich. Jedoch kommt es trotz der Raman-Inaktivität von Wasser zu einer Schwächung der Laserstrahlung. Darüber hinaus wirken sich die geringere Konzentration gelöster Komponenten und das mögliche Auftreten von Fluoreszenz negativ auf das Probenspektrum bzw. die Identifizierung aus. [67]

Das IDRaman mini liegt bezüglich der Anschaffungskosten (brutto) bei ca. 20.000 Euro, der FirstDefenderRM bei ca. 55.000 Euro. Das Zubehör beider Geräte sind Betriebssoftware, Zubehör für die Probenvorbereitung, Datenverarbeitung und Transportkoffer. Unterschiede zeigen sich bei den verschiedenen Softwaresystemen und Spektrenbibliotheken. Beim IDRaman mini zählen diese in vollem Umfang zum Standardzubehör, beim First Defender RM zählen Bedienungssoftware und eine umfangreiche Spektrenbibliothek zur Standardausführung. Allerdings sind die Softwarepakete des FirstDefenderRM wesentlich umfangreicher und bieten mehr Auswerteooptionen.

Dem FirstDefenderRM wird im Akkubetrieb eine Laufzeit von > 4 Stunden garantiert, dem IDRaman mini je nach Art des Akkus 6 bis 11 Stunden. Die Messbereitschaft beider Geräte liegt zwischen 1 und 2 Minuten. Der FirstDefenderRM wurde

unter Militärstandards getestet, Temperaturen von  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  sowie relative Luftfeuchten bis 95 % stehen einem Einsatz nicht entgegen. Durch die Schutzart IP67 ist sogar ein zeitweiliges Untertauchen, z. B. Dekontamination im Tauchbad, möglich. Bei dem IDRaman mini sind Herstellerangaben zu Testbedingungen kaum vorhanden, im Handbuch wird von „Messungen unter rauen und anspruchsvollen Bedingungen“ gesprochen. Der Einsatz des Gerätes kann bei Temperaturen zwischen  $-20$  und  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  erfolgen. Angaben über Messungen in bestimmten relativen Feuchten werden nicht gemacht. Die Schutzart liegt bei IP40, diese bietet keinen Schutz vor Wasser.

## Handhabung

Eine Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist bei allen Geräten gegeben. Bei beiden Geräten gibt es keine optischen oder akustischen Warnsignale.

Der in der Geräteoberfläche „versenkte“ Ein-/Ausschaltknopf am FirstDefenderRM kann mit Schutzhandschuhen nur sehr schwer bedient werden. Das sehr gut ablesbare Display sowie die problemlose Reinigung nach jeder Messung, auch mit Schutzhandschuhen, erleichtern die Nutzung des Gerätes. Die Tasten für die Menüführung verfügen über PC-entlehnte Symbole, deren Funktion im Display in Worten angezeigt wird. Die Ergebnisanzeige besteht aus Substanznamen, Gefahrstoffhinweisen (Gefahrstoffdiamant), Spektrum und bei Gemischen aus der prozentualen Zusammensetzung. Die Ergebnisanzeige kann am Gerät individualisiert werden. Sowohl die Auswertoptionen als auch die Menüführung sind sehr benutzerfreundlich.

Das IDRaman mini arbeitet vorrangig mit Piktogrammen, was eine intuitive Zuordnung für ungeübte Nutzer erschwert. Die Bedienung des Gerätes erfolgt über einen Touchscreen, welcher sehr berührungsempfindlich ist und damit eine Fehlbedienung begünstigen kann. Unter Schutzkleidung sind die Probenaufgabe (bei Flüssigkeiten aufgrund der sehr kleinen Probenfläschchen) sowie die Reinigung nach einer Messung (bei Feststoffen) aufgrund der geringen Größe des Gerätes sehr beschwerlich. Die Herstellung der Betriebsbereitschaft gelingt auch mit Schutzhandschuhen problemfrei, für die Bedienung ist die Größe der Symbole auf dem Touchscreen optimal. Die Menüführung ist bei Kenntnis der Symbole übersichtlich und schnell erlernbar, da nur wenige Einstell-/Auswertmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Die Ergebnisanzeige besteht aus dem Spektrum, dem Korrelationsfaktor und dem Namen der identifizierten Substanz, weitere Auswertoptionen (z. B. Vergrößerungsfunktionen und Überlagerungsmöglichkeiten) müssen über die externe Software genutzt werden. Die Anzeigen sind anwenderfreundlich, die Schriftgröße kann unter Vollmaske jedoch nur schwer gelesen werden.



Da in Raman-Spektrometern vorwiegend Laser der Klasse 3B eingesetzt werden, muss nach OStrV ein Laserschutzbeauftragter benannt und regelmäßig fortgebildet werden. Dieser Beauftragte ist wiederum für die Schulung der Gerätenutzer hinsichtlich der Einhaltung des Strahlenschutzes verantwortlich. Die Pflicht zum Tragen von Laserschutzbrillen ist insbesondere vom Ergebnis der Gefährdungsanalyse sowie vom Ausbildungsstand des Personals abhängig.

#### **4.1.7 Infrarot-Spektroskopie mit abgeschwächter Totalreflexion**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Mit Handheld-IR-Spektrometern können neben festen und flüssigen TICs auch Stoffe, die dem Betäubungsmittelgesetz unterliegen, CWAs, biologisches Material sowie Explosivstoffe über Spektrenbibliotheken identifiziert werden. Durch die spezielle Methode der abgeschwächten Totalreflexion (ATR – attenuated total reflection) kann die Probenvorbereitung auf einen minimalen Aufwand beschränkt werden. Messtechnisch stellt die IR-Spektroskopie die ideale Ergänzung zur Raman-Spektroskopie dar.

##### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Die Evaluation erfolgte unter Betrachtung unterschiedlicher messtechnischer Eigenschaften sowie unter Berücksichtigung der Gerätenutzung durch Einsatzkräfte in Schutzkleidung.

Dem Projekt standen drei mobile ATR-FTIR-Geräte zur Verfügung, wobei diese in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Der TruDefender FTX der Firma Thermo Fisher Scientific sowie das HazMatID Elite von der Firma Smiths Detection gehören zu den handgetragenen Geräten, die aufgrund ihrer Handlichkeit und des geringen Gewichts eine hohe Mobilität ermöglichen. Das HazMatID 360 der Firma Smiths Detection gehört zu den tragbaren Geräten, aufgrund der größeren Abmessungen und des höheren Gewichts ist das Gerät im Gegensatz zu den handgeführten Geräten in seiner Mobilität eingeschränkt. Alle zur Verfügung stehenden Geräte nutzen die Methode der abgeschwächten Totalreflexion (siehe 2.2.12 Infrarot Spektroskopie (ATR-FTIR)). Die Probenvorbereitung beschränkt sich dadurch bei pulverförmigen Stoffen auf das feine Mörsern, um eine homogene Probenstruktur zu erzielen. Anschließend wird die Probe über einen Andruckstempel auf den Diamantkristall gedrückt, um eine maximale Wechselwirkung mit der Infrarot-Strahlung zu gewährleisten. Diese Druckbelastung könnte bei Explosivstoffen zur spontanen Zersetzung der Probe führen. Deshalb sollten die

Probenvorbereitung und die Messung bei möglichem Sprengstoffverdacht mit dem zuständigen Entschärfer vor Ort abgeklärt werden.

Der verwendete Spektralbereich liegt bei den Geräten zwischen  $650$  und  $4.000\text{ cm}^{-1}$ , auch die spektrale Auflösung ist einheitlich und liegt bei  $4\text{ cm}^{-1}$ . Das Signal-Rausch-Verhältnis (SRV) wird durch die vergleichsweise geringe Auflösung bereits optimiert. Denn je höher die Auflösung, umso größer wird das SRV. Andererseits steigt bei einer hohen spektralen Auflösung auch der Informationsgehalt im Spektrum (z. B. Bandenaufteilung) und damit die Identifizierungswahrscheinlichkeit der Probe. Da im Feldeinsatz jedoch keine Probenaufarbeitung stattfindet und die Messbedingungen starken Schwankungen unterliegen können, stellt eine Auflösung von  $4\text{ cm}^{-1}$  für die meisten Messungen einen vertretbaren Kompromiss dar. Ein weiterer Faktor, welcher das SRV beeinflusst, ist die Messzeit, die wiederum von der Scanrate abhängt. Grundsätzlich kann man sagen, je mehr Scans pro Sekunde möglich sind, umso besser wird die Akkumulation (Mittelung aufgenommener Spektren) und umso geringer bleibt die Messzeit. Der TruDefender FTX besitzt eine Scanrate von 20 Spektren/Minute, bei dem HazMatID Elite konnten diesbezüglich keine Informationen erhalten werden. Das HazMatID 360 ist in der Lage, 60 Spektren pro Minute aufzunehmen. Die Geräte versuchen automatisch ein sehr gutes Spektrum zu erzielen. Bei allen drei Geräten besteht die Möglichkeit, neben einem Probenscan auch einen Bibliotheksscan durchzuführen, die Zahl der akkumulierten Spektren ist dann höher als beim Probenscan. Die Qualität der Bibliotheken spielt bei der Identifizierung eine wichtige Rolle. Es ist daher von Vorteil, eigene Spektren hoher Qualität in die Bibliotheken einzubinden oder gegebenenfalls neue Bibliotheken zu erstellen. Bei der Aufnahme eigener Spektren muss jedoch auf optimale Messbedingungen und auf die Reinheit der Probe geachtet werden. Eine zweifelsfreie zusätzliche Identifizierung der Probe über GC-MS würde den neuen Bibliothekseintrag belastbar machen. Alle drei Geräte verfügen über einen Gemischerkennungsalgorithmus, das HazMatID 360 verfügt zusätzlich über einen Einzelstoffalgorithmus. Durch einen Gemischerkennungsalgorithmus kann die Hauptkomponente eines Gemisches auf Basis hinterlegter Einzelstoff-Spektren identifiziert oder stofflich ähnliche Verbindungen ermittelt werden. Bei alleiniger Verfügbarkeit eines Gemischerkennungsalgorithmus kann es im Einzelfall zu einer falsch positiven Gemischidentifizierung kommen. Darüber hinaus können grundsätzlich einzelne oder sogar alle identifizierten Komponenten falsch sein. Die Güte der Identifizierung bzw. Identifizierungssicherheit ist grundsätzlich von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Zusammensetzung der Spektrenbibliothek. Aber auch die Intensität der IR-Banden, die individuelle Bandenlage der Substanzen, die Art und Konzentration der Stoffe sowie die möglichen zwischenmolekularen Wechselwirkungen der Gemisch-Bestandteile fließen in die Ergebnisse ein. Die Ergebnisse der Gemischidentifizierungen sind daher nur begrenzt belastbar. Häufig sind sie nur für Hauptkomponenten sinnvoll,

oft nur für die ersten beiden angezeigten Ergebnisse, und nicht selten sind die Ergebnisse falsch. Die Auswertung sollte ein erfahrener Anwender übernehmen, da die Ergebnisse kritisch zu hinterfragen sind. Mittels IR-Spektroskopie lassen sich sehr gut funktionelle Gruppen nachweisen. Die enthaltenen Heteroatome haben i. d. R. permanente Dipole im Molekül zur Folge, was das Messen durch IR-Spektroskopie erst möglich macht. In Strukturen biologischen Materials finden sich häufig derartige Heteroatome, entsprechend sind auch die Möglichkeiten zur Erkennung dieser Stoffe mit der IR-Spektroskopie erfolgreicher als mit Raman-spektroskopischen Untersuchungen. Die Messung von gelösten Stoffen in wässrigen Lösungen ist dagegen aufgrund der starken IR-Aktivität des Wassers nur bei hohen Konzentrationen möglich. [68]

Die Brutto-Beschaffungskosten für den TruDefender FTX liegen ungefähr bei 52.000 Euro. Als sonstiges Zubehör werden die externe Spektroskopie-Software, größere Spektrenbibliotheken und ein WLAN-Modul (FTXi) für ca. 20.000 Euro gelistet. Die Firma Thermo Fisher Scientific bietet keine Remote-Software für den TruDefender FTX an. Das HazMatID Elite wie auch das HazMatID 360 kosten brutto je nach Modell zwischen 55.000 und 72.000 Euro. Das Standardzubehör beinhaltet für alle drei Geräte das Messgerät mit Betriebssoftware, Spektrenbibliotheken, Ausrüstung für die Stromversorgung (Netzteile, Akku, Ersatzakku, externe Ladestation), Prüfkörper, SD-Kartenleser und Probenahmezubehör sowie Transportkoffer. Die kostenintensiveren Modelle der HazMatID-Geräte beinhalten zusätzlich die Command-Software und Laptop mit RF-Modul (Mess- und Methodeinstellungen, Fernsteuerung sowie Überwachung des Handgerätes möglich) und die externe Spektroskopie-Software (erweiterte Auswertung). Die zusätzlichen Software-Pakete, der Laptop und erweiterte Spektrenbibliotheken können nachträglich für ca. 25.000 bis 30.000 Euro erworben werden. Das HazMatID Elite kann in der Dual-Diamond-Version gekauft werden, ein zweites ATR-Interface für eine direkte Beprobung (Touch to Sample) an Ort und Stelle erweitert die Probenahmefähigkeit im Einsatz.

Garantieverlängerungen und Wartungsverträge sind kostenpflichtig möglich. Software- inkl. Spektrenbibliothek-Updates sind bei allen drei Geräten für ca. 3.000 Euro durchführbar. Die Einweisung von Wartungspersonal ist nicht erforderlich, die Kosten für die Gerätepflege sind marginal und Kalibrierungen sind nur im Rahmen von Reparaturen durch den Hersteller notwendig.

In der Gruppe der handgeführten Geräte beträgt das Gewicht des TruDefenders FTX 1,4 kg und des HazMatID Elite 2,3 kg. Das HazMatID 360 als tragbares IR-Spektrometer hat ein Gewicht von 10,4 kg. Die beiden handgeführten Geräte verfügen über eine Akkulaufzeit von ungefähr 4 Stunden, die Akkulaufzeit beträgt beim HazMatID 360 etwa 2 Stunden. Bei einem Batterie- oder Akkuwechsel muss der

TruDefender FTX weder ausgeschaltet noch an den Netzstecker angeschlossen werden. Die beiden Smiths-Detection-Geräte müssen bei Batterie- oder Akkuwechsel nicht ausgeschaltet, jedoch durch den Netzstecker mit Strom versorgt werden. Der TruDefender FTX und das HazMatID Elite benötigen je nach Temperatur zur Herstellung der Messbereitschaft ca. 1 bis 3 Minuten. Beim HazMatID 360 beträgt diese Zeit 5 bis 10 Minuten. Die handgeführten Geräte können im Minimum bis  $-20^{\circ}\text{C}$ , der TruDefender FTX im Maximum bis  $+35^{\circ}\text{C}$  und das HazMatID Elite bis  $+50^{\circ}\text{C}$  betrieben werden. Das HazMatID 360 kann bei Temperaturen von  $-7$  bis  $+50^{\circ}\text{C}$  verwendet werden. Alle drei Geräte sind gegen relative Feuchten von 0 bis 100 % beständig. Die Geräte besitzen eine Schutzart von IP67 (HazMatID 360 nur mit geschlossenem Deckel), sie sind damit staubdicht, vollständig geschützt gegen Berührung und tauchfähig. Die beiden handgeführten Geräte entsprechen Militärstandards.

## Handhabung

Der in der Geräteoberfläche „versenkte“ Ein-/Ausschaltknopf am TruDefender FTX kann mit Schutzhandschuhen nur sehr schwer bedient werden. Das sehr gut ablesbare LCD-Display und die abgestimmte Auslösbarkeit der Tasten erleichtern die Nutzung des Gerätes auch mit Schutzkleidung. Eine Vergrößerung der Pfeiltasten könnte die Bedienung unter Schutzkleidung zusätzlich optimieren. Die aktiven Tasten für die deutschsprachige Menüführung sind beleuchtet und verfügen über PC-entlehnte Symbole, deren Funktion im Display in Worten angezeigt wird. Das Gerät besitzt eine integrierte Mulde zur Messung von Flüssigkeiten sowie eine Presse zur Verdichtung von Feststoffen. Die Ergebnisanzeige besteht aus Substanznamen, Gefahrstoffhinweisen (Gefahrstoffdiamant), Spektrum, Ergebnisgüte durch Prozentangabe und bei Gemischen aus der prozentualen Zusammensetzung. Die Ergebnisanzeige kann am Gerät intensiv individualisiert werden. Sowohl die Auswerteooptionen als auch die Menüführung sind sehr benutzerfreundlich. Das Gerät arbeitet ausschließlich mit einem Gemischerkennungsalgorithmus.

Aktive Tasten des HazMatID Elite sind beleuchtet, die sieben Tasten sind übersichtlich angeordnet und auch mit Schutzhandschuhen gut zu bedienen. Eine sehr gute Qualität des HD-LCD-Displays sowie die Ergonomie des Gerätes erleichtern eine Bedienung unter Schutzkleidung. Ein größeres Display und eine damit gesteigerte Schriftgröße würden die Verwendung des Gerätes noch verbessern. Nach betätigen des On/Off-Knopfes startet die Software automatisch, die deutschsprachige Menüführung erfolgt über Touchscreen. Das Gerät besitzt eine integrierte Mulde zur Messung von Flüssigkeiten sowie eine Presse zur Verdichtung von Feststoffen. Eine Erweiterung der Probenahme durch eine zusätzliche Probenahmeausrüstung in Form eines Touch to Sample Interfaces (TTS, Eintauchen oder Aufsetzen auf

die Probe) ist möglich. Die Ergebnisanzeige direkt am Gerät besteht aus Substanznamen, Gefahrstoffinformation (englisch) mit hoher Informationsdichte, Ergebnishüte durch Farbcodierung, Spektrendarstellungen, visueller Darstellung der Zusammensetzung von Gemischen sowie Überlagerungs- und Skalierungsfunktionen. Mit der Command-Software können die Messungen reprozessiert und erneut ausgewertet und gleichzeitig Methoden- und Messeinstellungen vorgenommen werden. Die Auswerte- und Darstellungsmöglichkeiten sind anschließend in gleichem Umfang wie beim HazMatID 360 möglich. Sowohl die Auswertoptionen als auch die Menüführung sind sehr benutzerfreundlich, da zum Text teilweise grafische Darstellungen abgebildet werden. Das Handgerät arbeitet ausschließlich mit einem Gemischerkennungsalgorithmus, nach Datenübertragung auf den Command-Laptop kann eine erneute Auswertung mit einem Einzelstoffalgorithmus durchgeführt werden.

Das HazMatID 360 verfügt über einen On/Off-Kippschalter, die weitere Bedienung findet mit einem Eingabestift über den Touchscreen statt. Die Software startet nach dem Einschalten automatisch, die Menüführung erfolgt in deutscher Sprache. Das Display ist bei voller Sonneneinstrahlung schlecht ablesbar, eine Bedienung des Touchscreens ist mit Schutzhandschuhen nur über den Eingabestift realisierbar. Zumindest der Touchscreen ist bei Dunkelheit sehr gut zu bedienen, für die Probenaufgabe wird eine zusätzliche Lichtquelle benötigt. Das Gerät besitzt keine integrierte Mulde zur Messung von Flüssigkeiten. Hierfür muss ein zusätzlicher Aufsatz verwendet werden. Die Ergebnisanzeige direkt am Gerät besteht aus Substanznamen, Gefahrstoffinformation (englisch) mit hoher Informationsdichte, Ergebnishüte durch Korrelationswert, Spektrendarstellungen, visueller Darstellung der Zusammensetzung von Gemischen sowie Überlagerungs- und Skalierungsfunktionen. Weitere Möglichkeiten können dem Evaluierungsbogen entnommen werden. Das HazMatID 360 kann sowohl mit dem Einzelstofferkennungs- als auch mit dem Gemischerkennungsalgorithmus arbeiten. Für beide HazMatID-Geräte wird eine zusätzliche Probenahmemöglichkeit angeboten. Es handelt sich um den Clear Sampler, ein mit Schutzhandschuhen gut greifbares Handstück mit Probenehmer. Das Material des Probenehmers ist nicht IR-aktiv und die Probenahme (flüssig sowie fest) kann auch auf rauen Oberflächen oder bei geringen Mengen durchgeführt werden. Die Vermessung erfolgt anschließend über den ATR-Probentisch, durch das Einspannen des Probenehmers mit dem integrierten Andruckstempel.

Eine Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist bei allen Geräten gegeben. Akustische Warnsignale sind nicht vorhanden. Bei den getesteten Geräten besteht eine Trennung zwischen Bedien- und Servicemenü, was bei ungeübten Nutzern fehlerhafte Einstellungen verhindern kann. Die Reinigung der integrierten Andruckstempel sowie des ATR-Diamanten gestaltet sich allgemein mit Schutzhandschuhen

umständlich und zeitintensiv. Der Probendurchsatz der Geräte beschränkt sich deshalb, je nach Versiertheit des Anwenders, auf eine Probe alle 2 bis 3 Minuten.

#### **4.1.8 Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Fernerkundungsgeräte sind abbildende Systeme und liefern dem Bediener ein Videobild der Umgebung. Mit diesem Bild werden die mit einem Infrarot-Spektrometer gemessenen Daten überlagert, sodass die Einsatzkräfte aus sicherer Entfernung (teilweise bis 10 km), durch eine kontinuierliche Messung, verlässliche Aussagen über die Dimensionen, die Verteilung und die Ausbreitungsrichtung der freigesetzten Gefahrstoffwolke treffen können. Mit diesen Informationen besteht die Möglichkeit, die Austrittsstelle des Gefahrstoffes zu lokalisieren. Zudem kann der Gefahrstoff – oder ein Gemisch verschiedener Gefahrstoffe – durch das Fernerkundungssystem identifiziert werden. Unter bestimmten Umständen kann der Bediener sogar eine Aussage über die Konzentration des detektierten Schadstoffes treffen. Eine Entfernungsbestimmung kann mit einem einzelnen Gerät jedoch nicht durchgeführt werden, dies ist erst durch die Nutzung zweier Systeme gleichzeitig möglich. Mittels des Infrarot-Spektrometers kann eine Vielzahl von chemischen Gefahrstoffen detektiert werden, welche jedoch die Eigenschaft der „IR-Aktivität“ besitzen müssen.

Die Technik der Fernerkundung kann bei planbaren Ereignissen eingesetzt werden, hierbei können größere Areale, z. B. bei einer Veranstaltung, überwacht werden. Aber auch ein reaktiver Einsatz ist möglich, z. B. nach einer Gefahrstofffreisetzung durch einen verunfallten Gefahrguttransport. Weiterhin besteht die Möglichkeit, z. B. Industrieanlagen permanent durch Fernerkundungssysteme überwachen zu lassen.

##### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Der Betrieb eines Fernerkundungssystems erfolgt nicht im Gefahrenbereich, sondern in sicherer Entfernung. Daher besteht keine Notwendigkeit, das System unter Schutzkleidung bedienen zu müssen. Nachfolgend sollen wichtige gerätetechnische Unterschiede von zwei getesteten mobilen FT-IR-Fernerkundungssystemen betrachtet werden: dem SIGIS 2 und dem HI 90 der Firma Bruker Optics GmbH.

Das SIGIS 2 und das HI 90 zählen zu den passiven Ferndetektionsgeräten. Dies bedeutet, dass die Geräte keinen Infrarot-Strahl aussenden, sondern die

Veränderungen der überall vorhandenen Hintergrund-IR-Strahlung auswerten. Dazu ist es notwendig, dass zwischen der zu vermessenden Gefahrstoffwolke im Überwachungsraum und dem Hintergrund eine Temperaturdifferenz von mindestens 2 K besteht. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Hintergrund und Gefahrstoffwolke, desto größer ist die Empfindlichkeit des Gerätes.

Die Beschaffungskosten liegen für das SIGIS 2 bei etwa 270.000 Euro und für das HI 90 bei etwa 560.000 Euro, wobei die Hard- und Softwarelösungen bei beiden Geräten individuell auf den Benutzer abstimmbare sind. Zusätzlich können für ca. 7.600 Euro die Möglichkeit der Dauerüberwachung und eine Kampfstoffbibliothek erworben werden. Ein Servicevertrag für das SIGIS 2 durch Bruker kostet jährlich etwa 27.000 Euro, darin enthalten sind zwei Wartungen und der „Reach-back-Service“. Für das HI 90 ist ein Servicevertrag für 2 Jahre bereits im Beschaffungspreis enthalten, der Umfang ist Verhandlungssache. Optional bietet der Hersteller für beide Geräte eine Einweisung für das Wartungspersonal für jeweils ca. 2.300 Euro an. Es fallen keine Kosten für die Gerätepflege und Kalibrierung an. Für beide Geräte kann eine Garantieverlängerung abgeschlossen werden.

Das Gewicht inkl. notwendiger Zusatzausrüstung beträgt für das SIGIS 2 etwa 66 kg und für das HI 90 etwa 78 kg. Beide Gesamtsysteme sind mit zwei Personen mit Hilfe spezieller Rollkoffer transportierbar. Es besteht die Möglichkeit, die FT-IR-Fernerkundungsgeräte fest in ein Fahrzeug zu integrieren und Messungen vom Fahrzeug aus durchzuführen. Für abgesetzte Messungen ist optional ein Akku erhältlich, der eine Laufleistung von ca. 4 Stunden garantiert. Die Betriebstemperaturen sind abhängig von der Geräteausführung und liegen max. zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  und  $49^{\circ}\text{C}$  und min. zwischen  $0^{\circ}\text{C}$  und  $40^{\circ}\text{C}$ . Die Messbereitschaft beider Geräte liegt bei einer Temperatur von  $26^{\circ}\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von 45 % bei unter 15 Minuten. Diese Zeit umfasst das Einschalten des Gerätes bis zum Starten der Messung. Die Standortwahl, das Aufstellen und Ausrichten des Gerätes sind nicht Bestandteil der Messbereitschaft, diese Zeit ist sehr individuell und kann daher nicht pauschal angegeben werden. Beide Geräte besitzen eine Schutzart von IP54, d. h. geschützt gegen Staub in schädigender Menge, gegen Berührung und gegen allseitiges Spritzwasser. Ein Feldeinsatz im Freien ist daher möglich.

Sowohl das SIGIS 2 als auch das HI 90 nutzen nur einen kleinen Teil (ca. 700 bis  $1.500\text{ cm}^{-1}$ ) des möglichen Spektralbereiches ( $600$  bis  $6.000\text{ cm}^{-1}$ ). In diesem Bereich sind die Durchlässigkeit der Atmosphäre sowie das Messsignal groß und das Signal-Rausch-Verhältnis maximal. Zudem ist dies der „Fingerprint“-Bereich (hohe Anzahl an Banden) vieler organischer Substanzen. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal beider FT-IR-Fernerkundungssysteme bildet der Detektor. Beim SIGIS 2 wird der Messbereich Punkt für Punkt (Pixel für Pixel) abgescannt, die Scanrate beträgt 16 Spektren pro Sekunde. Das bedeutet, für einen

abzuscannenden Bereich (Messfeldgröße) von 128 x 128 Pixel benötigt das SIGIS 2 ca. 17 Minuten. So wird nur ein stark zeitverzögertes Videobild erhalten. Eine Verringerung des Messbereiches verkürzt zwar die einzelne Messung (Responsezeiten), jedoch wird die Wahrscheinlichkeit zur Lokalisierung der Gefahrstoffwolke verringert. Bei dem HI 90 erfolgt die Belichtung aller Bildelemente gleichzeitig aufgrund des verbauten Focal Plane Array Detektors (17.000 Spektren/s). Dadurch wird die Spektrenaufnahme parallelisiert, das bedeutet bei einem Messbereich von 128 x 128 Pixel benötigt das HI 90 ca. 1 Sekunde um das Videobild darzustellen. Diese zeitnahe Darstellung ermöglicht eine Echtzeitmessung von Gefahrstoffwolken. Ein weiterer Unterschied ist das Sichtfeld des verwendeten Detektors bzw. der Detektorelemente eines Fernerkundungssystems. Die maximale Sensitivität (Signal zu Rauschen) der verwendeten Detektoren kann nur ausgenutzt werden, wenn die Wolke mindestens so groß ist wie das Sichtfeld eines Detektorelements. Beim SIGIS 2 muss die Ausbreitung der Wolke bei 1 km Abstand mindestens 10 m x 10 m betragen, bei 5 km bereits 50 m x 50 m. Das HI 90 dagegen kann bei einem Abstand von 5 km eine Wolke mit einer Ausdehnung von 3,5 m x 3,5 m vollständig mit einem Detektorelement erfassen, selbst bei 10 km Abstand ist eine Ausweitung von 7 m x 7 m ausreichend. Ein weiteres Merkmal ist der Beobachtungsbereich, dieser beeinflusst unter anderem die Ausrichtung des Gesamtsystems. Der Beobachtungsbereich des SIGIS 2 liegt bei  $\pm 180^\circ$  horizontal (einmal um die eigene Achse) und maximal  $\pm 60^\circ$  vertikal. Der Schwenkkopf des HI 90 kann theoretisch sich mehrfach um die eigene Achse drehen. Jedoch werden die Kabel für die Kommunikation des HI 90 außen am HI 90 angebracht, diese würden beim mehrfachen Drehen um die eigene Achse abreißen. Dadurch wird der Beobachtungsbereich ebenfalls auf  $\pm 180^\circ$  horizontal und  $90^\circ$  vertikal begrenzt. Ein weiterer Punkt, in dem sich beide Systeme gleichen, betrifft die Nachtsichtfähigkeit. Beide Systeme sind in der Lage Messungen bei Nacht durchzuführen. Hierfür besitzen beide Systeme in der aktuellen Version neben dem IR-Detektor für die Analyse eine zusätzliche IR-Kamera zur Beobachtung der Messszene bei Dunkelheit. Die erste Generation des HI 90 besaß diese Fähigkeit auch, jedoch ohne separate Kamera. Zur Beobachtung der Messszene wurde der verbaute hochauflösende FPA-Detektor (128 x 128 bzw. 256 x 256) genutzt. Besondere Arbeitsschutzbedingungen müssen bei beiden Geräten nicht beachtet werden, da diese passiv arbeiten, d.h. die Systeme senden keine optische Strahlung.

## Handhabung

Die Nutzung eines solchen Systems setzt bei Anwendern zwingend eine naturwissenschaftliche Ausbildung und die Inanspruchnahme der Herstellerschulungen für die jeweiligen Hard- und Softwaresysteme voraus. Die verschiedenen Software-Systeme sind sehr komplex gestaltet. Automatische Eigenprüfungen sowie



Kalibrierungen und Hinweise auf den Verlauf der automatischen Tests unterstützen den Nutzer bei einer korrekten Verwendung des Gesamtsystems. Werden bei einer Messung die hinterlegten Grenzwerte eines Gefahrstoffes, der Teil der Spektrenbibliothek sein muss, überschritten, erhält der Nutzer akustische sowie optische Alarmsignale. Die Identifikation eines Gefahrstoffes hängt wie bei jeder spektrometrischen Messung sehr stark von der Qualität der Spektrenbibliothek ab. Eine Erweiterung der Spektrenbibliothek durch neue Referenzspektren ist bei beiden Systemen möglich. Die Identifizierungswahrscheinlichkeit neuer Bibliothekseinträge sollte jedoch durch mehrere Probemessungen verifiziert werden. Mögliche spektrale Verschiebungen (s. Messkampagne TTS, Methylamin) können bei einer (Einsatz-)Messung eine automatische Stoffidentifikation unter Umständen unmöglich machen und so ein falsch negatives Ergebnis liefern.

#### **4.1.9 Röntgenfluoreszenzanalyse**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Im Bereich der mobilen anorganischen Analytik ist die RFA als Elementaranalyse-Verfahren in der Lage, Fähigkeitslücken der Spektrometer bei der Analyse unbekannter anorganischer Proben zu schließen. Entgegen vielen Herstellerangaben können allerdings mit portablen Systemen erst Elemente ab Ordnungszahl 13 (Aluminium) verlässlich nachgewiesen werden. Die Nachweisgrenzen bei der RFA liegen dabei unter Idealbedingungen im ppm-Bereich. Sie sind jedoch abhängig vom Element und dessen Energielinien sowie von der Beschaffenheit und Gesamtzusammensetzung der Probe. Bei feuchten Proben oder konzentrierten Lösungen kann durch die Streustrahlung eine Überdeckung der zu messenden Komponenten erfolgen.

##### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Die Evaluation erfolgte unter Berücksichtigung der anspruchsvollen Anforderungen bei Realeinsätzen (Bedienung in Schutzkleidung, Aufwand bei Gerätepflege und Wartung). Dem Projekt stand das XL2 air der Firma Thermo Fisher Scientific zur Verfügung. Es ist handgetragen einsetzbar und wiegt mit Akku 1,6 kg. Die Brutto-Anschaffungskosten liegen bei ca. 45.000 Euro. Im Standardlieferungsumfang sind Spektrenbibliotheken, Softwaresysteme (Auswertung, Remote), Kabel zur Datenübertragung (USB, RS232), Ersatzakku, SD-Kartenleser, diverses Ladezubehör, integrierte Kamera, abschließbarer und geschirmter Tragekoffer, ein geschirmtes Holster sowie ein mobiler Messtisch enthalten. Optional kann ein Labormesstisch und ein Bodenprobenschutz erworben werden.

Das Gerät ist wartungsfrei und die Kalibrierung erfolgt intern an einer Referenzprobe. Die Kosten für nötiges Verbrauchsmaterial belaufen sich auf 1 Euro/Messung. Das Messgerät ist innerhalb von 2 Minuten einsatzbereit und kann bei Temperaturen von  $-5$  bis  $+50$  °C eingesetzt werden. Das XL2 air kann mit Netzteil im Tischbetrieb oder handgetragen mit Akku betrieben werden. Die Laufleistung im Akkubetrieb liegt zwischen 4 und 8 Stunden, abhängig vom Betriebsmodus, der Filterwahl und der Anzahl der Messungen. Der Akku kann extern aufgeladen und schnell sowie werkzeuglos ersetzt werden. Die Messungen können berührungslos (durch Verpackungen) oder aufliegend durchgeführt werden. Die Probenaufgabe kann direkt oder durch Nutzung des Probenhalters bzw. im Probenfläschchen erfolgen. Die Schutzart beträgt IP54, dies impliziert auch einen Schutz gegen allseitiges Spritzwasser. Eine Wischdekontamination oder die Reinigung mit handelsüblichen Reinigern ist möglich.

## Handhabung

Eine Evaluation der Bedienbarkeit wurde an dieser Geräteklasse nicht durchgeführt, die Aussagen beruhen auf Anwendererfahrungen.

Die Bedienbarkeit unter Schutzkleidung ist nur bedingt möglich. Werden Standard-Modi verwendet, müssen keine Einstellungen am Gerät vorgenommen werden, so ist eine Bedienung unter CSA möglich. Liegen Vorabinformationen zur Probe (idealerweise ein trockener und reiner Feststoff) vor, kann mittels Standardmethode auch ein weniger versierter Nutzer (mit oder ohne CSA) aussagefähige Messungen durchführen. Die Auswertung der Ergebnisse bzw. die Prüfung auf Plausibilität und die Betrachtung der nicht durch die Software identifizierten Energielinien (Bulk) erfordert hingegen regelmäßiges Training bis hin zu einer naturwissenschaftlichen Ausbildung und ist unter Schutzkleidung nicht realisierbar.

Die Bedienstruktur des Gerätes ist anwenderfreundlich, mit Piktogrammen in Anlehnung an die PC-Technik, deutschsprachig und leicht erlernbar. Das Bedien- und das Servicemenü sind voneinander getrennt und passwortgeschützt. Auswerteparameter sowie Bibliotheken sind nicht individualisierbar. Die Messwerte und Spektren werden automatisch mit Zeitstempel und verschlüsselt gespeichert. Die Ergebnisse werden am Gerät in Form einer Elementeliste in %-Angaben oder in ppm und einer Standardabweichung (z. B.  $21\% \pm 4\% \text{ Pb}$ ) angegeben. Die Spektren müssen beim Modell XL2 air ausschließlich über den PC abgerufen werden, beim XL3t ist eine Darstellung am Display des Gerätes möglich.

Eine ausführliche Darstellung und Bewertung einzelner Parameter finden sich in den Evaluationsbögen der jeweiligen Messgeräte.

Da es sich um Röntgenstrahlung handelt, muss nach der Strahlenschutzverordnung ein Strahlenschutzbeauftragter benannt und regelmäßig weitergebildet werden. Dieser Beauftragte ist wiederum für die Schulung der Gerätenutzer hinsichtlich der Einhaltung des Strahlenschutzes verantwortlich.

#### **4.1.10 Gaschromatographie/Massenspektrometrie-Kopplung**

##### **Einsatzmöglichkeiten**

Die Gaschromatographie gehört zu den wichtigsten Analysemethoden für organische Verbindungen. Die Auftrennung komplexer Gemische beruht auf unterschiedlichen Siedepunkten der Einzelkomponenten. Die aufgetrennten Komponenten können anschließend über ein Massenspektrometer detektiert bzw. identifiziert und, bei hinterlegter Kalibrierung, auch quantifiziert werden. Die GC-MS-Kopplung als mobiles Gerät für den Feldeinsatz bietet eine robuste und universelle Detektionsmethode. In komplexer Probenumgebung können Stoffkonzentrationen bis in den unteren ng-Bereich nachgewiesen werden. Die Anwendungen sind vielfältig und beinhalten u. a. TICs, Betäubungsmittel, Explosivstoffe, chemische Kampfstoffe und Pestizide.

##### **Kurzzusammenfassung Evaluation**

Bei der Beurteilung der Evaluationsbögen wird auf allgemeine Eigenschaften, Möglichkeiten zur Sondernutzung und auf die Handhabung der Gesamtsysteme eingegangen. Dem Projekt standen 4 GC-MS-Systeme zur Verfügung. Das Hapsite ER von INFICON GmbH, das E<sup>2</sup>M und das MM2, beide von der Firma Bruker, sowie das Griffin 460 von der Firma FLIR.

Die Nettokosten für die Beschaffung von GC-MS-Geräten in der Grundausrüstung (Massenspektrometer, Gaschromatograph, Notebook incl. Software und Spektrenbibliothek, Ausrüstung zur Energieversorgung sowie evtl. Gasversorgung und Transportboxen) liegen zwischen 130.000 Euro (Griffin 460) und 250.000 Euro (MM2). Das E<sup>2</sup>M und das Hapsite ER liegen bei ca. 160.000 Euro. Je nach Auswahl der Zusatzausstattung, der Schulungsangebote oder der Garantieverlängerungsoptionen können die Zusatzkosten deutlich höher ausfallen. Deshalb sollten Problemstellungen und Messaufgaben genau definiert und Personalmöglichkeiten für eine Betreuung des Systems erörtert werden.

Die Geräte wiegen, abhängig von der Ausrüstung, zwischen 38 und 44 kg, das Tragen mit zwei Personen ist daher möglich. Eine Ausnahme bildet das Hapsite

ER, welches mit 19 kg durch eine Person (mit Rucksack) getragen werden kann. Für alle oben genannten Geräte stellen die Hersteller Transportboxen bereit. Zur Herstellung der Messbereitschaft bei unterbrochener Stromzufuhr benötigen MM2 und E<sup>2</sup>M bis zu 15 Minuten, das Griffin 460 und das Hapsite ER bis zu 30 Minuten. Das E<sup>2</sup>M sowie das MM2 nutzen als Trägergas durch Aktivkohlefilter gereinigte Umgebungsluft. Das Hapsite ER nutzt für die Trägergasversorgung integrierte (austauschbare) Stickstoffkartuschen (alternativ kann eine externe Stickstoffversorgung angeschlossen werden), das Griffin 460 wird mit externem Helium oder Wasserstoff versorgt. Die Firma FLIR bietet zur Trägergasversorgung zusätzlich einen Wasserstoffgenerator an. Die Trägergasversorgung mit definiertem und gleichbleibendem Reinheitsgrad wirkt sich unter anderem positiv auf die Empfindlichkeit (geringere Nachweisgrenzen) der Messung aus. Bei der Schutzart gibt es erhebliche Unterschiede. Während das Hapsite ER mit einem IP54 sehr gut im (Außen-)Feldeinsatz bestehen kann, sollten das MM2 (empfindlich gegen Staub) und das E<sup>2</sup>M (empfindlich gegen Staub und Spritzwasser) geschützt betrieben werden. Das Griffin 460 darf grundsätzlich nicht im Freien, sondern in mobilen Laboren oder im Fahrzeug betrieben werden. Der Transport aller Geräte durch unwegsames Gelände ist im Fahrzeug und dem dafür vorgesehenen Transportbehälter möglich. Auch die Einsatzmöglichkeiten für Sondernutzungen unterscheiden sich. Das Hapsite ER kann komplett unter Vollschutz bedient werden, beim E<sup>2</sup>M, MM2 und Griffin 460 ist dies nur beim Luftspüren (kontinuierliche Luftüberwachung) und Punktspüren (Oberflächenmessungen inkl. Wischprobenahme) möglich. Die Nutzung bei verdeckten Einsätzen ist bei allen Geräten indirekt, durch die Messung von Spurenproben vom Tatort möglich und stellt für Polizeibehörden die wichtigste Messmethode in diesem Zusammenhang dar. Das Radspüren (mobile Detektion für großflächige Bodenkontaminationen) wird nur von den Bruker-Geräten (E<sup>2</sup>M, MM2) unterstützt. Die Stromversorgung erfolgt hauptsächlich über ein Netzteil. Beim Hapsite ER gehört jedoch auch ein Akku zur Grundausstattung. Akkus sind häufig Spezialanfertigungen und müssen erfragt werden. Die Betriebstemperaturen (Grundgerät und Schaltnetzteil) liegen zwischen 5 und 40 °C, die Betriebsfeuchte bei bis zu 85 % relativer Feuchte. Da ein Massenspektrometer nur im Hochvakuum betrieben werden kann, müssen Pumpensysteme ein Vakuum von mindestens 10<sup>-4</sup> mbar (besser 10<sup>-6</sup> mbar) herstellen können. Im Hochvakuum können u. a. freie Elektronen und Ionen in der Gasphase entstehen, Zusammenstöße von Ionen untereinander werden verhindert und die Empfindlichkeit des Messsystems wird erhöht.

## Handhabung

Die mobilen GC-MS-Geräte sind so konzipiert, dass Anpassungen an der Hardware schnell und problemlos möglich sind. Vor allem unterschiedliche

Probenaufgabesysteme können ohne großen Aufwand und vor Ort den Probenbedingungen angepasst werden. Es sollte jedoch die damit verbundene zusätzliche Gewichtsbelastung berücksichtigt werden. Der Messvorgang (Parametereinstellungen, Probenreihenfolge) kann über die Gerätesoftware automatisiert werden, das ermöglicht eine hohe Effizienz und zeitnahe Ergebnisse. Die reine Messzeit für eine Probe beträgt, je nach Probenzusammensetzung, ungefähr 10 Minuten. Hinzu kommt anschließend die Zeit für die softwareunterstützte Auswertung, die von der Komplexität der Probe und dem Ausbildungsstand des Bedieners abhängt. Die externen Bedien- und Spektreninterpretations-Softwaresysteme sind bei allen genannten Geräten im Kaufpreis enthalten, da die Geräte überwiegend über einen Laptop bedient werden können. Eine Ausnahme stellt das Hapsite ER dar, die Bedienung dieses Systems erfolgt vorrangig am Gerät selbst. Alle Hersteller bieten Remote-Softwaresysteme an, hierbei sollte jedoch bedacht werden, dass eine Probenbestückung weiterhin manuell erfolgen muss. Die verschiedenen Softwaresysteme sind grundsätzlich anwenderfreundlich und logisch gestaltet. Die Herstellerschulungen für die Softwaresysteme sind, aufgrund ihrer Komplexität, zwingend erforderlich. Der generelle Aufbau und optimale Messbedingungen für GC-MS-Systeme sind sehr gut vermittelbar. Kostenpflichtige Schulungen über einfache Reparaturen und Instandhaltungsverfahren bieten die Hersteller ebenso an wie Anwenderschulungen für die unterschiedlichen Softwaresysteme. Automatische Selbsttests beim Hochfahren und interne Parameterkontrollen in verschiedenen Abstufungen überwachen die Gerätefunktionen und können einen Mess- oder Startstopp veranlassen. So kann selbst ein ungeübter Bediener mit einem vorgeschriebenen Messprogramm eine Messung durchführen. Dies sollte jedoch nicht Ziel der Verwendung von GC-MS-Geräten sein. Um ein solches Spezialgerät in vollem Umfang (bedienen, messen, auswerten, interpretieren sowie die messtechnischen Möglichkeiten ausschöpfen) nutzen zu können, ist wenigstens eine naturwissenschaftliche Ausbildung notwendig. Eine regelmäßige Anwendung bei Realeinsätzen oder Übungen, die Teilnahme an Weiterbildungen und ein reger Anwenderaustausch sind ebenso wichtig. Nur wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, kann das Potenzial von GC-MS-Systemen vollständig ausgeschöpft werden.

Die chemische Evaluation unter Laborbedingungen wurde speziell auf die Geräteklassen hin und in unterschiedlichen Laboratorien durchgeführt. Detailangaben finden sich im Kapitel der jeweiligen Geräteklasse.

Im Fokus stand während der Laborevaluation die Reaktion der verschiedenen Messverfahren auf jeweils bekannte Chemikalien bzw. bekannte Konzentrationen der applizierten Chemikalien. Es wurden nur solche Stoffe verwendet, die das Messverfahren auch detektieren konnte. Die Applikation der Chemikalien erfolgte passend zur Konstruktion des Messgeräts.

Die Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse erfolgte jeweils spezifisch für das Messverfahren, spezielle Eigenschaften konnten so passgenau beschrieben werden.

### **4.2.1 Colorimetrische Schnelltests**

#### **a) Durchführung der Testmessungen**

*Schnelltests:*

Die Testmessungen wurden 2012 vom BKA in Wiesbaden durchgeführt.

Die 16 Substanzen wurden in geeigneten Lösungsmitteln (Methanol, Aceton oder Wasser) gelöst. Zur Bestimmung der Nachweisgrenzen der einzelnen Testsätze wurden verdünnte Lösungen hergestellt:

- 100 µg Substanz, gelöst in 1 µl Lösungsmittel
- 10 µg Substanz, gelöst in 1 µl Lösungsmittel
- 1 µg Substanz, gelöst in 1 µl Lösungsmittel
- 0,1 µg Substanz, gelöst in 1 µl Lösungsmittel

Mit Wasserstoffperoxid erfolgte der Test jeweils mit 1 µl einer 10%igen sowie einer 30%igen Lösung.

Die Probenlösungen wurden in den oben genannten Mengen direkt auf den Probenehmer getropft. Nach Verdampfen des Lösungsmittels wurde mittels der Reagenzien der einzelnen Testsätze der Nachweis durchgeführt.



**Abbildung 26:** Verdünnungsreihe für TNT  
Quelle: BKA

Hierbei galt eine Detektion dann als positiv, wenn eine Farbreaktion noch zweifelsfrei zu erkennen war. Im Beispiel der Abbildung 26 ist dies bei 50 ng noch der Fall, bei 10 ng hingegen war keine klare Farbreaktion mehr erkennbar.

Zusätzlich wurde ein Test mit kristallinen Explosivstoffproben durchgeführt. Hierzu wurde das Probenmaterial direkt auf den Probenehmer aufgebracht, was den Angaben > 1000 µg entsprach.

#### Colorimeter (SEEKERe):

Die Untersuchungen wurden in den Jahren 2015/2016 vom WIS in Munster durchgeführt.

2,6-DNT, RDX und HMTD wurden in Acetonitril gelöst, auf die Swipe Cards aufgetropft und nach dem vollständigen Verdampfen des Lösungsmittels untersucht. Ammoniumnitrat und Kaliumchlorat wurden jeweils als wässrige Lösungen auf die Swipe Cards aufgetropft und feucht (jedoch kein Tropfen mehr vorhanden) untersucht.

#### b) Ergebnisse

Bei den Schnelltests wurden die Nachweisgrenzen ermittelt, beim SEEKERe nur eine Ansprechkonzentration (Konzentration oberhalb der Nachweisgrenze),

deshalb ist ein direkter Vergleich der Ergebnisse nicht möglich. Die Angaben in Klammern zeigen den jeweiligen Test an. Es wird nur erwähnt, wann ein positiver Nachweis erfolgte, auch wenn die Anwendungen mehrerer Pens, Sprays oder Kapseln bedurften.

Anmerkung: Die Ergebnisse des SEEKERe wurden unabhängig von diesem Forschungsprojekt generiert. Beim SEEKERe war die Messung eines Vertreters pro Explosivstoffgruppe ausreichend, zudem waren die Ammonium- und Perchlorat-basierten Explosivstoffgruppen für die damalige Untersuchung irrelevant. Die nachfolgende Tabelle 7 stellt die Auswertung der Laborevaluation dar.

**Tabelle 7:** Ergebnisse der Laborevaluation für Explosivstoffe

Explosivstoff	Ergebnisse Colorimeter [ $\mu\text{g}$ ]		Ergebnisse Schnelltests [ $\mu\text{g}$ ]	
	SEEKERe	IDenta	ExPen	Expray
<b>Nitroaromaten</b>				
TNT	-	1		
2,4-DNT	-	(IDenta: General IDT 0010, Lsg. 1; ExPen: Pen 1; Expray: Spray E)		
Tetryl	-			
Pikrinsäure	-	1	1.000	
		(General-IDT 0010, Lsg. 1) (ExPen: Pen 1; Expray: Spray E)		
2,6-DNT	6,9 (G 1)	-	-	
<b>Nitramine und Salpetersäureester</b>				
RDX	0,3 (G 2/3)	1	0,1 (Pen 2)	0,1 (Spray X)
HMX	-	(General-IDT 0010, Lsg. 2)		1 (Spray X)
PETN	-		0,1 (Pen 2)	1 (Spray X)
NG	-		0,1 (Pen 2)	0,1 (Spray X)
<b>Nitratbasierte Explosivstoffe</b>				
Ammoniumnitrat	27 (G 2/3)	100	> 1.000 (Pen 3)	100 (Spray I)
Harnstoffnitrat	-	(General-IDT 0010, Lsg. 3)		1 (Spray I)
Kaliumnitrat	-			100 (Spray I)



Explosivstoff	Ergebnisse Colorimeter [µg]	Ergebnisse Schnelltests [µg]		
	SEEKERE	IDenta	ExPen	Expray
<b>Ammoniumbasierte Explosivstoffe</b>				
Ammoniumnitrat	Keine Messung durchgeführt	10 (IDT 0030)	Auch bei > 1.000 µg kein Nachweis möglich (Pen AN)	K. N. e.
Ammoniumperchlorat				
<b>Harnstoffnitrat</b>				
	Kein Harnstoffnitrat-Nachweis erhältlich, nur Nitrat-Nachweis	> 1.000 (IDT 0020)	10 (Pen U)	K. N. e.
<b>Chlorat-basierte Explosivstoffe</b>				
Kaliumchlorat	210	10 (IDT 0050, beide Lsg.)	1 (Pen A)	K. N. e.
<b>Perchlorat-basierte Explosivstoffe</b>				
Ammoniumperchlorat	Keine Messung durchgeführt	K. N. e.	10 (Pen P)	K. N. e.
Kaliumperchlorat			> 1.000 (Pen P)	
<b>Peroxid-basierte Explosivstoffe</b>				
Wasserstoffperoxid 10 %	-	0,1µl (IDenta: IDT 0040; ExPen: B+)		K. N. e.
Wasserstoffperoxid 30 %	-			
HMTD	0,2 (G 5)	10 (IDT 0040)	1 (Pen B)	
TATP	-	> 1.000 (IDT 0040)		

**Legende:**

-: Keine Messung durchgeführt; K. N. e.: kein Nachweis erhältlich

## Fazit

Die unterschiedlichen chemischen Eigenschaften von Stoffen einer Explosivstoffgruppe können die Nachweisgrenze der Schnelltests stark beeinflussen.

Eine bereits bestehende Verfärbung (z. Bsp. starke Gelbfärbung bei Pikrinsäure) kann das Erkennen eines Farbumschlags erschweren oder sogar unkenntlich machen. Bei IDenta und ExPen ergaben sich beim Nachweis von Pikrinsäure starke Unterschiede in der Nachweisgrenze.

Ebenfalls auffällig war das Ergebnis von ExPen bei den Perchlorat-basierten Explosivstoffen. Während das Ammoniumperchlorat bereits im unteren  $\mu\text{g}$ -Bereich nachgewiesen wurde, war der Kaliumperchlorat-Nachweis erst im  $\text{mg}$ -Bereich positiv. Da der Perchlorat-Nachweis auf einer Redoxreaktion beruht, ergibt sich der Unterschied höchstwahrscheinlich aus der stärkeren Oxidationskraft von Ammoniumperchlorat. Auch der starke Unterschied von IDenta bei HMTD und TATP könnte auf unterschiedliche Stoffeigenschaften zurückzuführen sein. TATP besitzt pro Gramm eine geringere Anzahl an O-O-Gruppen (Peroxi-Gruppen) als HMTD, und gerade diese Peroxi-Gruppen sind die Nachweisgrundlage für den spezifischen Farbumschlag.

Die Nachweisreaktionen der unterschiedlichen Schnelltests weisen verschiedene Empfindlichkeiten auf, besonders deutlich wird dies bei Harnstoffnitrat und TATP.

Zudem decken einige Schnelltests nicht alle Explosivstoffgruppen ab (z. B. Expray), in diesem Fall muss auf ein anderes Produkt zurückgegriffen werden.

Die Ergebnisse und Interpretationen der colorimetrischen Schnelltests werden dann zuverlässig und korrekt, wenn chemische Grundkenntnisse über die jeweiligen Nachweisreaktionen sowie über die Explosivstoffe vorhanden sind und der Umgang mit den Testkits bekannt ist.

Die Nachweisgrenzen wurden unter Laborbedingungen ermittelt. Im Grenzbereich waren die Farbreaktionen in der Regel nur noch sehr schwach. In der Praxis (evtl. Verschmutzung des Probenehmers) verschiebt sich die Detektionsgrenze vermutlich nach oben.

## 4.2.2 Photoionisation

### Stoffauswahl

In den zu überprüfenden Geräten müssen die Response-Faktoren der ausgewählten Stoffe hinterlegt und der Stoff mit einer Lampenenergie von 10,6 eV ionisierbar sein. Die Stoffe müssen in der chemischen Industrie ein hohes Verwendungspotenzial besitzen, sie sollten stark unterschiedliche Dampfdrücke sowie verschiedene Polaritäten und Strukturen bzw. funktionelle Gruppen aufweisen. Es wurden folgende Stoffe ausgewählt:

- a) Aceton; Reinheit: 99,9 %, z. A. von Carl Roth
- b) Toluol; Reinheit: 99,3 %, von Sigma Aldrich
- c) Ethanol; Reinheit: 99,8 % + 1 % MEK, von Carl Roth
- d) n-Hexan; Reinheit: 99 %, z. S. von Carl Roth.

### Zu Evaluierende Messgeräte

- TIGER der Firma Ion Science Messtechnik (ISM)
- MiniRAE 3000 der Firma RAE Systems
- MultiRAE der Firma RAE Systems

### Laborgeräte für die Evaluierung

- Gasgenerator (GASLAB – rechnergesteuerte Gas-Kalibrieranlage) der Firma Breitfuss
- Infrarot-Detektor (Gasmeter FT-IR Gas Analyzer, Modell DX4015) der Firma Ansyco

### Evaluationsbedingungen

Die Messungen erfolgten im Labor unter optimalen Bedingungen. Die Temperatur sowie die relative Luftfeuchte waren definiert (siehe Auswertung Punkt 1 bis 3 der

jeweiligen Stoffe a) bis d)) und während der Messungen konstant. Die Luft-Substanz-Gemische wurden in einem geschlossenen System erzeugt, äußere Störeinflüsse konnten somit ausgeschlossen werden. Die Herstellung der Gasmischungen mit vorgegebenen Konzentrationen wurde mittels Gasgenerator realisiert. Dafür wurde die Flüssigkeit zuerst in einen Verdampfer gepumpt. Anschließend erfolgte über Massendurchflussregler die Einstellung der Substanzkonzentration mittels Verdünnung mit Reinluft definierter Luftfeuchtigkeit. Über einen Feuchtesensor konnte der Feuchtegrad permanent kontrolliert werden. Die Pumpe, die Verdampfungseinheit, die Massendurchflussregler und der Feuchtesensor wurden über eine zugehörige Software gesteuert. Das befeuchtete Luft-Substanz-Gemisch einer bestimmten Konzentration wurde anschließend in einen Infrarot-Detektor geleitet. Die über den IR-Detektor erhaltenen Konzentrationen stellten die Soll-Konzentrationen der Ergebnisse dar. Über die nachgeschaltete IR-Detektion erfolgte durch hinterlegte Kalibrierdaten die Konzentrationskontrolle des Gemisches. Unabhängig von den Messungen wurden die Kalibrierdaten des IR-Detektors mit Kalibriergasmischungen validiert.

Die Evaluierung beinhaltete 3 Hauptpunkte:

1. Nachweisgrenze für die Testsubstanzen (a–d) sowie Bestimmung des Ansprechverhaltens bei drei relativen Feuchten (rF)  
Die Angabe eines Konzentrationsbereiches resultierte aus der gerätetechnischen Begrenzung des Gasgenerators, bei Konzentrationen < 5 ppm keine exakten Werte zu generieren. Der kleinstmögliche Konzentrationsbereich lag zwischen 0 und 5 ppm. Das Ansprechverhalten wurde im Zuge dessen mitbestimmt.
2. Bestimmung der Linearität durch Messung unterschiedlicher Substanzkonzentrationen bei drei relativen Feuchten sowie gleichzeitige Bestimmung der Abweichung zur Soll-Konzentration  
Der Konzentrationsbereich lag im Minimum zwischen 10 und 20 ppm, als Maximum wurde der Einsatztoleranzwert für 4 Stunden Expositionsdauer (ETW-4) der jeweiligen Substanz ausgewählt. Die Konzentrationsmessungen wurden bei drei unterschiedlichen relativen Feuchten durchgeführt. Die Messungen beinhalteten mindestens 8 und maximal 13 Konzentrationen (Durchschnittsmesswerte). Die Generierung eines Durchschnittsmesswertes erfolgte immer aus 10 Einzelmesswerten. Die Bestimmung des Regressionsmodells erfolgte über statistische Tests nach Mandel. [69]
3. Bestimmung des Abklingverhaltens bei zwei relativen Feuchten  
Für jede Substanz wurde als Konzentration das Maximum des ETW-4 gewählt. Es wurde jeweils der geringste und höchste Luftfeuchtwert von Punkt 2

verwendet. Nach Einstellen eines stabilen Gasflusses am Gasgenerator wurden die Geräte 30 Sekunden mit dem Luft-Substanz-Gemisch beprobt. Anschließend wurde die Gemischzufuhr unterbrochen und die Zeit gemessen, bis die Messwertanzeige 3 ppm unterschritten hatte. Der Grenzwert 3 ppm wurde gewählt, da in Realeinsätzen eine PID-Anzeige von 0 ppm aufgrund von Störstoffen in der Luft unrealistisch ist. Die Generierung eines Durchschnittswertes erfolgte aus drei bis fünf Einzelmessungen.

## Auswertung

### a) Aceton

Allgemeine messtechnische Angaben:

Relative Feuchten (rF): 30, 45 und 70 %

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 60 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit).

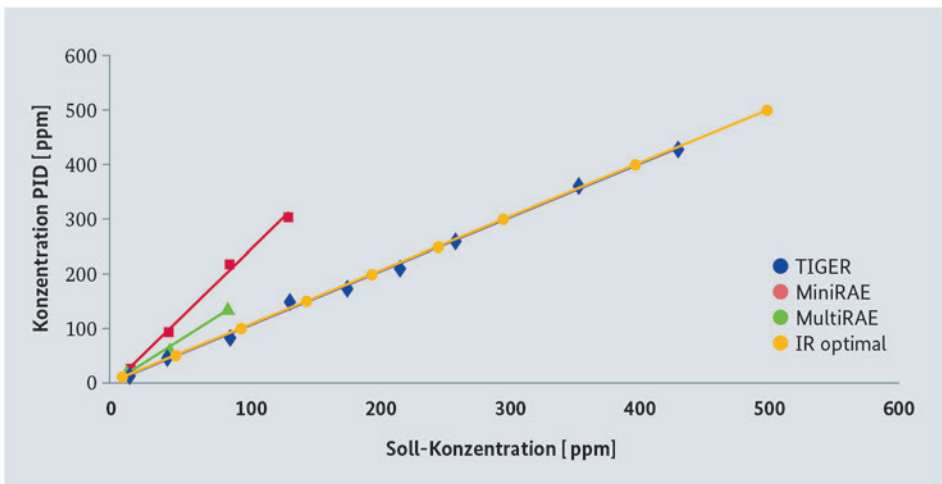
1. Nachweisgrenze sowie Ansprechverhalten:  
Alle drei Geräte sprachen in dem Konzentrationsbereich zwischen 0 und 5 ppm bei den relativen Feuchten 30, 45 und 70 % innerhalb von 1 Sekunde auf Aceton an.
2. Linearität und Abweichung zur Soll-Konzentration:  
Messbereich: 10 bis 500 ppm  
Durchschnittswerte: 9

Wie in Tabelle 8 veranschaulicht, hatte die relative Feuchte keinen Einfluss auf die mit Aceton bestimmten linearen Messbereiche des TIGER und MultiRAE. Beim MiniRAE 3000 reduzierte sich bei einer rF von 70 % der lineare Bereich leicht. Damit konnte ein geringer Einfluss der rF auf das MiniRAE 3000 nachgewiesen werden.

**Tabelle 8:** Bestimmung der linearen Messbereiche für Aceton bei unterschiedlichen relativen Feuchten

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Linearität (Soll-Konzentration)		
30	Gesamter Messbereich	Bis ~ 200 ppm	Bis ~ 100 ppm
45			
70		Bis ~ 100 ppm	

In den linearen Messbereichen zeigten die Ergebnisse der Photoionisationsdetektoren überwiegend höhere Konzentrationen als im Vergleich zu den Soll-Konzentrationen des IR-Detektors; Abbildung 27 veranschaulicht dies.

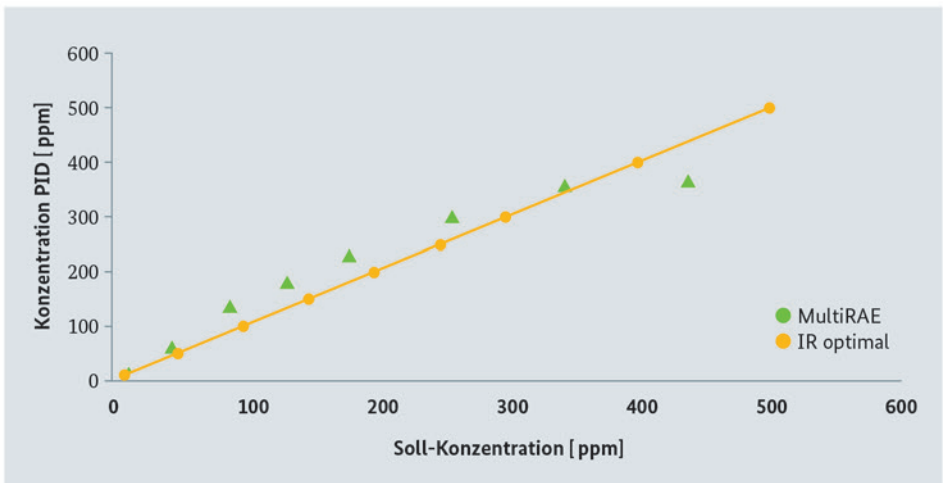
**Abbildung 27:** Photoionisationsmesswerte für Aceton bei 70 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich

In Tabelle 9 wird deutlich, dass die Abweichungen zur Soll-Konzentration beim TIGER unter 10 % lagen und mit steigender rF geringer wurden. Eine durchschnittlich 95%ige Abweichung zur Soll-Konzentration zeigte das MiniRAE 3000, darüber hinaus stieg die Abweichung mit zunehmender rF an. Beim MultiRae konnten durchschnittlich 55 % Abweichung zur Soll-Konzentration festgestellt werden. Die Abweichungen beim MultiRAE folgten keinem Trend.

**Tabelle 9:** Abweichungen der Photoionisationsergebnisse zur Soll-Konzentration für Aceton im linearen Bereich

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abweichung zur Soll-Konz. im linearen Messbereich [%]		
30	6	89	54
45	4	87	65
70	1	108	47

In Abbildung 28 war beim MultiRAE im untersuchten Luftfeuchtebereich eine Sättigung erkennbar. Diese Gegebenheit wurde durch das Abflachen der Messwerte bei einer Soll-Konzentration von etwa 200 ppm deutlich.



**Abbildung 28:** MultiRAE-Messwerte für Aceton bei 70 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich

- Abklingverhalten:
  - Konzentration: 500 ppm
  - Relative Feuchten (rF): 30 und 70 %
  - Durchschnittsmesswert: 1 (aus 3 Einzelwerten pro rF)
  - Umgebungstemperatur: 23 °C
  - Verdampfungstemperatur: 60 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

Bei allen drei Geräten konnte kein Einfluss der relativen Feuchte auf das Abklingverhalten festgestellt werden. Tabelle 10 zeigt, dass der TIGER nach weniger als 30 Sekunden und das MiniRAE 3000 nach weniger als 10 Sekunden wieder einsatzbereit waren.

Das MultiRAE konnte im Punkt Abklingverhalten nicht mit den beiden Photoionisationsdetektoren verglichen werden, da es sich um ein Mehrgasmessgerät handelt und daher mit längeren Gaswegen konzipiert wurde. Dies gilt im Folgenden auch für Punkt 3 der anderen Substanzen.

**Tabelle 10:** Abklingverhalten für Aceton bei unterschiedlicher relativer Feuchte

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abklingverhalten [s]		
30	24	9	113
70	23	9	123

## b) Toluol

Allgemeine messtechnische Angaben:

Relative Feuchten (rF): 31, 48 und 63 %

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 117 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

1. Nachweisgrenze sowie Ansprechverhalten:  
Alle drei Geräte sprachen in dem Konzentrationsbereich zwischen 0 und 5 ppm bei den relativen Feuchten 31, 48 und 63 % innerhalb von 1 Sekunde auf Toluol an.
2. Linearität und Abweichung zur Soll-Konzentration:  
Messbereich: 10 bis 310 ppm  
Durchschnittsmesswerte: 11

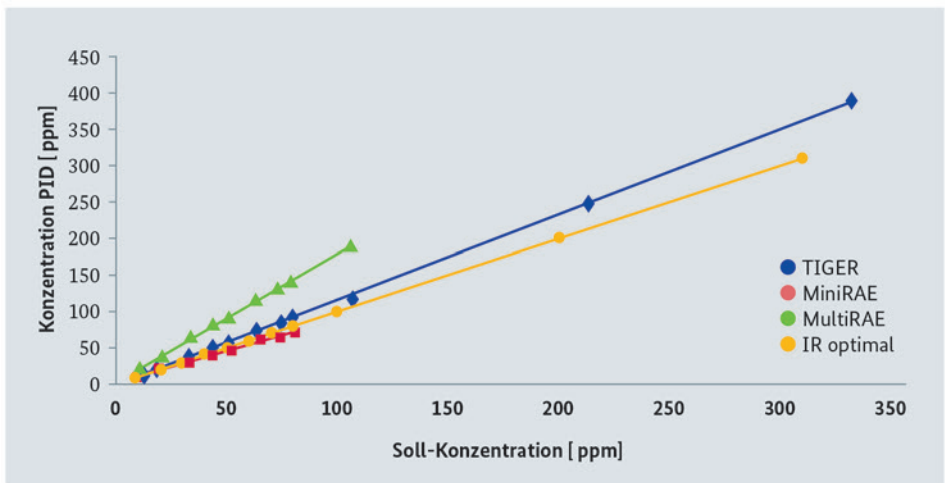


Die Ergebnisse in Tabelle 11 zeigen, dass die relative Feuchte den linearen Bereich aller drei Messgeräte nicht beeinflusste.

**Tabelle 11:** Bestimmung der linearen Messbereiche für Toluol bei unterschiedlichen relativen Feuchten

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Linearität (Soll-Konzentration)		
31	Gesamter Messbereich	Bis ~ 100 ppm	Bis ~ 100 ppm
48			
63			

In den linearen Messbereichen zeigten die Messwerte von TIGER und MiniRAE tendenziell höhere Konzentrationen als im Vergleich zu den Soll-Konzentrationen. Beim MultiRAE lagen die gemessenen Werte überwiegend unter der Soll-Konzentration des IR-Detektors. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 29 veranschaulicht.



**Abbildung 29:** Photoionisationsmesswerte für Toluol bei 63 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich

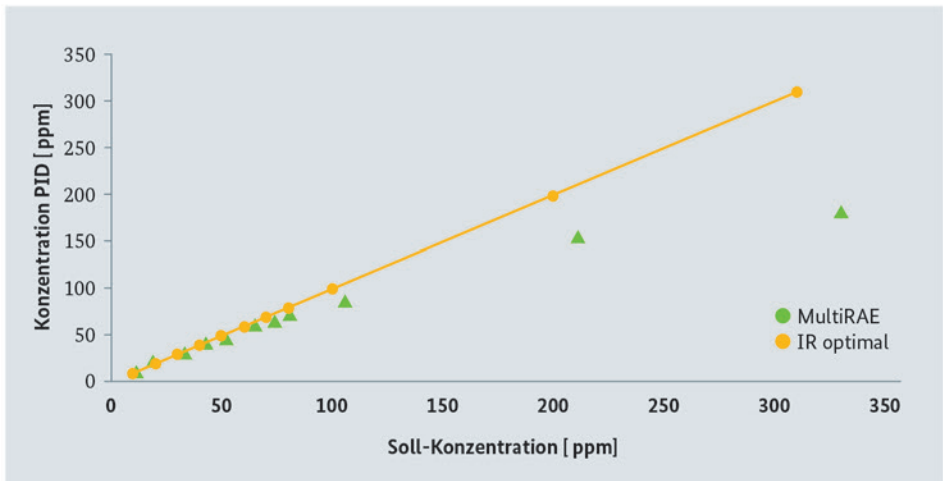
Tabelle 12 zeigt, dass die Abweichung zur Soll-Konzentration beim TIGER bei ca. 15 % lag und mit steigender rF geringer wurde. Beim MiniRAE 3000 gab es

Abweichungen von durchschnittlich 60 %, wobei die Abweichungen mit steigender rF größer wurden. Die Abweichungen zur Soll-Konzentration lagen beim MultiRAE unter 10 %, folgten mit steigender rF jedoch keinem Trend.

**Tabelle 12:** Abweichungen zur Soll-Konzentration für Toluol im linearen Bereich

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abweichung zur Soll-Konz. im linearen Messbereich [%]		
31	15	46	5
48	14	56	4
63	12	81	7

Wie in Abbildung 30 dargestellt, wurde beim MultiRAE im untersuchten Luftfeuchtebereich eine Sättigung deutlich. Diese Gegebenheit wurde durch das Abflachen der Messwerte bei einer Soll-Konzentration von etwa 80 ppm deutlich.



**Abbildung 30:** MultiRAE-Messwerte für Toluol bei 63 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich

## 3. Abklingverhalten:

Konzentration: 310 ppm

Relative Feuchten (rF): 31 und 63 %

Durchschnittsmesswert: 1 (aus 3 Einzelwerten pro rF)

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 117 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

Bei allen drei Geräten konnte kein Einfluss der relativen Feuchte auf das Abklingverhalten festgestellt werden.

Die Werte in Tabelle 13 zeigen, dass der TIGER nach < 1 Minute und das MiniRAE 3000 nach weniger als 10 Sekunden wieder einsatzbereit waren.

**Tabelle 13:** Abklingverhalten für Toluol bei unterschiedlicher relativer Feuchte

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abklingverhalten [s]		
31	50	6	255
63	50	6	259

## c) Ethanol

Allgemeine messtechnische Angaben:

Relative Feuchten (rF): 30, 43 und 60 %

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 83 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

## 1. Nachweisgrenze sowie Ansprechverhalten:

Alle drei Geräte sprachen in dem Konzentrationsbereich zwischen 0 und 5 ppm bei den relativen Feuchten 30, 43 und 60 % innerhalb von 1 Sekunde auf Ethanol an.

2. Linearität und Abweichung zur Soll-Konzentration:

Messbereich: 20 bis 3.000 ppm

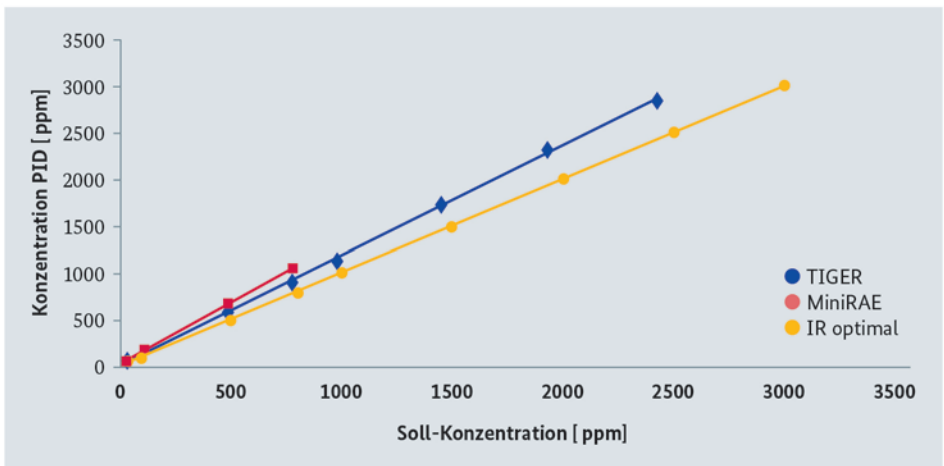
Messwerte: 8

Beim TIGER beeinflusste die relative Feuchte den linearen Bereich marginal. Beim MiniRAE 3000 wirkte sich die steigende rF deutlich negativ auf die Linearität aus. Das MultiRAE wies bei Ethanol keine Linearität im Messbereich auf. Eine Übersicht bietet Tabelle 14.

**Tabelle 14:** Bestimmung der linearen Messbereiche für Ethanol bei unterschiedlichen relativen Feuchten

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Linearität (Soll-Konzentration)		
30	Bis ~ 2.500 ppm	Bis ~ 800 ppm	-
43	Bis ~ 2.400 ppm		
60		-	

Aus Abbildung 31 wird deutlich, dass die Ergebnisse der Photoionisationsmesswerte in den linearen Messbereichen tendenziell höhere Konzentrationen als im Vergleich zu den Soll-Konzentrationen des IR-Detektors anzeigten.



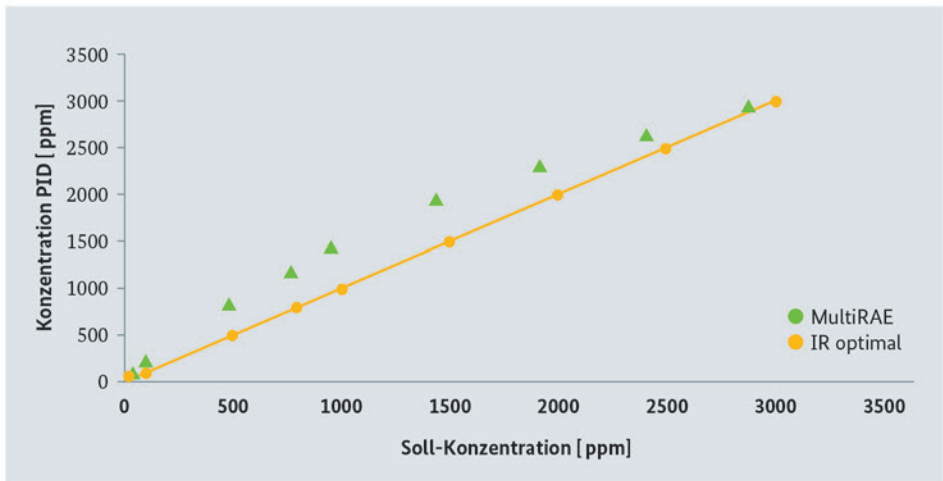
**Abbildung 31:** Photoionisationsmesswerte für Ethanol bei 43 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich

Wie die Werte in Tabelle 15 zeigen, lagen die Abweichungen zur Soll-Konzentration beim TIGER durchschnittlich bei 25 %, beim MiniRAE 3000 gab es Abweichungen von durchschnittlich 45 %. Die Trends der beiden Geräte verliefen gegenläufig.

**Tabelle 15:** Abweichungen für Ethanol zur Soll-Konzentration im linearen Bereich

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abweichung zur Soll-Konz. im linearen Messbereich [%]		
30	31	30	–
43	20	59	–
60	21	–	–

In Abbildung 32 zeichnet sich beim MultiRAE im untersuchten Luftfeuchtebereich eine beginnende Sättigung ab. Diese Gegebenheit wurde durch das Abflachen der Messwerte bei einer Soll-Konzentration von etwa 1.500 ppm deutlich.



**Abbildung 32:** MultiRAE-Messwerte für Ethanol bei 60 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich

## 3. Abklingverhalten:

Konzentration: 3.000 ppm

Relative Feuchten (rF): 30 und 60 %

Durchschnittsmesswert: 1 (aus 5 Einzelwerten pro rF)

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 83 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

Bei allen drei Geräten konnte kein Einfluss der relativen Feuchte auf das Abklingverhalten festgestellt werden.

Die Werte in Tabelle 16 zeigen, dass der TIGER nach weniger als 60 Sekunden und das MiniRAE 3000 nach weniger als 15 Sekunden wieder einsatzbereit waren.

**Tabelle 16:** Abklingverhalten für Ethanol bei unterschiedlicher relativer Feuchte

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abklingverhalten [s]		
30	55	14	136
60	59	13	134

## d) n-Hexan

Allgemeine messtechnische Angaben:

Relative Feuchten (rF): 31, 45 und 63 %

Umgebungstemperatur: 23 °C

Verdampfungstemperatur: 74 °C

Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

## 1. Nachweisgrenze sowie Ansprechverhalten:

Alle drei Geräte sprachen in dem Konzentrationsbereich zwischen 0 und 5 ppm bei den relativen Feuchten 31, 45 und 63 % innerhalb von 1 Sekunde auf n-Hexan an.

## 2. Linearität und Abweichung zur Soll-Konzentration:

Messbereich: 20 bis 2.900 ppm

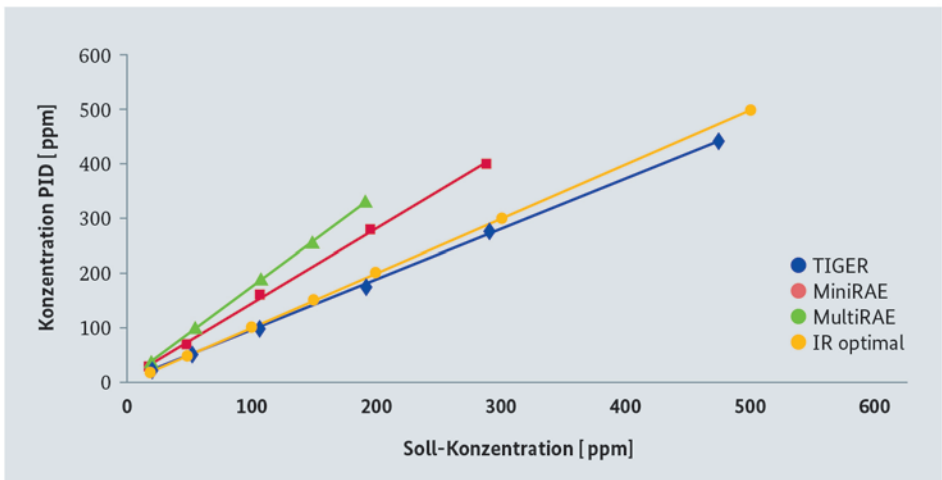
Durchschnittsmesswerte: 13

Durch Tabelle 17 wird der Luftfeuchteinfluss auf die Messgeräte deutlich. Beim TIGER beeinflusste die relative Feuchte den linearen Bereich nicht. Beim MiniRAE 3000 und beim MultiRAE wirkte sich die steigende rF negativ auf die Linearität aus.

**Tabelle 17:** Bestimmung der linearen Messbereiche für n-Hexan bei unterschiedlichen relativen Feuchten

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Linearität (Soll-Konzentration)		
31	Bis ~ 500 ppm	Bis ~ 300 ppm	Bis ~ 200 ppm
45			-
63		Bis ~ 200 ppm	

Die Ergebnisse im linearen Bereich tendierten beim TIGER hin zu geringeren Konzentrationen. Die RAE-Systems-Geräte zeigten zu hohe Konzentrationen an, Abbildung 33 veranschaulicht dieses Verhalten.



**Abbildung 33:** Photoionisationsmesswerte von n-Hexan bei 31 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich

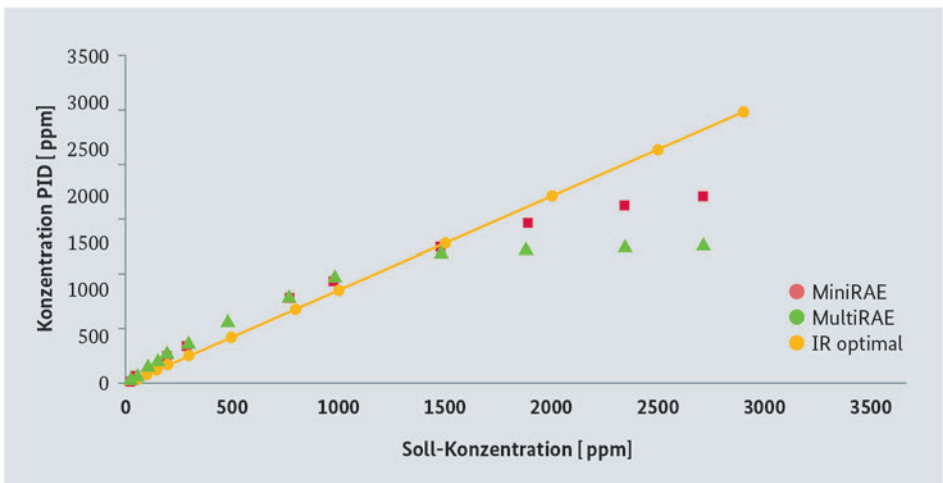
Die Abweichung zur Soll-Konzentration lag beim TIGER unter 5 %, bei den REA-Systems-Geräten zwischen ~ 50 und 100 %. Mit steigender relativer Feuchte wurde beim TIGER die Abweichung zur Soll-Konzentration geringer. Das MiniRAE zeigte einen gegenläufigen Trend.

Tabelle 18 fasst die Ergebnisse zusammen.

**Tabelle 18:** Abweichungen für n-Hexan zur Soll-Konzentration im linearen Bereich

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abweichung zur Soll-Konz. im linearen Messbereich [%]		
31	4	49	77
45	1	65	–
63	1	107	

In Abbildung 34 zeigt sich eine beginnende Sättigung bei den RAE-Systems-Geräten. Diese Gegebenheit wurde durch das Abflachen der Messwerte bei einer Soll-Konzentration von etwa 1.000 ppm deutlich.



**Abbildung 34:** MultiRAE-Messwerte für n-Hexan bei 31 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich



3. Bestimmung des Abklingverhaltens bei zwei relativen Feuchten:  
 Konzentration: 2.900 ppm  
 Relative Feuchten (rF): 31 und 63 %  
 Durchschnittsmesswert: 1 (aus 3 Einzelwerten pro rF)  
 Umgebungstemperatur: 23 °C  
 Verdampfungstemperatur: 74 °C  
 Nullgasstrom: 2 l/min (Luft mit definiertem Durchfluss als Trägergas für die zu verdampfende Flüssigkeit)

Bei allen drei Geräten konnte kein Einfluss der relativen Feuchte auf das Abklingverhalten festgestellt werden. Die Werte in Tabelle 19 zeigen, dass der TIGER nach 2.30 Minuten und das MiniRAE 3000 nach weniger als 20 Sekunden wieder einsatzbereit waren.

**Tabelle 19:** Abklingverhalten für n-Hexan bei unterschiedlichen relativen Feuchten

Gerät	TIGER	MiniRAE 3000	MultiRAE
rF [%]	Abklingverhalten [s]		
31	152	18	255
63	145	17	259

## Fazit

### Ansprechverhalten

Alle drei Geräte reagierten auf die untersuchten Chemikalien Aceton, Toluol, Ethanol und n-Hexan bei Konzentrationen < 5 ppm deutlich und ohne Verzögerung. Dieses sofortige Ansprechen auf den Gefahrstoff gibt den Einsatzkräften die Möglichkeit, die Gefahrstoffkonzentration ohne Verzögerung im Einsatzbereich messen zu können.

### Linearität und Abweichung

Zeigt ein Messgerät einen linearen Verlauf der Ergebnisse an, kann in diesem Bereich von einer konstanten Empfindlichkeit des Messgerätes ausgegangen werden. Zudem können weitere Messergebnisse im linearen Bereich leichter abgeschätzt werden.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zeigte sich, dass der TIGER den ausgeprägtesten linearen Bereich bei allen untersuchten Chemikalien aufwies. Bei den RAE-Systems-Geräten konnte das MiniRAE 3000 größere lineare Bereiche aufweisen. Eine Abhängigkeit der Linearität von der rF konnte beim TIGER nicht nachgewiesen werden. Bei den RAE-Systems-Geräten konnte nur ein geringer Einfluss auf die Linearität der Messergebnisse nachgewiesen werden. Einen Einfluss der rF auf die Soll-Konzentration konnte bei allen Geräten nachgewiesen werden. Der TIGER zeigte bei drei der vier untersuchten Chemikalien die niedrigste Abweichung zur Soll-Konzentration, die Abweichung lag nie höher als 30 %. Gleichzeitig sank die Abweichung mit steigender rF. Dieser Trendverlauf ist von Vorteil, da laut DWD in Deutschland im Jahresdurchschnitt eine rF von 75 % vorliegt, somit können bei diesen Bedingungen gute Messwerte erzeugt werden. Die Abweichungen der REA-Systems-Geräte streuten stark und lagen teilweise bei > 100 %. Beim MiniRAE 3000 stieg die Abweichung zur Soll-Konzentration mit der rF, beim MultiRAE konnte aufgrund der geringen linearen Bereiche keine Trendaussage getroffen werden.

Die Untersuchungen wurden unter idealen Laborbedingungen durchgeführt, da bestehende Abweichungen sich unter Realbedingungen, z. B. bei Störstoffen in der Luft, vergrößern würden. Deshalb sollten die Konzentrationsabweichungen zu den Soll-Konzentrationen so gering wie möglich sein, um Messungenauigkeiten zu reduzieren. Eine tendenziell höhere Messwertanzeige von 10 bis 20 % bietet einen zusätzlichen Schutz für die Einsatzkräfte.

### **Abklingverhalten**

Ist das Messgerät in der Lage, den Gefahrstoff sehr schnell aus seinen Gaswegen zu befördern, so können mehr Messungen in einem gewissen Zeitraum durchgeführt werden. Dadurch wird die Genauigkeit der Einsatzlage erhöht, das wiederum erleichtert die Maßnahmenenergreifung.

Der MiniRae3000 konnte dank seiner leistungsstarken internen Pumpe die Einsatzbereitschaft innerhalb von 20 Sekunden oder schneller, unabhängig von der Konzentration oder Art der Chemikalie, wiederherstellen. Beim TIGER dagegen kam es bei Ethanol und n-Hexan, trotz annähernd identischer Konzentration (3.000 bzw. 2.900 ppm), zu einem sehr unterschiedlichen Abklingverhalten. Möglicherweise ist hierfür eine stärkere Adsorption von n-Hexan an unpolaren Kunststoffteilen im Gasweg verantwortlich.

Bei keinem der drei Geräte hatte die rF einen Einfluss auf das Abklingverhalten.

## Sättigung

Das MultiRAE zeigte bei allen untersuchten Stoffen im überprüften Konzentrationsbereich ausgeprägte Sättigungserscheinungen. Beim MiniRAE war dies bei n-Hexan der Fall. Befindet sich ein Messgerät im Sättigungsbereich für einen Stoff, kann keine korrekte Konzentrationsbestimmung mehr erfolgen. Die Konzentrationsanzeige würde trotz steigender Stoffkonzentration in der Luft relativ konstant bleiben.

### 4.2.3 IMS für Gase und Dämpfe

#### Stoffauswahl

Die Evaluation der Laborergebnisse umfasste ausschließlich chemische Kampfstoffe, da diese Stoffe neben einer Reihe toxischer Industriechemikalien, Betäubungsmitteln und Explosivstoffen eines der Hauptanwendungsgebiete für die IMS-Technologie ist.

Weiterführende Informationen zum Thema chemische Kampfstoffe befinden sich in Anhang 1.

Als Vertreter der Nervenkampfstoffe wurden Sarin, Soman, Tabun und VX ausgewählt. Diese Stoffe sind von unterschiedlicher chemischer Struktur und weisen daher verschiedene chemisch-physikalische Eigenschaften auf. Ohne medizinische Versorgung führen bereits geringe Konzentrationen zum Tod.

Als Vertreter der Hautkampfstoffe wurden S-Lost und Lewisit ausgewählt. Hautschädigende Kampfstoffe sollen die Betroffenen für längere Zeit außer Gefecht setzen oder zu tödlichen Vergiftungen führen. Letzteres tritt vor allem bei der Anwendung von Aerosolen oder hohen Gaskonzentrationen auf. Aufgrund des hohen Standes chemischer Schutzmaßnahmen steht jedoch die zeitweilige Außer-Gefechtsetzung des Gegners im Vordergrund.

Nerven- und Hautkampfstoffe sind in ihren Ausbringungsmöglichkeiten vielfältig und zeigen eine breite Anwendbarkeit (klimaunabhängig). Zudem wurden sie in aktuellen Konflikten oder terroristischen Anschlägen zum Einsatz gebracht.

## Geräte

- RAID-M100 und  $\mu$ RAID der Firma Bruker
- LCD 3.3 und LCD Nexus der Firma Smiths Detection

## Evaluationsbedingungen

Da sich die Geräte bereits seit mehreren Jahren auf dem Markt befinden, kann auf Ergebnisse früherer Berichte und Untersuchungen zurückgegriffen werden, die jedoch teilweise unterschiedliche Zielstellungen hatten. Alle Untersuchungen wurden vom Wehrwissenschaftlichen Institut für Schutztechnologien (WIS) durchgeführt.

Sarin-, Soman- und Tabunkonzentrationen wurden jeweils mittels Permeation über Kampfstoffgeneratoren erzeugt. S-Lost-Konzentrationen wurden mit der Blasenbeladungsmethode erzeugt – VX-Konzentrationen wurden mit einem temperierbaren Kapillarofen hergestellt. Die genaue Konzentrationsbestimmung der bisher genannten Kampfstoffe erfolgte gaschromatographisch. Lewisitkonzentrationen wurden durch Permeation erzeugt, wobei die Permeationspatrone kontinuierlich gewogen und die Konzentration im Gasgenerator berechnet wurde. Alle Kampfstoffkonzentrationen wurden den Messgeräten in gereinigter Luft zugeführt. Die Ansprechzeit sollte 60 Sekunden nicht überschreiten. Die spezifischen Messbedingungen werden bei der Auswertung für jedes Gerät gesondert angegeben.

Aufgrund der hohen Sicherheitsvorkehrungen und der Generierung extrem kleiner Konzentrationen ist die Überprüfung von Messtechnik mit chemischen Kampfstoffen äußerst aufwendig und langwierig. Die Prüfkonzentrationen wurden in Beschaffungsverfahren festgelegt und entsprechen den Konzentrationen der AEGL 3 oder AEGL 2. AEGL (Acute Exposure Guideline Level) sind Spitzenkonzentrationswerte, welche die Auswirkungen von Schadstoffen auf die Bevölkerung (ohne Schutzausrüstung) abschätzen sollen. Der von der Feuerwehr verwendete ETW-4 (Einsatztoleranzwert für 4 Stunden) entspricht dem AEGL 2 für 4 Stunden. Die ETW-4 legen fest, bis zu welcher Stoffkonzentration bei einer Einwirkzeit von 4 Stunden ein Mensch (ohne Schutzausrüstung) keine schwerwiegenden oder länger andauernden gesundheitlichen Schäden erleidet.

## Ergebnisse

In der folgenden Tabelle 20 wird die Identifikation der chemischen Kampfstoffe für die untersuchten Geräte dargestellt.

**Tabelle 20:** Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer

Kampfstoff (NATO-Abk.)	Prüfkonzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	AEGL/Expositionszeit [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
<b>RAID-M 100</b>					
Sarin (GB)	≤ 0,04	AEGL 2/30 min	31	7	1 Balken GB
Soman (GD)	≤ 0,05	AEGL 3/8 h	58	4	1 Balken GD
Tabun (GA)	≤ 0,13	AEGL 3/8 h	43	7	1 Balken GA
VX*	≤ 0,03	AEGL 3/10 min	37	6	1 Balken VX
S-Lost (HD)	≤ 0,40	AEGL 2/10 min	8	8	1 Balken HD
Lewisit (L)	0,3	AEGL 2/30 min	45	5	1 Balken L
<b>μRAID</b>					
Sarin (GB)	≤ 0,04	AEGL 2/30 min	30	12	1 Balken GB
Soman (GD)	≤ 0,05	AEGL 3/8 h	43	14	1 Balken GD
Tabun (GA)	≤ 0,13	AEGL 3/8 h	-**	-	Keine Anzeige
VX*	≤ 0,03	AEGL 3/10 min	41	20	1 Balken VX
S-Lost (HD)	≤ 0,40	AEGL 2/10 min	-**	-	Keine Anzeige
Lewisit (L)	0,3	AEGL 2/30 min	-**	-	Keine Anzeige
<b>LCD 3.3</b>					
Sarin (GB)	0,03	AEGL 2/60 min	10	N. v.	1 Balken GB
Soman (GD)	0,03	AEGL 2/10 min	5	N. v.	1 Balken GD
Tabun (GA)	0,06	AEGL 2/30 min	10	N. v.	1–2 Balken GA
VX*	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.
S-Lost (HD)	0,40	AEGL 2/10 min	10	N. v.	1–2 Balken HD
Lewisit (L)	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.
<b>LCD Nexus</b>					
Sarin (GB)	0,08	AEGL 2/10 min	3	2	3 Balken GB
Soman (GD)	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.
Tabun (GA)	0,13	AEGL 3/8 h	1	3	4 Balken GA

Kampfstoff (NATO-Abk.)	Prüfkonzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	AEGL/Expositionszeit [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
VX*	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.
S-Lost (HD)	1,03	AEGL 3/60 min	3	3	3 Balken HD
Lewisit (L)	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.	N. v.

**Legende:**

\* Konzentrationen < 0,03 mg/m<sup>3</sup> sind gerätetechnisch schwer zu realisieren

\*\* Messung nach 60 Sekunden beendet

N. v.: nicht verfügbar

**Auswertung****RAID-M 100**

Alle zugeführten Kampfstoffe wurden korrekt identifiziert und mit 1 Balken angezeigt. Die Ansprechzeit war stets < 60 Sekunden.

Die Prüfungen wurden bei 22 °C ± 2 °C, einer relativen Luftfeuchte von 70 bis 75 % und im Zeitraum 7.9.2015 bis 9.10.2015 durchgeführt.

**μRAID**

Tabun, S-Lost und Lewisit konnten innerhalb der Prüfkonzentrationen und der Detektionszeit (60 Sekunden) nicht identifiziert werden. Die Kampfstoffe Sarin, Soman und VX wurden innerhalb der 60 Sekunden korrekt identifiziert und mit einem Balken angezeigt. Messbedingungen und Zeitraum: s. RAID-M 100.

**LCD 3.3**

Alle zugeführten Kampfstoffe wurden, innerhalb von 10 Sekunden korrekt identifiziert. Sarin und Soman wurden mit einem Balken angezeigt. Die Anzeige von 1 bis 2 Balken lässt vermuten, dass auch geringere Konzentrationen detektiert werden können.

VX und Lewisit waren nicht Bestandteil der damaligen Untersuchung.

Die Prüfungen wurden bei Raumtemperatur, einer relativen Luftfeuchte von 60 % und im Zeitraum 2006/2007 durchgeführt.

## LCD Nexus

Das LCD Nexus ist baugleich mit dem LCD 3.3, mit dem Unterschied, dass ein zusätzlicher acetongedoppter Slave-Detektor Querempfindlichkeiten, die beim LCD 3.3 bekannt sind, unterdrücken soll. Das Ansprechen auf möglichst geringe Prüfkonzentration stand nicht im Vordergrund.

Die drei zugeführten Kampfstoffe Sarin, Tabun und S-Lost konnten innerhalb von 10 Sekunden korrekt identifiziert werden. Die hohe Balkenanzeige lässt vermuten, dass bereits weitaus geringere Konzentrationen als die Prüfkonzentrationen identifiziert werden können.

In Bezug auf die Querempfindlichkeiten zeigten die Ergebnisse, dass trotz des Slave-Detektors dennoch Fehlalarme ausgelöst wurden. Zum Beispiel erzeugte AFFF (Schaumlöschmittel) bei dem LCD 3.3 eine Querempfindlichkeit zum Tabun. Bei dem LCD Nexus wurde diese Querempfindlichkeit zwar unterdrückt, jedoch trat nun ein TIC-Fehlalarm auf. Ebenso erzeugte Diisopropylmethylphosphonat (DIMP) Fehlalarme, die zwar beim LCD 3.3 bekannt sind, beim Nexus aber eigentlich unterdrückt werden sollten. Bei allen anderen Analytgasen konnten keine Querempfindlichkeiten festgestellt werden. Die Unterdrückung der Querempfindlichkeiten bezieht sich jedoch nur auf den positiven Messmodus.

Die Prüfungen wurden bei Raumtemperatur, einer relativen Luftfeuchte von 60 bis 80 % und im Zeitraum 2010/2011 durchgeführt.

## Fazit

Mit steigender Empfindlichkeit der Messgeräte für chemische Kampfstoffe steigt häufig auch das Risiko für Querempfindlichkeiten. Gerade für VX ist jedoch eine hohe Empfindlichkeit der Messgeräte zum Schutz der Einsatzkräfte extrem wichtig. Die V-Stoffe sind extrem schwerflüchtig und bilden nur geringe Konzentrationen in der Umgebungsluft. Diese geringen Konzentrationen sind für die heute verfügbare Messtechnik nur schwer zu erfassen, weshalb die Nachweisgrenze im Bereich der AEGL-3-Werte für 10 Minuten liegt. Das bedeutet jedoch nicht, dass bei einem Alarm akute Gefahr für Einsatzkräfte ohne Atemschutz besteht. Diese Konzentrationen werden von guten Messgeräten unter einer Minute detektiert und es erfolgt ein Alarm bzw. eine Anzeige am Gerät, sodass genug Zeit bleibt, sich selbst mit geeigneten Maßnahmen (bspw. Anlegen einer Schutzmaske mit Filter) zu schützen.

Mit den Prüfkonzentrationen der Kampfstoffe konnten das RAID-M 100, das  $\mu$ RAID sowie das LCD 3.3 im unteren Nachweisbereich beprobt werden, dies wird aufgrund der Anzeige von maximal 1 bis 2 Balken deutlich. Die Ansprüche an Ionenmobilitätsspektrometer zur Identifikation chemischer Kampfstoffe sollten Folgendes berücksichtigen: Empfindlichkeiten maximieren, Querempfindlichkeiten minimieren und bestmöglich dokumentieren und eine klare unmissverständliche Anzeige der Ergebnisse realisieren. Zudem sollten die Einsatzkräfte im Bereich (chemischer) Kampfstoffe sensibilisiert und geschult werden, um dem Eigenschutz gerecht zu werden und eventuell unnötige Vorsichtsmaßnahmen zu vermeiden.

#### 4.2.4 IMS für Explosivstoffe und Betäubungsmittel

##### Stoffauswahl

Die Evaluation der Laborergebnisse umfasste Explosivstoffe folgender Gruppen:

- Anorganische Nitrate: Ammoniumnitrat (AN)
- Aromatische Nitroverbindungen: 2,4-Dinitrotoluol (DNT), 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT)
- Nitramine und Salpetersäureester: Nitropenta (PETN), Nitroglycerin (NG), Methylpirkylnitramin (Tetryl), Hexogen (RDX), Octogen (HMX)
- Peroxid-basierte Explosivstoffe: Triacetontriperoxid (TATP), Hexamethyltriperoxididiamin (HMTD).

Weiterhin wurden die Mindestansprechkonzentrationen von Betäubungsmitteln bestimmt:

- DL-Amfetaminsulfat, Cocain-HCl, Heroin-HCl, 3,4-Methylendioxyamfetamin-Hydrochlorid (MDA-HCl), 3,4-Methylendioxyethylamfetamin-Hydrochlorid (MDEA-HCl), 3,4-Methylendioxymetamfetamin-Hydrochlorid (MDMA-HCl), Metamfetamin-HCl, delta-9-Tetrahydrocannabinol (THC)



## Geräte

- Das MobileTrace und der Itemiser DX sowie 4DX der Firma SAFRAN (Morpho)
- Der SABRE 4000\* und das IONSCAN 500DT\*\* der Firma Smiths Detection
- Der DE-tector der Firma Bruker Detection

\* Upgrade-Version vom SABRE 2000

\*\* Expertenvariante zum IONSCAN 600

## Evaluationsbedingungen

Da sich die Geräte bereits seit mehreren Jahren auf dem Markt befinden, kann auf Ergebnisse früherer Berichte und Untersuchungen zurückgegriffen werden. Alle Untersuchungen wurden vom Bundeskriminalamt in Wiesbaden (BKA) durchgeführt.

Für die Erfassung von Sprengstoffspuren und Betäubungsmitteln werden lediglich sehr geringe Mengen (ng-Bereich) an Substanz benötigt, deshalb wurden Lösungen mit definierten Konzentrationen der jeweiligen Explosivstoffe hergestellt. Als Lösungsmittel diente Wasser für Ammoniumnitrat und Methanol oder Acetonitril für alle weiteren Explosivstoffe. Für die Betäubungsmittel wurde ausschließlich Methanol als Lösungsmittel eingesetzt. Anschließend wurde eine bestimmte Menge Lösung auf verschiedene Oberflächen pipettiert und gewartet, bis das Lösungsmittel vollständig verdunstet bzw. eingetrocknet war. Dieses Vorgehen ermöglichte die Bestimmung eines Mindestansprech-Konzentrationsbereichs für die einzelnen Geräte.

Bei den Oberflächen handelte es sich um den dazugehörigen Probennehmer des jeweiligen Gerätes, um einen Glsträger sowie um Papier. Die Glasoberfläche wurde vor der Beprobung gereinigt. Für jede Messung wurde ein neuer Glsträger verwendet. Alle Probennehmer unterschiedlichen Materials wurden durch eine Blindmessung auf ihre Reinheit geprüft. Der gerätespezifische Probennehmer konnte nach der Beprobung direkt analysiert werden. Die Glas- und Papieroberflächen wurden nach dem Verdampfen bzw. nach dem Eintrocknen des Lösungsmittels mit dem Probennehmer beprobt und anschließend im Gerät analysiert. Mit diesem Vorgehen sollte die Probenahme von unterschiedlichen Oberflächen nachgestellt werden.

## Ergebnisse für Explosivstoffe

In der folgenden Tabelle 21 wird die Identifikation der Explosivstoffe für die untersuchten Geräte dargestellt.

**Tabelle 21:** Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer Explosivstoffe von 2009

Oberfläche	Explosivstoffe [ng]									
	AN	DNT	TNT	PETN	NG	Tetryl	RDX	HMX	TATP	HMTD
<b>MobileTrace</b>										
Probenehmer	100	300	0,5	50	10	100	5	2.000	2.000	200
Glas	1.000	-	5	500	-	-	5	2.000	-	-
Papier	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>SABRE 4000</b>										
Probenehmer	-	-	500	50	1.000	100	50	2.000	4.000	2.000
Glas	1.000	-	50	50	-	1.000	50	-	-	-
Papier	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Itemiser DX, radioaktive Quelle</b>										
Probenehmer	10	3	0,5	0,5	1	10	0,5	20	200	200
Glas	100	30	0,5	0,5	10	10	0,5	200	2.000	200
Papier	1.000	300	500	500	100	1.000	500	-	2.000	2.000
<b>IONSCAN 500DT</b>										
Probenehmer	100	300	0,5	5	10	10	0,5	20	2.000	200
Glas	1.000	300	5	5	10	10	0,5	20	-	200
Papier	-	-	500	500	100	-	500	2.000	-	2.000

**Tabelle 22:** Ergebnisse DE-tector Explosivstoffe von 2016

Oberfläche	Explosivstoffe [ng]						
	AN	TNT	NG	RDX	HMX	TATP	HMTD
<b>DE-tector</b>							
Probenehmer	100	10	1	100	100	1.000	100
Glas	1	100	100	10	100	1.000	100
Papier	–	–	–	–	–	1.000	–

**Tabelle 23:** Ergebnisse Itemiser 4DX Explosivstoffe von 2017

Oberfläche	Explosivstoffe [ng]								
	AN	TNT	PETN	NG	Tetryl	RDX	HMX	TATP	HMTD
<b>Itemiser 4DX</b>									
Probenehmer	5	0,5	1	10	1	0,5	10	200	600
Glas	100	1	5	1.000	10	5	100	–	–
Papier	–	1.000	–	–	–	1.000	–	–	–

**Legende:**

–: Substanz konnte mit der jeweiligen Maximalmenge nicht nachgewiesen werden. ● Anorganische Nitrate, ● Nitroaromaten, ● Nitramine und Salpetersäureester, ● Peroxid-basierte Explosivstoffe

**Auswertung für Explosivstoffe**

Es wurden unterschiedlich viele Lösungen mit verschiedenen Konzentrationen hergestellt:

Tabelle 1: 0,5–4.000 ng

Tabelle 2: 1–1.000 ng

Tabelle 3: 0,5–3.000 ng.

Mengen über 4.000 ng hätten einen unverhältnismäßig langen Reinigungszyklus der Geräte zur Folge. Die Beprobungen fanden bei Raumtemperatur statt. Die Messungen in Tabelle 21 wurden im Jahr 2009, die für den DE-tector im Jahr 2016 und die für den Itemiser 4DX im Jahr 2017 mit jeweils fünf Messungen durchgeführt. Die Messungen wurden bereits bei dem Erhalt eines Explosivstoffsignals als positiv gewertet, nicht erst bei Erhalt eines Explosivstoffalarms. Die Konzentrationslösungen wurden von der geringsten zur höchsten Konzentration gemessen. Es wurden keine exakten Nachweisgrenzen, vielmehr ein Mindestansprech-Konzentrationsbereich bestimmt.

Ein Großteil der Explosivstoffe konnte auf den gerätespezifischen Probennehmern der einzelnen Geräte identifiziert werden. Die beiden Ausnahmen bildeten AN und DNT, bei der Messung mit dem SABRE 4000. 2,4-DNT konnte vom SABRE 4000 auf keiner Probenoberfläche nachgewiesen werden, dies könnte an der geringen Verdampfungstemperatur des SABRE 4000 von 210 °C liegen. 2,4-DNT besitzt nämlich einen Siedebereich mit gleichzeitiger Zersetzung zwischen 250 und 300 °C. Ammoniumnitrat konnte beim SABRE 4000 nur auf Glas nachgewiesen werden. Der Grund hierfür liegt vermutlich an der größeren Flächenverteilung der wässrigen Ammoniumnitrat-Lösung auf dem Probenehmer (und auch auf dem Papier). Wasser bildet auf papierartigen Oberflächen keinen Tropfen, sondern verteilt sich auf diesen Oberflächen. Zudem verdampft Wasser nicht wie viele organische Lösungsmittel, vielmehr trocknet es nach der Verteilung ein. Auf der Glasoberfläche dagegen bildete sich ein Wassertropfen, der langsam eintrocknete. Damit war die Fläche, auf der sich das Ammoniumnitrat verteilen konnte, wesentlich kleiner als bei dem Probenehmer (und Papier).

Auf den Oberflächen Glas und Papier konnten die Explosivstoffe, wenn überhaupt, häufig erst mit größeren Mengen als bei direkter Analyse nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis liegt nicht an der reduzierten Geräteempfindlichkeit, vielmehr ist der Grund ein nicht 100%iger Probenübertrag von den Oberflächen Glas und Papier auf den gerätespezifischen Probenehmer. Die Ergebnisse zeigen, je rauer und strukturierter eine Oberfläche ist, umso schwieriger wird es, den relevanten Stoff vollständig auf den Probenehmer zu übertragen.

Eine hohe Nachweiswahrscheinlichkeit von Explosivstoffen kann nicht immer auf die Gruppenzugehörigkeit zurückgeführt werden. Beispielsweise reagieren alle Geräte im Bereich der aromatischen Nitroverbindungen wesentlich empfindlicher auf 2,4,6-TNT als auf 2,4-DNT. Auch für HMX aus der Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester zeigen alle Geräte eine geringere Empfindlichkeit als für die anderen gruppenspezifischen Explosivstoffe. Die sehr hohen Siedepunkte mit gleichzeitiger Zersetzung bei 2,4-DNT (250 bis 300 °C) wie auch bei HMX (273 bis 281 °C) könnten die Begründung dieses Verhaltens sein. Im Gegensatz dazu ließen

sich PETN und RDX aus der Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester von allen Geräten stetig im zweistelligen ng-Bereich oder darunter nachweisen. Die Peroxid-basierten Explosivstoffe sind generell erst im dreistelligen ng-Bereich identifizierbar.

Gerätetechnisch ergibt sich ein offensichtlicher Empfindlichkeitsunterschied zwischen den handgeführten und den mobilen Tischgeräten. Die Ergebnisse bei dem gerätespezifischen Probenehmer zeigen vor allem in der Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester eine wesentlich höhere Empfindlichkeit der mobilen Tischgeräte. Diese höhere Empfindlichkeit begünstigt eine höhere Nachweiswahrscheinlichkeit von Explosivstoffen auf anderen Oberflächen.

Bei der Weiterentwicklung vom Itemiser DX zum 4DX zeigt sich sehr deutlich, dass eine erleichterte Nutzung und verbesserte Anwenderfreundlichkeit auf Kosten der Nachweisempfindlichkeit durchgeführt wurde.

## **Fazit**

Die Beschaffenheit der Beprobungsoberflächen sowie des Probenehmers bestimmt nachweislich die Effizienz des Probenübertrages auf den Probenehmer, welcher letztendlich im Gerät analysiert wird. Für den Probenehmer sollten Materialien unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit in Betracht gezogen und auf ihre Effektivität hin getestet werden.

Eine hohe Empfindlichkeit der Geräte bezüglich der nachzuweisenden Stoffe sollte vom Nutzer wie auch vom Hersteller vor der Anwenderfreundlichkeit stehen.

## **Ergebnisse für Betäubungsmittel**

In der folgenden Tabelle 24 wird die Identifikation der Betäubungsmittel für die untersuchten Geräte dargestellt.

**Tabelle 24:** Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer Betäubungsmittel

Oberfläche	Betäubungsmittel [ng]							
	DL-Amfetamin-sulfat	Metamfetamin-HCl	MDA-HCl	MDEA-HCl	MDMA-HCl	Cocain-HCl	Heroin-HCl	THC
<b>MobileTrace</b>								
Probennehmer	43	3,6	34	N. i. d. D.	340	35	32	3,0
Glas	430	36	34	N. i. d. D.	340	350	–	30
Papier	–	–	–	N. i. d. D.	–	–	–	–
<b>SABRE 4000</b>								
Probennehmer	430	36	340	360	34	350	–	30
Glas	430	360	–	360	340	–	–	–
Papier	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Itemiser DX, radioaktive Quelle</b>								
Probennehmer	4,3	0,36	0,34	0,36	3,4	3,5	3,2	3,0
Glas	–	3,6	34	3,6	34	0,35	32	3,0
Papier	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>IONSCAN 500DT</b>								
Probennehmer	4,3	0,36	3,4	3,6	3,4	3,5	3,2	30
Glas	43	36	34	3,6	3,4	3,5	32	300
Papier	–	–	–	–	–	–	–	–

**Legende:**

–: Substanz konnte mit der jeweiligen Maximalmenge nicht nachgewiesen werden.

n. i. d. D.: Substanz ist nicht in der mitgelieferten Datenbank des Geräts vorhanden

● Amfetamine, ● Tropan-Alkaloide, ● Opioide, ● Cannabinoide

## Auswertung für Betäubungsmittel

Stammlösungen mit unterschiedlichen Konzentrationen:

THC:	300 ng/µl
Heroin-HCl:	320 ng/µl
MDA-HCl + MDMA-HCl:	340 ng/µl
Cocain-HCl:	350 ng/µl
Metamfetamin-HCl + MDEA-HCl:	360 ng/µl
DL-Amfetaminsulfat:	430 ng/µl

Von jeder Stammlösung wurden drei Lösungen (Verdünnungsfaktor: 10/100/1.000) hergestellt.

Die Beprobungen fanden bei Raumtemperatur statt. Die Messungen der ersten Tabelle wurden im Jahr 2009 durchgeführt.

Es konnten annähernd alle Rauschgifte auf den gerätespezifischen Probenehmern der einzelnen Geräte identifiziert werden, lediglich Heroin-HCl konnte der SABRE 4000 nicht nachweisen, wobei Heroin-HCl generell eine Problemsubstanz für die Spurendetektion darstellt. Heroin-HCl hat einen hohen Siedepunkt und ist sehr schwerflüchtig. Entweder wird die Substanz nicht vollständig verdampft oder sie erzeugt im IMS einen breiten Peak. Dieser liegt dann entweder außerhalb der oberen Driftzeitskala oder das Signal wird von der automatischen Peakerkennung nicht erfasst. Zudem zeigt Heroin-HCl in allen Ionenmobilitätsspektrometern niedrige Signal-Rausch-Verhältnisse.

Auf der Glasoberfläche konnten die Betäubungsmittel, wenn überhaupt, häufig erst durch die zehnfach höhere Konzentration an Explosivstoff, im Gegensatz zur direkten Analyse des Probenehmers, nachgewiesen werden. Ähnlich wie bei den Explosivstoffen kommt hier ein nicht 100%iger Probenübertrag von der Glasoberfläche auf den Probenehmer zum Tragen. Auf der Papieroberfläche konnte von keinem Gerät eine Identifizierung der Betäubungsmittel erfolgen. Das beweist, dass je rauer und strukturierter eine Oberfläche ist, umso schwieriger gestaltet sich der vollständige Substanzübertrag auf den Probenehmer.

Gerätetechnisch ergibt sich ein offensichtlicher Empfindlichkeitsunterschied zwischen den handgeführten und den mobilen Tischgeräten. Die Ergebnisse bei dem gerätespezifischen Probenehmer zeigen, dass die Empfindlichkeit gegenüber bestimmten Rauschgiften beim MobileTrace zehnmal und beim SABRE 4000 sogar hundertmal geringer ist als bei den beiden Tischgeräten. Bei THC ist der Empfindlichkeitsunterschied zwischen den beiden Gerätegruppen wesentlich geringer ausgeprägt. Die Tischgeräte können alle Rauschgifte durch die direkte Analyse der Probenehmer bereits im einstelligen ng-Bereich oder darunter identifizieren.

## **Fazit**

Auch hier bestimmt die Beschaffenheit der Beprobungsoberflächen sowie des Probenehmers nachweislich die Effizienz des Probenübertrages auf den Probenehmer, welcher letztendlich im Gerät analysiert wird (siehe Explosivstoffe). Neben innovativen Probenahmetechniken kann diesem Defizit lediglich mit einer höheren Empfindlichkeit der Geräte entgegengewirkt werden.

Gerade bei den Betäubungsmitteln erweitert sich das Spektrum der Substanzen stetig, hier kann ein regelmäßiges (kostenpflichtiges) Datenbank-Update vom Hersteller die Detektionswahrscheinlichkeit von Betäubungsmitteln erhöhen.

### **4.2.5 Flammenphotometrischer Detektor**

#### **Stoffauswahl**

Genutzt wurden Dimethylmethylphosphonat (DMMP) als Vorläufersubstanz bei der Synthese von Sarin, Dibutylsulfid (DBS) sowie Triethylphosphat (TEP) als Similisubstanzen (deutlich ungiftigere Ersatzsubstanzen) für chemische Kampfstoffe. Diese Stoffe enthalten in ihrer Struktur Schwefel bzw. Phosphor, beide Elemente können durch das AP4C nachgewiesen werden.

#### **Geräte**

AP4C (Flammenphotoionisationsdetektor)



## Evaluationsbedingungen

Die Prüfungen erfolgten im Jahr 2016 durch das WIS in Munster. Die Gas-Luft-Gemische der einzelnen Flüssigkeiten wurden jeweils mittels Permeation über Kampfstoffgeneratoren erzeugt, wobei die Konzentrationen anschließend durch Temperatur- und Luftstromregelung variiert wurden. Die Aufgabe der Prüfkonzentrationen fand bei Raumtemperatur statt. Die Angabe der relativen Luftfeuchte erfolgt bei jeder Messung in der Ergebnistabelle.

Die angegebenen Grenzwerte für Personen ohne PSA entsprechen den Vorgaben aus dem Handbuch des AP4C, Kapitel 2.2.2: Use of the AP4C. Aus der dort abgebildeten Tabelle wurde die Konzentrationsangabe der zweiten leuchtenden (rot) LED verwendet. Bei Erreichen dieser Konzentration ist die Gefährdungsschwelle für ungeschützte Personen erreicht. Die Ansprech- und Abklingzeiten entsprechen dem Mittelwert aus 5 Einzelmessungen.

## Ergebnisse

**Tabelle 25:** Übersicht Responsezeiten (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Substanz	Grenzwert f. Personen ohne PSA [mg/m <sup>3</sup> ]	Prüfkonzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
TEP	0,005 Phosphor	0,007 Phosphor rF Umgebung 50 %	10	9	1 LED Phosphor (G, V)
TEP	0,005 Phosphor	0,059 Phosphor rF Umgebung 53 %	4	14	2 LED Phosphor (G, V)
DMMP	0,005 Phosphor	0,019 Phosphor rF Umgebung 28 %	1	7	1 LED Phosphor (G, V)
DMMP	0,005 Phosphor	0,024 Phosphor rF Umgebung 20 %	3	23	2 LED Phosphor (G, V)
DBS	0,150 Schwefel	0,217 Schwefel rF Umgebung 28 %	–	–	Kein Signal
DBS	0,150 Schwefel	0,318 Schwefel rF Umgebung 21 %	5	14	1 LED Schwefel (HD, HL)

### Legende:

rF: relative Feuchte; (G, V): eventuelles Indiz für Nervenkampfstoffe;  
(HD, HL): eventuelles Indiz für Hautkampfstoffe

## Auswertung

Durch die Prüfkonzentrationen konnten durch die Elemente Schwefel und Phosphor, gebunden in unterschiedlichen Verbindungen, im unteren Konzentrationsbereich Signale erzeugt werden.

Die Ansprechzeiten bei DMMP sind bei einer höheren Konzentration an Phosphor länger als bei einer niedrigeren Konzentration an Phosphor. Dies könnte ein Anzeichen dafür sein, dass die Ansprechzeiten nicht nur konzentrationsabhängig sind, sondern auch vom Aufbau und der Struktur der Verbindung sowie von der Höhe der relativen Luftfeuchtigkeit beeinflusst werden. Bei DBS reagierte das AP4C erst bei einer Konzentration  $> 0,217 \text{ mg/m}^3$  auf Schwefel. Der Grenzwert von  $0,150 \text{ mg/m}^3$  Schwefel konnte durch das AP4C nicht erreicht werden. Die Abklingzeiten und Anzeigen des AP4C verhielten sich erwartungsgemäß. Die gemessenen Ansprechzeiten befanden sich stetig innerhalb von 10 Sekunden.

### 4.2.6 Raman-Spektrometer

#### Stoffauswahl

- a) Organische Stoffe
- b) Anorganische Stoffe
- c) Weiße Pulver
- d) Wässrige Lösungen und Technische Produkte
- e) Explosivstoffe und Vorläufersubstanzen (nur IDRaman mini)

In der Gruppe der **Organischen Stoffe** finden sich wichtige Ausgangsstoffe, Zwischen- und Endprodukte sowie häufig verwendete Lösungsmittel der chemischen Industrie. Zusätzlich wurden Grundstoffe zur (unerlaubten) Herstellung von Betäubungsmitteln (BtM) aufgenommen. Eine vollständige Auflistung der in Kategorien eingeteilten Stoffe ist den entsprechenden Tabellen in Anhang 3 zu entnehmen.

Als Grundlage für die BtM-bezogene Stoffauswahl dient das Gesetz zur Überwachung des Verkehrs mit Grundstoffen, die für die unerlaubte Herstellung von Betäubungsmitteln (BtM) missbraucht werden können

(Grundstoffüberwachungsgesetz – GÜG). In den Tabellen dieser Arbeit wurden die Beispielstoffe für die Kategorie 1 mit einem „\*“ und für Kategorie 2 mit zwei „\*\*“ versehen.

Für die Gruppe der **Anorganischen Stoffe** wurden v. a. Grundstoffe wie anorganische Säuren, Laugen sowie Natriumhydroxid ausgewählt, die eine breite Anwendung in der chemischen Industrie finden. Darüber hinaus wurden Stoffe, die zur Herstellung von USBV bzw. Explosivstoffen genutzt werden können, berücksichtigt.

Beispielgebend für das Szenario **Weißes Pulver** wurden harmlose und leicht zugängliche Materialien biologischer Herkunft gewählt. Diese könnten als Similsubstanz oder als Verdünnungsmittel von biogefährdenden Materialien eingesetzt werden.

Anorganische Säuren und Laugen in teilweise unterschiedlicher Verdünnung sowie verschieden konzentrierte Ethanol-Wasser-Mischungen bilden die Gruppe der **Wässrigen Lösungen und Technischen Produkte**.

**Explosivstoffe** wurden ausschließlich mit dem IDRAMAN mini vermessen. Auch mit dem IDRAMAN mini wurden allerdings ausdrücklich keine Initialsprengstoffe vermessen. Der Hersteller des FirstDefenderRM rät davon ab, dunkle Proben, wie Schwarzpulver, zu vermessen, da es zu einer Entzündung der Stoffe kommen kann. Mit dem FirstDefenderRM erfolgte grundsätzlich keine Untersuchung von Explosivstoffen.

## Geräte

- FirstDefenderRM der Firma Thermo Fisher Scientific
- IDRAMAN Mini der Firma Ocean Optics

## Evaluationsbedingungen

Die Messung erfolgte vereinbarungsgemäß unter optimierten Bedingungen, d. h. im Labor, ohne Neonlicht und unter Ausschluss direkter Sonneneinstrahlung.

Bei den Chemikalien handelt es sich um Chemikalien in Laborqualität, Reinheit mind. 99 %. Bei den Lösungen der Säuren und dem Ammoniakwasser können größere Konzentrationsabweichungen bestehen, da ausschließlich bereits längere

Zeit lagernde Ware eingesetzt wurde, die Zubereitungen jedoch wasserziehend sind bzw. ausdunsten (HCl, NH<sub>3</sub>).

- Weitere Bedingungen für den First Defender RM:  
Die Messungen wurden mit der Gerätekonfiguration von 2015 durchgeführt. Das Gerät verfügt ausschließlich über einen Gemischerkennungsalgorithmus. Die Messungen wurden im Probenfläschchen im Probenschacht (Innenmessungen) bei maximaler Laserleistung (250 mW) und einer Belichtungszeit von 50 ms durchgeführt. Die Messzeit wurde vom Gerät automatisch angepasst. Die vermessenen Feststoffe wurden zuvor fein gemörsert (Achat-Mörser).
- Weitere Bedingungen für das IDRaman Mini:  
Die Messungen wurden mit der Gerätekonfiguration von 2016 durchgeführt. Das Gerät verfügt ausschließlich über eine Einzelstofferkennung. Die Messungen wurden im „autonomous mode“ (handgehalten, Bedienung nur am Gerät möglich) in einem Probenfläschchen im Probenschacht (Innenmessungen) bei einer Laserleistung von 100 mW (an der Probe 70 mW) und bei einer Belichtungszeit zwischen 10 ms und 9 s (automatische Anpassung durch das Gerät) durchgeführt. Der Laser wird nicht statisch auf einen Punkt der Probe bzw. in eine Messrichtung fixiert, sondern ein Bereich der Probe wird durch das Gerät mit dem Laser abgetastet (Raster Orbital Scanning (ROS)).

## Auswertung

### a + b) Organische und Anorganische Stoffe

Es handelte sich vorwiegend um Reinstoffe, mit der Ausnahme von Diesel und Siedegrenzbenzin. Beide Stoffe sind Gemische unterschiedlicher organischer Verbindungen. Ein Spektrum für Diesel war nicht in der Gerätebibliothek vorhanden. Aufgrund der hohen Fluoreszenz konnte auch nachträglich keines in der Bibliothek hinterlegt werden. Dieselmotorkraftstoff konnte mit dem IDRaman mini nicht identifiziert werden. Siedegrenzbenzin wurde mit dem IDRaman mini nicht vermessen.

## Fazit

Handelt es sich um Reinstoffe, deren Spektren in der Bibliothek hinterlegt sind und deren Raman-Banden eine genügend hohe Intensität aufweisen, dann konnte mit beiden Geräten problemlos eine Identifizierung durchgeführt werden. Bei Gemischen und Produkten benötigen Geräte mit Einzelstoff-Identifizierungsalgorithmus zwingend ein hinterlegtes Gemisch-Spektrum.

### c) Weiße Pulver

Hier zeigten die Messungen eine sehr hohe Fluoreszenz im Verhältnis zur Raman-Intensität der Proben. Dies ist für biologische Materialien typisch und beeinträchtigt deren Identifizierungssicherheit erheblich.

Die Haushaltsstoffe Mehl, Zucker und Stärke konnten beide Geräte nachweisen. Das Mehl wurde häufig als Stärke identifiziert, da Mehl zu 70 % aus Stärke besteht, war die Identifizierung zielführend. Die Cellulose (konkret Filterpapier) wurde infolge hoher Fluoreszenz nur vom First Defender RM identifiziert, wenn auch nur mit verminderter Übereinstimmung mit dem Bibliotheksspektrum. An der Identifizierung der Bacillus-Thuringiensis-Zubereitung scheiterten beide Geräte. Ursache ist das Nichtvorliegen eines Spektrums der komplex zusammengesetzten Probe in der Bibliothek. Aufgrund der hohen Fluoreszenz konnte kein Bibliothekseintrag erstellt werden.

### Fazit

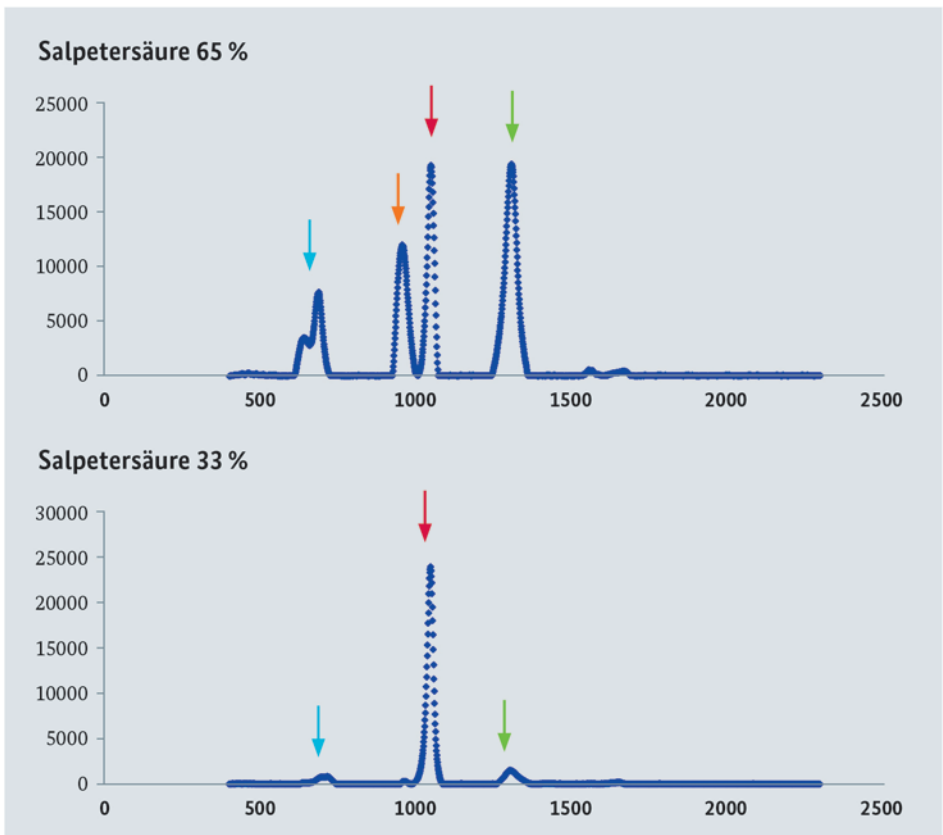
Das Ziel der Raman-Spektrometer in einem Einsatz mit möglicher Biogefährdung ist nicht die Identifizierung des Biokampfstoffes, sondern eine Erstabschätzung im Sinne einer chemischen Charakterisierung der Probe. Diese gibt Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit eines Biokampfstoff-Szenarios, mindert Hysterie und beschleunigt andererseits die Untersuchung in einem zertifizierten Biolabor. Die Spektren von Stoffen wie Mehl, Zucker u. Ä. sind dabei weitaus einfacher zu interpretieren als die Spektren von Biokampfstoffen bzw. deren Zubereitungen. Der Einsatz von Mehl oder Stärke als Streckmittel für Biokampfstoff-Sporen ist aufgrund des starken Verklumpens und der dadurch eingeschränkten Mobilität der gefährlichen Sporen eher unwahrscheinlich.

### d) Wässrige Lösungen und Technische Produkte

Hier wurden Gemische und Lösungen untersucht, die als Zubereitungen klassische Handelsprodukte darstellen. Da die Spektrometer kein Stofftrennverfahren integriert haben, stellen entsprechende Proben die Spektrometer vor große Herausforderungen, wenn die Spektren der Gemische nicht in der Bibliothek hinterlegt sind. Spektrometer mit Gemischerkennungsalgorithmus können eine Identifizierung zwar eingeschränkt auf Basis der Einzelstoff-Spektren erreichen, doch ist dies fehlerträchtig und stößt auch konzentrationsabhängig an Grenzen. Wasser ist Raman-Spektrometern zwar praktisch nicht zugänglich, sodass hier auch Spektrometer mit Einzelstofferkennungsalgorithmus Chancen haben. Dennoch ist die Stoffidentifizierung in wässriger Lösung aufgrund der Verdünnung und Signalschwächung erschwert. Bei Stoffen, die in Wasser dissoziieren, d. h. chemisch aufspalten und solvatisieren (mit dem Lösungsmittel in Wechselwirkung treten), kommt eine De-facto-Änderung des Stoffes hinzu.

Von den hier untersuchten Proben ergab sich folgendes Bild:

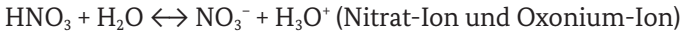
Bei der Salpeter- und Schwefelsäure zeigte sich, dass die Spektrometer bei hinterlegtem Spektrum auch Gemische identifizieren können. Der First Defender hatte für beide Säuren Spektren unterschiedlicher Verdünnung hinterlegt. Die Identifizierung war grundsätzlich erfolgreich, doch konnten die Konzentrationen der Säurelösungen nicht korrekt ermittelt werden. Das Raman ID mini hatte lediglich die Spektren der konzentrierten Säuren hinterlegt. Es konnte die verdünnten Säuren nicht identifizieren, da sich diese zwischen konzentrierter und verdünnter Säure stärker unterscheiden, hier in Abbildung 35 und Abbildung 36 zu sehen. Leider lieferte es eine Reihe falsch positiver Funde relevanter Stoffe.



**Abbildung 35:** Raman-Spektren von Salpetersäure, oben Konz. 65 %, unten Konz. 33 %

## Erklärung

Die konzentrierte Salpetersäure (OH-NO<sub>2</sub>) zeigte mehr Banden im Spektrum als die verdünnte Säure. Je stärker die Säure verdünnt wird, umso stärker dissoziiert die Säure und die Intensität der Schwingungsbande der Nitrat-Gruppe nimmt entsprechend zu:



- Bande ●: 1.310 cm<sup>-1</sup> (grün), sinkt mit steigender Verdünnung (NO<sub>2</sub>-Gruppe der Säure)
- Bande ●: 1.050 cm<sup>-1</sup> (rot), steigt gleichzeitig mit der Verdünnung (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Schwingungen)
- Bande ●: 960 cm<sup>-1</sup> (gelb), sinkt mit steigender Verdünnung (OH-Gruppe der Säure)
- Bande ●: 600 bis 700 cm<sup>-1</sup> (blau), sinkt mit steigender Verdünnung (NO<sub>2</sub>-/OH-Gruppe der Säure)

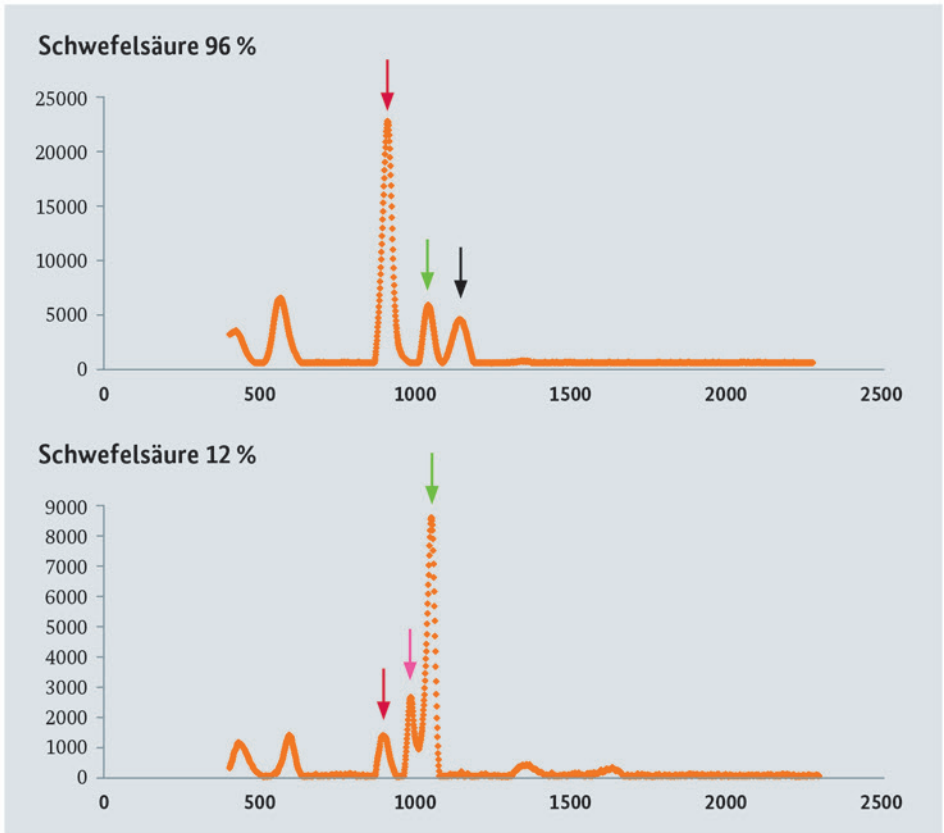


Abbildung 36: Raman-Spektren von Schwefelsäure, oben Konz. 96 %, unten Konz. 12 %

## Erklärung

Die konzentrierte, weitgehend undissoziierte Schwefelsäure zeigt andere Banden und bei gleichen Banden unterschiedliche Intensitäten als die verdünnte Säure. Ursache ist auch hier die mit zunehmender Verdünnung steigende Dissoziation der Säure. Allerdings dissoziiert Schwefelsäure zweistufig, wobei die zweite Dissoziationsstufe erst bei stärkerer Verdünnung merklich in Erscheinung tritt:

1. Stufe:  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HSO}_4^- + \text{H}_3\text{O}^+$  (Hydrosulfat-Ion + Oxonium-Ion)
2. Stufe:  $\text{HSO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$  (Sulfat-Ion + Oxonium-Ion)



- Bande ●:  $1.165\text{ cm}^{-1}$  (schwarz), sinkt mit steigender Verdünnung (SOH-Gruppen der Säure)
- Bande ●:  $1.036\text{ bis }1048\text{ cm}^{-1}$  (grün), steigt mit steigender Verdünnung ( $\text{HSO}_4^-$ -Schwingungen)
- Bande ●:  $990\text{ cm}^{-1}$  (pink), steigt mit Verdünnung ( $\text{SO}_4$ -Schwingungen)
- Bande ●:  $908\text{ cm}^{-1}$  (rot), sinkt mit steigender Verdünnung (OH-Gruppe der Säure)

Salzsäure (HCl) dissoziiert in Wasser weitgehend in  $\text{Cl}^-$  und  $\text{H}^+$ . Die Ionen selbst haben grundsätzlich keine Schwingungsmöglichkeiten. Da sie in Wasser in solvatisierter Form vorliegen, gibt es zwar Wechselwirkungen mit dem eingestrahlt Licht, diese sind allerdings sehr schwach. Darüber hinaus bedarf es hinterlegter Spektren zur Identifizierung dieser solvatisierten Ionen. Die Identifizierung scheiterte daher mit beiden Geräten

Bei der 25%igen wässrigen Ammoniaklösung meldete der First Defender RM „keine Messung möglich“, d. h., die Signalstärke unterschritt den Sollwert der Software für einen Bibliotheksvergleich. Die Messung wurde daher abgebrochen. Das IDRaman mini konnte aufgrund der schwachen Intensität der Banden und zusätzlicher Banden infolge partieller Dissoziation des Ammoniaks in wässriger Lösung ebenfalls keinen Stoff identifizieren.

Wasserstoffperoxid sowie die Ethanol-Wasser-Mischungen konnten auch bei hohen Verdünnungen mit beiden Geräten identifiziert werden. Beide Stoffe dissoziieren in Lösung nicht. Auch ihre Solvatisation ist gering. Sie sind daher grundsätzlich über die Spektren der reinen Stoffe identifizierbar. Dass dies auch dem IDRaman mini (Einzelstoff-Algorithmus) gelang, ist auf die geringe Raman-Aktivität von Wasser zurückzuführen. Unterstützend hat die hohe Raman-Aktivität beider Stoffe gewirkt. Die Bande der O-O-(Peroxi-)Gruppe vom Wasserstoffperoxid bei  $\sim 870\text{ cm}^{-1}$  sowie die OH-(Hydroxy-)Gruppe des Ethanols bei  $2.900\text{ bis }3.000\text{ cm}^{-1}$  sind sehr intensiv. Dem First Defender war es allerdings trotz Verwendung des Gemischalgorithmus nicht möglich, die korrekte Ethanol-Konzentration für die Ethanol-Wasser-Mischungen zu ermitteln.

## Fazit

Die Spektrometer verfügen nicht über eine Gemischtrennung. Die Identifizierung erfolgt grundsätzlich durch Vergleich von Proben- und Bibliotheksspektrum. Die Spektren der Gemische setzen sich additiv aus den Spektren der Komponenten zusammen. Konzentrationsabhängig sinken außerdem die Intensitäten der Banden

der Einzelstoffe. Dies ist bereits eine Herausforderung. Bei in Wasser dissoziierenden Stoffen kommt noch hinzu, dass sich auch der Stoff, d. h. das Spektrum, ändert (vgl. Säure-Nachweis). Eine Identifizierung ist in diesen Fällen selbst mit Hilfe von Gemischidentifizierungsalgorithmen – auf Basis der Einzelstoff-Spektren – nicht mehr möglich. Halbwegs sicher ist die Gemischidentifizierung auf Basis hinterlegter Gemisch-Spektren. Doch selbst hier können Spurenkomponenten sowie größere Gehalte an Stoffen mit geringer Raman-Aktivität nicht immer erkannt werden.

Ob eine Identifizierung eines gelösten Stoffes in Wasser möglich ist, ist stark abhängig von dessen Raman-Intensität und Konzentration sowie dessen Verhalten in Wasser. Konzentrationsbestimmungen sind stets kritisch zu hinterfragen.

### **e) Explosivstoffe und Vorläufersubstanzen (nur IDRaman mini)**

An dieser Stelle muss explizit darauf hingewiesen werden, dass Raman-spektroskopische Untersuchungen an hochenergetischen Proben mit den Entschärfnern vor Ort abgeklärt werden.

Die im Rahmen der Evaluierungsmessungen zu dieser Arbeit untersuchten Explosivstoffe konnten bereits mit einer sehr kleinen Menge Probe sicher nachgewiesen werden. Die einzige Ausnahme bildete Pikrylaminodinitropyridin (PYX), hier gelang die Identifizierung eines einzelnen Krümelns nicht.

Kleine Beimengungen von Wasser (PETN) oder Wachs (PETN) störten die Identifizierung nicht. Ammoniumnitrat konnte selbst als Emulsion vorliegend identifiziert werden, was sicher auch an der guten Spektrensammlung für diese Produkte lag. Bei Nitroglycerin in Lactose (1:9) stieß das IDRaman mini aufgrund der Einzelstofferkennung an seine Grenzen, hier konnte lediglich die Lactose identifiziert werden. Im gelatinösen Sprengstoff, welcher laut Hersteller Ammoniumnitrat enthalten sollte, konnte das IDRaman mini nur Natriumnitrat identifizieren.

### **Fazit**

Die Identifizierung der vermessenen Explosivstoffe gelang mit dem IDRaman mini sicher und ohne Zwischenfälle. Bei einem Einsatz ist jedoch nicht klar, um welche Art von Explosivstoff es sich handelt. Bei Verdacht auf das mögliche Vorliegen einer solchen Probenart sollte zuvor durch eine Brennprobe einer kleinen Menge (ca. 0,5 mg, in unverdämmter Form) das Abbrandverhalten ermittelt werden. Ergibt sich ein stark beschleunigter Abbrand, sollte eine Raman-Untersuchung ggf. unterbleiben. Auch ein Mörsern der Probe sollte vor Klärung der Stabilität der Probe unterbleiben, da hochenergetische Stoffe vielfach auch druckempfindlich sind.

Soll die Probe trotz Hinweisen auf Instabilität mit dem Raman-Spektrometer analysiert werden, sind je nach Spektrometer ergänzend verschiedene Anpassungen der Intensitätsparameter möglich. Der First Defender RM erlaubt beispielsweise die Minderung der Laserleistung und der Belichtungszeit (sowie ergänzend einen zeitverzögerten Messbeginn, was allerdings nur bei einer Innenmessung Sinn macht). Grundsätzlich sollte jedoch mit sehr kleinen Mengen (ca. 1 mg) eine Außenmessung durchgeführt werden.

Eine in jedem Fall zu prüfende Alternative ist die Analyse in Form einer Lösung der Probe. Dies setzt allerdings einen Gemischerkennungsalgorithmus voraus (außer man nutzt Wasser). Im Einzelfall kann durch die Wahl des Lösungsmittels und Teillösung der Probe sogar die Analyse komplexer zusammengesetzter Gemische ermöglicht werden.

#### 4.2.7 ATR-FTIR-Spektroskopie

##### Stoffauswahl

- a) Organische Stoffe
- b) Anorganische Stoffe und Vorläufersubstanzen zur Herstellung von Explosivstoffen
- c) Weiße Pulver
- d) Wässrige Lösungen und Technische Produkte

In der Gruppe der **Organischen Stoffe** finden sich wichtige Ausgangsstoffe, Zwischen- und Endprodukte sowie häufig verwendete Lösungsmittel der chemischen Industrie. Zusätzlich wurden Grundstoffe zur (unerlaubten) Herstellung von Betäubungsmitteln (BtM) aufgenommen. Eine vollständige Auflistung der Stoffe ist den entsprechenden Tabellen in Anhang 3 zu entnehmen.

Als Grundlage für die BtM-bezogene Stoffauswahl dient das Gesetz zur Überwachung des Verkehrs mit Grundstoffen, die für die unerlaubte Herstellung von Betäubungsmitteln (BtM) missbraucht werden können (Grundstoffüberwachungsgesetz – GÜG). In den Tabellen dieses Berichts wurden die Beispielstoffe für die Kategorie 1 mit einem „\*“ und für Kategorie 2 mit zwei „\*\*“ versehen.

Für die Gruppe der **Anorganischen Stoffe** wurden v. a. Grundstoffe wie anorganische Säuren, Laugen sowie Natriumhydroxid ausgewählt, die eine breite

Anwendung in der chemischen Industrie finden. Darüber hinaus wurden Stoffe, die zur Herstellung von USBV bzw. Explosivstoffen genutzt werden können, berücksichtigt.

Beispielgebend für das Szenario „**Weißes Pulver**“ wurden harmlose und leicht zugängliche Materialien biologischer Herkunft gewählt. Diese könnten als Similsubstanz oder als Verdünnungsmittel von biogefährdenden Materialien eingesetzt werden.

Anorganische Säuren und Laugen in teilweise unterschiedlicher Verdünnung sowie verschieden konzentrierte Ethanol-Wasser-Mischungen bildeten die Gruppe der **Wässrigen Lösungen und Technischen Produkte**.

### Geräte

- TruDefender FTX der Firma Thermo Fisher Scientific
- HazMatID 360 der Firma Smiths Detection
- HazMatID Elite der Firma Smiths Detection

### Evaluationsbedingungen

Die Messung erfolgte vereinbarungsgemäß unter optimierten Bedingungen, d. h. im Labor, ohne Neonlicht und unter Ausschluss direkter Sonneneinstrahlung.

Bei den Chemikalien handelt es sich um Chemikalien in Laborqualität, Reinheit mind. 99 %. Bei den Lösungen der Säuren und dem Ammoniakwasser können größere Konzentrationsabweichungen bestehen, da ausschließlich bereits längere Zeit lagernde Ware eingesetzt wurde, die Zubereitungen jedoch wasserziehend sind bzw. ausdunsten (HCl, NH<sub>3</sub>).

- Bedingungen für den TruDefender FTX:  
Die Messungen wurden in 2017 mit der Gerätekonfiguration aus 2016 vom IBK in Heyrothsberge durchgeführt. Das Gerät verfügt ausschließlich über einen Gemischerkennungsalgorithmus. Die Messungen wurden im Automatikmodus durchgeführt, d. h., das Gerät versucht mit einem ausreichenden Signal-Rausch-Verhältnis ein gutes Spektrum zu erzielen. Die Messzeit ist u. a. von der IR-Aktivität der Probe abhängig, die Zahl erforderlicher Spektrenaufnahmen wurde vom Gerät automatisch angepasst. Die vermessenen Feststoffe wurden zuvor

fein gemörsert (Achat-Mörser) und anschließend auf dem ATR-Proben-tisch mit Andruckstempel vermessen. Flüssigkeiten wurden direkt auf den ATR-Proben-tisch getropft und IR-spektroskopisch untersucht, bei einem hohen Dampfdruck erfolgte eine Abdeckung mit einem Uhrglas.

- Bedingungen für das HazMatID 360:  
Die Messungen wurden 2017 mit der Gerätekonfiguration aus 2010 vom IBK in Heyrothsberge durchgeführt. Das Gerät verfügt über eine Einzelstofferkennung sowie über einen Gemischerkennungsalgorithmus. Grundsätzlich wurde die Einzelstofferkennung genutzt und Treffer ab einem Korrelationsfaktor von  $> 0,95$  gewertet. Ausgewählte Mischungen wurden erneut mit dem Gemischerkennungsalgorithmus untersucht. Mittels Probenscan nahm das Gerät eine konstante Zahl an Spektren auf undmittelte darüber, die Messzeit war gleichbleibend. Die vermessenen Feststoffe wurden zuvor fein gemörsert (Achat-Mörser) und anschließend auf dem ATR-Proben-tisch mit Andruckstempel vermessen. Flüssigkeiten wurden direkt auf den ATR-Proben-tisch getropft und IR-spektroskopisch untersucht, bei einem hohen Dampfdruck erfolgte eine Abdeckung mit einem Uhrglas.
- Bedingungen für das HazMatID Elite:  
Die Messungen wurden 2017 mit der Gerätekonfiguration aus 2013 vom IBK in Heyrothsberge durchgeführt. Das Gerät verfügt über eine Einzelstofferkennung, mit der entsprechenden Command-Software können die Messungen bearbeitet und erneut mit einem Gemischerkennungsalgorithmus ausgewertet werden. Es erfolgte keine Angabe zum Grad der Ergebnisgüte. Mittels Probenscan nahm das Gerät eine konstante Zahl an Spektren auf undmittelte darüber, die Messzeit war gleichbleibend. Die vermessenen Feststoffe wurden zuvor fein gemörsert (Achat-Mörser) und anschließend auf dem ATR-Proben-tisch mit Andruckstempel vermessen. Flüssigkeiten wurden direkt auf den ATR-Proben-tisch getropft und IR-spektroskopisch untersucht, bei einem hohen Dampfdruck erfolgte eine Abdeckung mit einem Uhrglas.

## Auswertung

### a + b) Organische und Anorganische Stoffe

Es handelte sich vorwiegend um Reinstoffe, mit der Ausnahme von Diesel und Siedegrenzbenzin. Beide Stoffe sind Gemische unterschiedlicher organischer Verbindungen. War bei den untersuchten Geräten kein Spektrum in der Bibliothek hinterlegt, gelang zumindest bei Diesel und Siedegrenzbenzin eine Angabe von Stoffen mit ähnlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften. Das

HazMatID Elite identifizierte mehrfach fälschlicherweise Gemische, obwohl es sich um Reinstoffe handelte.

### Fazit

Handelte es sich um Reinstoffe, deren Spektren in der Bibliothek hinterlegt sind und deren IR-Absorptionen eine genügend hohe Intensität aufweisen, dann konnte mit den Geräten problemlos eine Identifizierung durchgeführt werden. Bei Gemischen und Produkten benötigen Geräte mit Einzelstoffidentifizierungsalgorithmus zwingend ein hinterlegtes Gemisch-Spektrum. Die falschen Gemischidentifizierungen bei Einzelstoffen durch das HazMatID Elite können unterschiedliche Gründe haben. Neben einem nichtoptimalen Gemischerkennungsalgorithmus spielt auch der Bibliotheksumfang, deren Qualität sowie die Energie der IR-Quelle eine wichtige Rolle.

### c) Weiße Pulver

Bei den Geräten von Smiths Detection kam es bei der Messung der Bacillus-Thuringiensis-Zubereitung zur Biokampfstoffwarnung, jedoch konnte die Mischung nicht identifiziert werden. Bei dem TruDefender FTX kam es ebenfalls zu keiner Identifizierung. Die Nichtidentifizierung lag zum einen an den fehlenden Bibliothekseinträgen und zum anderen an dem hohen anorganischen und nicht konkret definierten Anteil der Zubereitung. Die unbedenklichen Haushaltsstoffe konnten, wenn nicht konkret, zumindest in Form ähnlicher Stoffe identifiziert werden.

### Fazit

Die Biowarnung der HazMatID-Geräte war in diesem Fall begründet, doch unterliegt sie erfahrungsgemäß einer hohen Querempfindlichkeit und daraus resultierenden Fehlalarmen. Die Warnung basiert auf der Erkennung von Eiweißstrukturen (Proteinen), wie sie für viele natürliche Materialien typisch sind. So enthält auch gewöhnliches Weizenmehl Anteile von Eiweiß und erzeugt eine entsprechende Warnung. Das Ziel der IR-Spektrometer in einem Einsatz mit möglicher Biogefährdung, ist nicht die Identifizierung des Biokampfstoffes, sondern eine Erstabschätzung im Sinne einer chemischen Charakterisierung der Probe. Diese gibt Hinweise auf die Wahrscheinlichkeit eines Biokampfstoff-Szenarios, mindert Hysterie und beschleunigt andererseits die Untersuchung in einem zertifizierten Biolabor. Kommt es zu einer Biokampfstoffwarnung, kann zusätzlich eine Raman-spektroskopische Untersuchung durchgeführt werden. Unbedingt sollte die Möglichkeit einer physikalisch-chemischen Charakterisierung wie Erscheinungsbild der Probe (Aggregatzustand, Dichte, Form), Geruch, pH-Wert, Schmelz- und Brennverhalten u.Ä. für eine Bewertung miteinbezogen werden.

Die Spektren von Stoffen wie Mehl, Zucker u. Ä. sind dabei weitaus einfacher zu interpretieren als die Spektren von Biokampfstoffen bzw. deren Zubereitungen. Der Einsatz von Mehl oder Stärke als Streckmittel für Biokampfstoff-Sporen ist aufgrund des starken Verklumpens und der dadurch eingeschränkten Mobilität der gefährlichen Sporen eher unwahrscheinlich. Auch weniger komplexe Spektren von Stoffen, die der Herstellung und Aufreinigung von Biokampfstoffen dienen (Siliziumdioxid, Zeolithe u. a.), sollten einen festen Bestandteil der Spektrenbibliotheken darstellen.

#### **d) Wässrige Lösungen und Technische Produkte**

Der TruDefender FTX war aufgrund seiner umfangreichen Spektren im Bereich wässriger Lösungen sowie technischer Produkte klar im Vorteil. Bei Phosphor- und Schwefelsäure wurde neben der korrekten Identifizierung häufig auch eine passende Konzentration angegeben.

Gerade bei verdünnten Lösungen spielen Auswertalgorithmus, Qualität der Bibliothek und Energie der IR-Quelle eine wesentliche Rolle.

Salzsäure (HCl) dissoziiert in Wasser weitgehend in  $\text{Cl}^-$  und  $\text{H}^+$ . Die Ionen selbst haben grundsätzlich keine Schwingungsmöglichkeiten. Da sie in Wasser in solvatisierter Form vorliegen, gibt es zwar Wechselwirkungen mit dem eingestrahlt Licht, diese sind allerdings sehr schwach. Darüber hinaus bedarf es hinterlegter Spektren zur Identifizierung dieser solvatisierten Ionen. Eine eher unsichere Identifizierung gelang bei hinterlegten Spektren lediglich bei konzentrierter Salzsäure. Die Wasserstoffperoxid-Lösung sowie das Ammoniak-Wasser konnten nur vom TruDefender FTX identifiziert werden, eine Angabe der Konzentration erfolgte jedoch nicht. Die HazMatID-Geräte identifizierten lediglich Wasser oder falsch positive Gemische.

Die untersuchten Ethanol-Wasser-Mischungen unterschiedlicher Konzentrationen ergaben folgende Ergebnisse: Das HazMatID Elite und der TruDefender FTX konnten das Ethanol bereits bei 20%iger Konzentration in Wasser nachweisen, die Konzentrationsangaben stimmten jedoch nicht mit den Realkonzentrationen überein. Das HazMatID 360 konnte Ethanol erst ab einem Anteil von 50 % im Wasser identifizieren, eine Konzentrationsanzeige erfolgte nicht.

Mit dem HazMatID 360 wurden zusätzliche Messungen von wässrigen Lösungen und technischen Produkten mit dem Gemischerkennungs-Algorithmus durchgeführt. Eine Verbesserung ergab sich lediglich bei den Ethanol-Wasser-Mischungen, hier konnte das HazMatID mit Gemischerkennungsalgorithmus bereits einen Ethanolgehalt von 30 % statt vorher von 50 % identifizieren. Die

Konzentrationsangaben waren ähnlich fehlerhaft wie bei den anderen beiden Geräten. Weder das Ammoniak-Wasser noch die Wasserstoffperoxid-Lösung oder verschiedene Säurelösungen konnten mit dem Gemischerkennungsalgorithmus erkannt werden. Der Grund sind fehlende Bibliotheksspektren für die betreffenden Stoffe (Säurelösungen unterschiedlicher Konzentrationen), möglich sind jedoch auch eine gealterte IR-Quelle und, zumindest in dieser Substanzgruppe, weniger leistungsstarke Erkennungsalgorithmen als bei TruDefender FTX.

## Fazit

Hier wurden Gemische und Lösungen untersucht, die als Zubereitungen klassische Handelsprodukte darstellen. Da die Spektrometer kein Stofftrennverfahren integriert haben, stellen entsprechende Proben die Spektrometer vor große Herausforderungen, wenn die Spektren der Gemische nicht in der Bibliothek hinterlegt sind. Spektrometer mit Gemischerkennungsalgorithmus können eine Identifizierung zwar eingeschränkt auf Basis der Einzelstoff-Spektren erreichen, doch ist dies fehlerträchtig und stößt auch konzentrationsabhängig an Grenzen. Bei wässrigen Lösungen kommt erschwerend die hohe IR-Absorption von Wasser hinzu, die eine Identifizierung des gelösten Stoffes u. U. unmöglich macht. Bei Stoffen, die in Wasser dissoziieren, d. h. chemisch aufspalten und solvatisieren (mit dem Lösungsmittel in Wechselwirkung treten), kommt eine De-facto-Änderung des Stoffes hinzu.

## 4.2.8 Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung

### Stoffauswahl

Die Evaluation erfolgte mit einer Reihe von TICs, die in der Spektrenbibliothek der Geräte-Software hinterlegt waren.

### Geräte

- SIGIS 2 der Firma Bruker
- HI 90 der Firma Bruker

### Evaluationsbedingungen

Die Evaluation fand sowohl im Labor als auch im Freigelände statt. Die Messungen wurden im August 2017 vom WIS in Munster durchgeführt. Die eigentliche



Evaluation galt dem SIGIS 2, somit war diesem Gerät der optimale Standortplatz für die gesamten Messungen vorbehalten. Bei den gemessenen Konzentrationen handelte es sich um die Nachweisgrenzen für die jeweiligen Stoffe. Mit dem HI 90 wurde ebenfalls ein Teil der Substanzen vermessen, jedoch mit einer nichtoptimalen Standortplatzierung. Die hierbei erhaltenen Messergebnisse stellen allgemeine Konzentrationen im möglichen Messbereich des HI 90 dar. Die Angabe der spezifischen Messbedingungen erfolgt gemeinsam mit der Ergebnisdarstellung.

## Ergebnisse

Die Labormessungen in Tabelle 26 und Tabelle 27 für das SIGIS 2 und das HI 90 wurden unter folgenden Messbedingungen durchgeführt:

Messentfernung: ~ 0,5 m, Wolkenlänge: 0,3 m und rel. Luftfeuchte: 30 bis 45 %.

**Tabelle 26:** TIC-Messungen mit dem SIGIS 2 im Labor

Substanz	Nachweisgrenze [ppm]	Differenztemperatur <sup>1</sup> [°C]	Güte <sup>2</sup>
Ammoniak	17	4,5	2
Aceton	79	4,4	2
Methanol	70	5,2	2
Chloroform	28	4,0	2
Phosgen	2,5	17,6	2
Schwefeldioxid	1.008	4,5	2

**Tabelle 27:** TIC-Messungen mit dem HI 90 im Labor

Substanz	Konzentration [ppm]	Differenz- temperatur <sup>*1</sup> [°C]	Güte <sup>*2</sup>
Ammoniak	110	5,6	2
Aceton	242	5,5	1
Methanol	172	5,3	2
Schwefeldioxid	206	26,7	2

Die gemessenen Konzentrationen des HI 90 waren erwartungsgemäß höher als die Nachweisgrenzen des SIGIS 2. Aufgrund des nichtoptimalen Standortplatzes konnten mit dem HI 90 keine Nachweisgrenzen für die gemessenen Stoffe bestimmt werden. Auffällig ist jedoch das stark unterschiedliche Ergebnis für Schwefeldioxid. Trotz eines zweitrangigen Standortes reagiert das HI 90 fast fünfmal so empfindlich auf Schwefeldioxid wie das SIGIS 2. Hier wird der Einfluss der Differenztemperatur auf die Empfindlichkeit des Messsystems deutlich. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Gefahrstoffwolke und Hintergrund, desto größer ist die Empfindlichkeit des FTIR-Fernerkundungssystems.

Die Außenmessungen für das SIGIS 2, hier in Tabelle 28 abgebildet, wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt: Mess-Entfernung: ~ 100 m, Wolkenlänge: 5 m, rel. Luftfeuchte: 50 bis 60 %.

**Tabelle 28:** TIC-Messungen mit dem SIGIS 2 im Freigelände

Substanz	Nachweis- grenze [ppm]	Differenz- temperatur <sup>*1</sup> [°C]	Güte <sup>*2</sup>
Ammoniak	4	5,0	2
Aceton	57	4,2	2

**Legende:**

\*1 Temperaturdifferenz zwischen Wolke und Hintergrund

\*2 3 = zweifelsfreie Identifizierung, 2 = gute Identifizierung (Werte liegen signifikant über dem Schwellwert), 1 = unsichere Identifizierung (Werte liegen leicht über dem Schwellwert)

Die Nachweisgrenzen für Ammoniak und Aceton gelten für die angegebenen Bedingungen.

Bei diesen Ergebnissen zeigte sich, dass ein Fernerkundungssystem unter den entsprechenden Bedingungen (Standort- sowie Hintergrundwahl und Ausrichtung) bei Messungen aus Entfernungen sehr geringe Nachweisgrenzen erreichen kann. Die Nachweisgrenzen sind zusätzlich vom jeweiligen Stoff, der Wolkenausdehnung, den Wetterbedingungen und der messtechnischen Leistungsfähigkeit sowie von der Qualität der Auswertalgorithmen der verwendeten Software abhängig.

**Tabelle 29:** Einfluss der Messfeldgröße des HI 90 auf die Messdauer

Substanzanzahl	Dauer [s]	Messfeldgröße [px]
15	0,7	64 x 64
15	2	128 x 128

Bei einer Scan-Rate von 17.000 Spektren/s erfolgt bei Messungen mit dem HI 90 eine gleichzeitige Belichtung aller Bildelemente. Die Vergrößerung der Messfeldgröße, hier in Tabelle 29 dargestellt, wirkt sich beim HI 90 marginal auf die Messdauer aus. Als Resultat erhält man ein Videobild in Echtzeitmessung.

Beim SIGIS 2 dagegen beträgt die Scan-Rate 16 Spektren/s. Bei einer Messfeldvergrößerung werden somit Messzeiten im unteren zweistelligen Minutenbereich erhalten. Hier erhält man lediglich eine sehr stark zeitverzögerte Information zur Gefahrstoffausbreitung.

Bezugnehmend zu den unter Kapitel 3 beschriebenen Freisetzungsszenarien wurden möglichst realitätsnahe Freisetzungssituationen (Messkampagnen) dargestellt, innerhalb derer die Evaluationsschemata und die verfügbaren Messgeräte überprüft werden konnten. Es wurden drei Messkampagnen mit unterschiedlichen Schwerpunkten durchgeführt, die nachfolgend näher erläutert werden.

### **1. Messkampagne: IBK**

Die erste Messkampagne im Projekt wurde vom 7. 11. bis 11. 11. 2016 am Institut für Brand- und Katastrophenschutz Heyrothsberge durchgeführt.

Zur Durchführung der Versuche standen eine Brandhalle mit mehreren unterschiedlichen Räumen, in welcher auch in angepasstem Maßstab Industriechemikalien freigesetzt werden konnten, sowie ein Brandkanal zur Verfügung. Der Brandkanal hat einen Querschnitt von  $6,5 \text{ m}^2$  und eine Länge von 30 m und dient auch als Modelltunnel. Die Anlagen sind mit einer Rauchgasreinigungs- sowie einer Abwasseraufbereitungsanlage ausgestattet. Folgende Schwerpunkte ergaben sich aus den örtlichen Gegebenheiten:

- a) Handling von Messtechnik unter Schutzkleidung  
Nach einem Kriterienkatalog wurde die Handhabung einer Reihe handgetragener Detektionsgeräte unter chemischer Schutzausrüstung (gasdichter CSA, Typ 1a, Maske unter Haube und Chemikalienschutzhandschuhe) getestet. Zu den Testkriterien gehörten unter anderem Gewicht/Handlichkeit, Display- und Tastatureigenschaften, Wahrnehmbarkeit des Detektionsergebnisses, Probenaufnahme/Reinigung, Menüführung sowie allgemeines Handling. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse für die getesteten Geräte findet sich in Kapitel 4.1 Allgemeine Geräteevaluation unter dem jeweiligen Messverfahren im Punkt Handhabung. Um den subjektiven Faktor zu minimieren, erfolgte der Test in Form einer Doppelbestimmung. Dabei wurde der Test durch zwei Gruppen mit jeweils 6 Teilnehmern durchgeführt. Anschließend wurden die Geräte nach einem vorher festgelegten Punktesystem bewertet. Im Anhang 4 werden die getesteten Messgeräte und die Bewertungen dargestellt.

- b) Freisetzung von Chemikalien und Überlagerung mit Brandereignissen  
In der Brandhalle wurden verschiedene Lösungsmittel in eine Brandwanne gebracht, anschließend entzündet und nach mehreren Minuten Brenndauer mit Schaummittel gelöscht. Die Dämpfe des reinen Lösungsmittels bei Raumtemperatur, die Brandprodukte sowie die Dämpfe des Schaummittels und die eventuell durch den Löschschaum austretenden Restdämpfe wurden mit entsprechender Messtechnik untersucht und die Ergebnisse notiert. Für diese Versuche spielten die Szenarien Transportunfall und Anlagenhavarie eine grundlegende Rolle. Die Ergebnisse und eingesetzten Messgeräte können den folgenden Auswertungen (Kapitel 4.3 Evaluation unter Realbedingungen) entnommen werden.
- c) Querempfindlichkeit von Fernerkundungsgeräten  
Für die Evaluierung der Fernerkundungsgeräte wurden unterschiedliche Störeinflüsse, wie Nebel, Grillrauch und Pyrotechnik im Brandkanal ausgebracht. Die Ergebnisse werden unter 4.3.7 Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung beschrieben. Berührungspunkte dieses Schwerpunktes finden sich im Szenario Großveranstaltungen.

## 2. Messkampagne: TTS

Die zweite Messkampagne fand vom 24.4. bis 29.4.2017 auf dem Testfeld Technische Sicherheit der BAM in Horstwalde statt.

Für die Versuche stand der Sprengplatz mit einem Durchmesser von 400 m zur Verfügung. Auf dem Sprengplatz können ohne Gefährdung der Umgebung Versuche auch mit größeren Mengen an Explosivstoffen durchgeführt werden. Weiterhin ist nach einer Gefährdungsbeurteilung, die die Toxizität und Umweltgefährdungen des konkreten Stoffes miteinschließt, eine Freisetzung in natürlicher Umgebung möglich. Diese Möglichkeiten eröffnen der 2. Messkampagne folgende Schwerpunkte:

- a) Sprengversuche und Analyse unterschiedlicher Materialproben  
Mit verschiedenen relevanten Explosivstoffen und Explosivstoffmischungen wurden Ansprengeversuche von unterschiedlichen Oberflächenmaterialien durchgeführt. Hierzu wurde ein konkreter Explosivstoff, von unterschiedlichen Materialien (z. B. Beton, Holz, diverse Metalle, Kunststoffe) kreisförmig umgeben, zur Explosion gebracht. Anschließend erfolgte eine labormäßige Auswertung der Proben, ob und wie gut die verschiedenen Nachweismethoden nicht umgesetzte Explosivstoffreste nachweisen konnten. Hintergrund des Versuchsaufbaus war die Ermittlung des Sprengstofftyps an polizeilichen Tatorten.

b) Freisetzung einer Chemikalie zur Evaluation der Fernerkundung unter Realbedingungen

Es wurden mehrfach jeweils einige wenige Kilogramm einer Chemikalie freigesetzt und die entstehende Wolke mit den Fernerkundungsgeräten lokalisiert und in Windzugrichtung weiterverfolgt. Ziel war es, die Leistungsfähigkeit der Geräte bei Gefahrstoffwolken mit kleiner räumlicher Ausdehnung zu untersuchen. Die Substanzwolken hatten eine Schichtdicke von nur wenigen Metern und wurden schnell vom Wind weitergetrieben. Hier spielen die Freisetzungsszenarien Transportunfall, Großveranstaltungen und illegale Entsorgungsplätze sowie Kampfstofffreisetzung eine wichtige Rolle. Ergebnisse beider Schwerpunkte werden in den folgenden Abschnitten (Kapitel 4.3 Evaluation unter Realbedingungen) näher erläutert.

### 3. Messkampagne: BKA

Die dritte Messkampagne fand vom 6. 11. bis 10. 11. 2017 in einem ehemaligen NATO-Munitionsdepot in Kevelaer statt.

Für die Messkampagne konnte ein Munitionsbunker genutzt werden, in dem im Jahr 2001 ein illegales Drogenlabor im Originalzustand sichergestellt wurde. Der Bunker ist in zwei Bereiche unterteilt, in denen zum einen das frühere Syntheselabor und zum anderen sichergestellte Apparaturen aus weiteren Ermittlungsverfahren untergebracht sind. Die für die 3. Messkampagne gewählten Schwerpunkte sind:

- a) Analyse und Identifizierung unbekannter Substanzen  
Anhand von Referenzproben (Reinstoffen) der relevanten Zielsubstanzen von synthetischen Drogen, deren Vorläufersubstanzen und Lösungsmitteln und auch von realen Substanzgemischen aus Ermittlungsverfahren sowie Explosivstoffen wurden eine Reihe von Messverfahren auf ihre Eignung zur Analyse und Identifizierung hin überprüft. Als Proben wurden feste sowie organisch-flüssige Reinstoffe und Gemische analysiert. Zusätzlich, sofern anwendbar, wurden auch die Gasphasen über den Proben und Wischproben fester Spuren unterschiedlich beprobt.
- b) Detektion von Schadstoffen zum Eigenschutz von Ermittlungspersonal  
Tragbare Messtechnik wurde beim Vorgehen in eine betroffene Räumlichkeit eingesetzt, um das Vorhandensein von luftgetragenen Schadstoffen zu detektieren. Untersucht wurde einerseits die Empfindlichkeit der Geräte im Hinblick auf eine frühestmögliche Warnung der Einsatzkräfte, aber auch die

Feststellung einer bestimmten Substanz durch Erstellung von Wechselbeziehungen der Ergebnisse unterschiedlicher Messverfahren.

- c) Messungen im Umgebungsbereich zur Lokalisation eines illegalen Labors  
 Es wurden tragbare und mobile Messgeräte eingesetzt, die im Umfeld eines möglichen Objekts Hinweise über eine Substanzfreisetzung liefern könnten. Die eingesetzte Messtechnik sowie die Ergebnisse aller drei Schwerpunkte können in den folgenden Abschnitten (Kapitel 4.3 Evaluation unter Realbedingungen) nachgelesen werden.  
 Bei der Durchführung der Messkampagnen fanden nicht alle im Kapitel 3 beschriebenen Messtechniken Anwendung. Dies lag zum einen an der Einsatzgebundenheit der Geräte zum festgelegten Zeitpunkt und zum anderen an geringen personellen Ressourcen, die für die Auswertung der Messergebnisse zuständig waren.

#### 4.3.1 Prüfröhrchen

Prüfröhrchen sind ein seit Jahrzehnten bekanntes Messprinzip bei vielen in der Gefahrenabwehr mitwirkenden Organisationen. Im Projekt wurden Prüfröhrchen in den Messkampagnen IBK sowie BKA zur Detektion von Gefahrstoffen verwendet.

Erkenntnisse aus der Messkampagne IBK:

##### Fragestellung

Entstehen einerseits mögliche Querempfindlichkeiten durch das Zündmittel, bzw. durch Brandzersetzungsprodukte und entstehen andererseits Querempfindlichkeiten durch die verwendeten Schaummittel?

##### Durchführung

In der großen Brandhalle des IBK Heyrothsberge wurden verschiedene Lösungsmittel in eine Feuerschale eingebracht, anschließend entzündet und nach einigen Minuten Brenndauer mit diversen Schaummitteln gelöscht. Als Schaummittel kamen ein Mehrbereichsschaummittel (Sthamex F-15) sowie ein alkoholbeständiges Schaummittel (Solberg RF6) zum Einsatz. Beide Schaummittel erzeugten bei den verwendeten Prüfröhrchen keine Farbumschläge. Die Dämpfe der reinen Lösungsmittel, der Schaummittel sowie der Brandprodukte (Brandrauch) und die

evtl. durch den Löschschaum austretenden Restdämpfe wurden mit verschiedenen Typen Prüfröhrchen des Herstellers Gastech untersucht. Weiterhin wurden Holz-scheite entzündet, die als Zündquelle für zwei verschiedene Kunststoffe dienten. Auch hier wurden die Brandprodukte mit Prüfröhrchen getestet.

## Ergebnisse

Bereits an dieser Stelle wird darauf verwiesen, dass neben den Prüfröhrchen eine Vielzahl weiterer handgetragener Messgeräte während der Versuche zum Einsatz kamen insbesondere wird auf die Auswertung zu Photoionisations- und Ionenmobilitätsgeräten verwiesen.

Die folgende Tabelle 30 gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

**Tabelle 30:** Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Prüfröhrchen

Versuchsaufbau	Typ Prüfröhrchen	Ergebnis
Toluolbrand	Toluol	Detektion (20 ppm)
Acetonbrand	Aceton	Keine Reaktion
Acetonitrilbrand, mit Benzin entflammt	Polytec V	6: pink (HCN), 7: leicht grau (CO), 8: leicht braun (CO <sub>2</sub> )
Benzinbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	Kohlenwasserstoffe	Detektion (< 10 ppm)
Xylolbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	Toluol	Detektion (10 ppm)
Acetonbrand, gelöscht mit Solberg RF6	Aceton	Keine Reaktion
Acetonitril, reines Lösungsmittel*	Polytec V	Keine Reaktion
Holzbrand mit Polypropylen	Kohlenwasserstoffe	Ganz leichte Verfärbung
Holzbrand mit Polypropylen	Polytec V	CO, CO <sub>2</sub>
Holzbrand mit Polyurethan	Polytec V	1: leicht rosa (HCL), 7: stark grau (CO), 8: sehr leicht braun (CO <sub>2</sub> ),

### Legende:

6: pink (HCN): 6. Schicht des Prüfröhrchens, Verfärbung zu pink, entspricht HCN (Blausäure)

CO: Kohlenstoffmonoxid

CO<sub>2</sub>: Kohlenstoffdioxid

\* Test des reinen Lösungsmittels mit Polytec V bei Raumtemperatur, um Querempfindlichkeiten auszuschließen



## Auswertung

Aceton verbrennt komplett über Kohlenstoffmonoxid (CO) bis hin zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>), sodass keine Acetondämpfe detektiert werden können. Beim Toluol werden auch reine Stoffdämpfe im Brandrauch mitgeschleppt. Acetonitril setzt, wie in der Literatur beschrieben [70], Blausäure beim Verbrennungsprozess frei, diese wird mit dem Polytec-Röhrchen V bei Reaktionsschicht 6 entsprechend angezeigt.

Es wurde festgestellt, dass die durch den Brand entstandenen Lösungsmitteldämpfe durch den Löschschaum hindurchdrangen. Je mehr Zeit nach dem Ablöschen mit Löschschaum verging, desto stärker wurden die Messsignale bei entsprechendem Messprinzip. Dies ist dadurch zu erklären, dass der Löschschaum mit der Zeit zerfällt und keine genügende Sperrschicht gegen die Dämpfe mehr bildet. Bei dem gelöschten Acetonbrand mit Solberg RF-6 konnte keine Acetonbelastung gemessen werden. Dieses alkoholbeständige Schaummittel scheint für Aceton gut geeignet zu sein und weniger schnell zu zerfallen, sodass keine messbaren Acetondämpfe detektiert werden können.

Der Holzbrand mit Polypropylen setzte wie zu erwarten neben CO<sub>2</sub> und CO zusätzlich Kohlenwasserstoffe frei. Der Holzbrand mit Polyurethan sollte neben CO<sub>2</sub> und CO noch HCN enthalten. [71] Statt der Verfärbung in Reaktionsschicht 6 (HCN) des Prüfröhrchens kam es zu einer Verfärbung in Schicht 1 Chlorwasserstoff (HCl). Eigentlich sollte sich die Reaktionsschicht in Gegenwart von HCl rot verfärben, in unserem Fall kam es zu einer leichten rosa Verfärbung. Der Grund könnte eine Behandlung des Polyurethans mit halogenhaltigen Flammenschutzmitteln sein, wobei vor allem bromhaltige Flammenschutzmittel als äußerst wirksam gelten. Während der Verbrennung würde dann Bromwasserstoff freigesetzt (HBr) [72]. In anschließenden Laborversuchen konnte durch Freisetzung von HBr und dessen Messung mit einem Polytec-V-Prüfröhrchen eine wie im Brandversuch erhaltene rosa Verfärbung reproduziert werden.

Somit konnte lediglich eine Querempfindlichkeit der Polytec-V-Prüfröhrchen bestätigt werden. Die Reaktionsschicht 1 spricht generell auf Mineralsäuren, nicht ausschließlich auf Chlorwasserstoff (HCl) an. Der insbesondere beim Verbrennen der beiden Aromatenverbindungen Toluol und Xylol sowie durch den Holzbrand in Verbindung mit Kunststoffen entstehende Ruß stört das Ablesen der Messergebnisse nicht. Der Ruß bleibt direkt zu Beginn der Röhrchenfüllung als sehr schmale schwarze Ablagerung hängen und wird nicht in die Reaktionsschicht hineingesaugt.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

### **Fragestellung**

Während der Messkampagne in Kevelaer wurden Prüfröhrchen nur zur Überprüfung der Raumluft eingesetzt. Hintergrund war es, eine Belastung der Luft und somit eine Gefährdung von vorgehenden Einsatzkräften ohne Atemschutz frühzeitig zu erkennen.

### **Durchführung und Ergebnisse**

Es wurden Prüfröhrchen ausgewählt, die zur jeweils freigesetzten Chemikalie passten, konkret Röhrchen für Kohlenwasserstoffe und Ketone. Diese zeigten auch eine leichte (Farb-)Reaktion, die zur tatsächlichen Konzentration der Stoffe im Raum passte. Es handelte sich jeweils nur um einige ppm des Stoffes, der tatsächliche, mit Photoionisationsgeräten überprüfte Konzentrationsbereich lag zwischen 0 und 10 ppm.

Für die in Kevelaer relevanten Szenarien ergibt sich jedoch eine Schwierigkeit für ähnliche Einsätze. Werden für die Feststellung einer Belastung der Raumluft u. a. Prüfröhrchen miteingesetzt, muss den Einsatzkräften vorher in etwa bekannt sein, mit welchen Stoffen gerechnet werden kann. Ist eine Eingrenzung der zu erwartenden Substanzen nicht möglich, müssten eine Vielzahl unterschiedlicher Prüfröhrchen zum Einsatz kommen, um eine Belastung der Raumluft feststellen bzw. ausschließen zu können. Allgemein wird bei Einsätzen der Zeitbedarf pro Messung und Prüfröhrchen zum limitierenden Faktor.

#### **4.3.2 Colorimetrische Schnelltests**

Mit colorimetrischen Tests können u. a. Explosivstoffe innerhalb kurzer Zeit bestimmten Explosivstoffgruppen zugeteilt oder sogar identifiziert werden. Neben der manuellen (rein optischen) Auswertung (Schnelltests) besteht die Möglichkeit einer vollautomatisierten Beurteilung der Farbumschläge durch Colorimeter.

Erkenntnisse aus der Messkampagne TTS:

### a) Allgemeine Informationen

- Beprobungen durch:

ExPen, IDenta, Expray, das Colorimeter SEEKERe sowie den Itemiser (IMS); die Beprobungen wurden in Form von Wischproben durchgeführt.

Durch IDenta wurde eine Beprobung ausschließlich mit TNT, Schwarzpulver und ANFO durchgeführt, da die Tests nur in begrenzter Anzahl zur Verfügung standen. Eine Beprobung durch Expray fand bei Nitrocellulose (TLP), Schwarzpulver und ANFO aufgrund der schlechten Handhabung nur sporadisch statt.

Der Itemiser als Ionenmobilitätsspektrometer wurde aufgrund empfindlicherer Nachweisgrenzen zur Kontrolle der vollständigen Umsetzung der Explosivstoffe herangezogen. Von einer Beprobung mit der jeweiligen Originalsubstanz wurde abgesehen, da es zu einer Überladung des Gerätes geführt und einen längeren Reinigungsprozess ausgelöst hätte. Die Messungen fanden im Dualmodus (Explosivstoffe und Betäubungsmittel) statt. In der Bibliothek waren folgende Einträge hinterlegt: TNT, DNT, Nitro, RDX, HMX, PETN, TATP, HMTD, Blackpowder. Unter „Nitro“ fallen auch Nitramine und Salpetersäureester (Nitrocellulose) sowie Anorganische Nitrate (ANFO). Das Ionenmobilitätsspektrometer kann dann lediglich das Signal der  $\text{NO}_2$ -Gruppe identifizieren.

- Verwendete Proben:

- > Nitroaromaten: 2,4,6-TNT

- > Nitramine und Salpetersäureester (Nitra.+Sester): RDX, PETN, SEMTEX-H, Nitrocellulose

- > Anorganische Nitrate (Anorg. Nitrate): Schwarzpulver, ANFO

- > Perchlorathaltige Gemische: Blitzknallsatz

- Beprobungen von:

Holz, Polypropylen, PVC, Kupfer, Aluminium, Edelstahl, verzinktem Stahl, Beton und Pappe

In Tabelle 31 sind die Ergebnisse der colorimetrischen Schnelltests sowie der Kontrollmessungen mit dem Ionenmobilitätsspektrometer Itemiser dargestellt.

## b) Ergebnisse

**Tabelle 31:** Ergebnisse der Sprengungen auf dem TTS der BAM

Probe		Ergebnisse				
		Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests			IMS
		SEEKERe	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser
<b>Nitroaromaten:</b>						
<b>Vertreter: 2,4,6-TNT</b>						
Originalsubstanz	Positiv: (Nitroaromaten)	(G 1)	(Pen 1)	(Spray E)	(General, IDT 0010, Lsg. 1)	-
Targets (9)	Positiv (Nitroaromaten)	0/9				TNT 8/9
	Negativ	9/9				1/9
Die Originalsubstanz wurde von jeder Messtechnik korrekt detektiert. In unmittelbarer Nähe zum Sprengzentrum waren die Konzentrationen an nicht umgesetztem TNT für die Schnelltests wie auch für das Colorimeter zu gering, um nachgewiesen zu werden. Das Ionenmobilitätsspektrometer dagegen konnte TNT sicher identifizieren.						
<b>Nitramine und Salpetersäureester:</b>						
<b>Vertreter: Nitrocellulose (Treibladungspulver)</b>						
Originalsubstanz	Positiv: (Nitra.+ Ssester.)	(G 2/3)	(Pen 2)	(Spray X)	-	-
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
Targets (9)	Positiv: (Nitra.+ Ssester.)	(G 2/3) 9/9	(Pen 2) 9/9	(Spray X) 3/3	-	„Nitro“ 9/9
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		

Probe	Ergebnisse					
	Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests			IMS	
	SEEKERe	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser	

Die Originalsubstanz wurde von jeder Messtechnik korrekt detektiert. In unmittelbarer Nähe zum Sprengzentrum war die Konzentration an nicht umgesetzter Nitrocellulose genügend hoch, sodass mit den Schnelltests eine eindeutige Zuordnung in die Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester erfolgen konnte. Über das Ionenmobilitätsspektrometer erfolgte eine „Nitro“-Zuordnung (Erklärung s. a) Allgemeine Informationen).

**Vertreter: Hexogen (RDX)**

Originalsubstanz	Positiv: (Nitra.+ Ssester)	(G 2/3)	(Pen 2)	(Spray X)	-	-
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
Targets (9)	Positiv: (Nitra.+ Ssester)	(G 2/3) 3/9	(Pen 2) 5/9	0/9	-	RDX 5/9
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
	Positiv (Weitere)	(G 4/5) 1/9	0/9	(Spray E) 6/9		0/9
	Negativ	5/9	4/9	3/9		4/9

Die Originalsubstanz wurde von jeder Messtechnik korrekt detektiert. Bei den umgesetzten Proben zeigte der SEEKERe neben Nitraminen und Salpetersäureester auf dem Target Holz eine Detektion für Chlorate und Peroxide an. Da auf diesem Target auch bei beiden PETN-Sprengversuchen die G 4/5 detektiert wurde, ließ das auf eine Verunreinigung des Targets Holz schließen. ExPen ordnete nicht umgesetztes RDX konsequent der korrekten Explosivstoffgruppe zu. Expray bestätigte einen Explosivstoffverdacht, ordnete diesen jedoch immer in die Gruppe der Nitro-basierten Explosivstoffe ein. Das Ionenmobilitätsspektrometer konnte bei den Messungen den Explosivstoff RDX identifizieren.

**Vertreter: PETN (Nitropenta) (ohne Markierungsstoff)**

Originalsubstanz	Positiv: (Nitra.+ Ssester)	(G 2/3)	(Pen 2)	(Spray X)	-	-
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
Targets (9)	Positiv: (Nitra.+ Ssester)	(G 2/3) 1/9	0/9	0/9	-	0/9
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		0/9

Probe		Ergebnisse				
		Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests			IMS
		SEEKERe	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser
Targets (9)	Positiv: (Weitere)	(G 4/5) 2/9	0/9	(Spray E) 2/9	-	RDX 1/9
	Negativ	6/9	9/9	7/9		8/9

**Vertreter: PETN (Nitropenta) (Markierungsstoff: 2,3-Dimethyl-2,3-dinitrobutan)**

Originalsubstanz	Positiv: (Nitra. + Ssester)	(G 2/3)	(Pen 2)	(Spray X)	-	-
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
Targets (9)	Positiv: (Nitra. + Ssester)	0/9	(Pen 2) 1/9	(Spray X) 1/9		PETN 1/9
	Positiv: (Anorg. Nitrate)					
	Positiv: (Nitro)	(G 1) 1/9	(Pen 1) 1/9	(Spray E) 2/9		0/9
	Positiv: (Weitere)	(G 4/5) 1/9	-	-		0/9
	Negativ	7/9	7/9	6/9		8/9

Die Originalsubstanzen wurden von jeder Messtechnik korrekt detektiert. Bei den umgesetzten Proben konnte weder beim SEEKERe noch bei den Schnelltests eine eindeutige Explosivstoffgruppe zugeordnet werden. Auf dem Target Holz wurde erneut G 4/5 nachgewiesen, hier lag eine Verunreinigung des Targets Holz nahe. Bei jeder Messtechnik erfolgte bei über 65 % der Messungen keine Detektion. Die Konzentrationen an PETN in unmittelbarer Nähe des Sprengzentrums waren für die Messtechnik zu gering, um sichere Aussagen bezüglich der Explosivstoffgruppe treffen zu können.

**Vertreter: SEMTEX-H (35 % RDX + 50 % PETN)**

Originalsubstanz	Positiv: (Nitra. + Ssester)	(G 2/3)	(Pen 2)	(Spray X)	-	-
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
Targets (9)	Positiv: (Nitra. + Ssester)	(G 2/3) 1/9	0/9	0/9	-	RDX 1/9
	Positiv: (Anorg. Nitrate)		-	-		
	Negativ	8/9	9/9	9/9		8/9

Probe	Ergebnisse				
	Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests			IMS
	SEEKERe	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser

Die Originalsubstanzen wurden von jeder Messtechnik korrekt detektiert. Für den Nachweis von nicht umgesetzten RDX oder PETN waren die Konzentrationen für die Messtechnik in unmittelbarer Nähe zum Sprengzentrum zu gering.

### Anorganische Nitrate

#### Schwarzpulver (Kaliumnitrat)

Originalsubstanz	Positiv (Anorg. Nitrate)	K. D	-	-	-	-
	Positiv (Nitra. + Ssester)		(Pen 2)	(Spray X)		
	(Chlorate/ Bromate)	Positiv (G 4/5)	-	-	Negativ IDT 0050)	
	(Peroxide)		-	-	Positiv (Peroxid, IDT 0040)	
Targets (9)	Positiv (Anorg. Nitrate)	(G 2/3) 7/9	-	-	-	Schwarz- pulver 4/9
	Positiv (Nitra. + Ssester)		(Pen 2) 7/9	(Spray X) 3/3	-	0/9
	Positiv: (Peroxide)	(G 4/5) 1/9			(Peroxid, IDT 0040) 1/1	5/9
	Negativ	1/9	2/9	0/3	0/1	

Die Originalsubstanz wurde vom SEEKERe in die Gruppe der Chlorate und Peroxide eingeordnet, wobei mit IDenta nur die Peroxid-Zuordnung bestätigt wurde. Die Schnelltests ordneten die Originalsubstanz in die Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester ein.

Bei den Targets kam es erneut durch ExPen und Expray zu einem Nachweise für Nitramine und Salpetersäureester. Da der SEEKERe nicht zwischen Nitraminen bzw. Salpetersäureestern und Anorganischen Nitraten unterscheiden kann, konnte keine eindeutige Aussage über das Ergebnis getroffen werden. Das Ionenmobilitätsspektrometer konnte sporadisch Schwarzpulver identifizieren.

Erklärung verschiedener Explosivstoffgruppen: Das verwendete Schwarzpulver bestand aus einer Mischung verschiedener Restbestände.

Die Nachmessungen an chargenreinem Schwarzpulver durch den ExPen (1–3 sowie A u. B+), ergaben ausschließlich einen positiven Nachweis auf Anorganische Nitrate (Pen 3).

Probe	Ergebnisse					
		Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests			IMS
		SEEKERe	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser
<b>Vertreter: ANFO (Ammoniumnitrat)</b>						
Originalsubstanz	Positiv: (Anorg. Nitrate)	Positiv (G 2/3)	Positiv (Pen 3)	Positiv (Spray I)	-	-
	Positiv: (Nitra. + Ssester)		0/1	0/1	-	
	Positiv: (Ammonium)	-	-	-	(Ammonium, IDT 0030)	
Targets (9)	Positiv: (Anorg. Nitrate)	(G 2/3) 6/9	(Pen 3) 8/9	0/3	-	0/5
	Positiv: (Nitra. + Ssester)		(Pen 2) 1/9	(Spray X) 3/3		
	Positiv: (Nitro)	0/9	0/9	0/3	0/8	Nitro 5/5
	Positiv: (Ammonium)	-	-	-	(Ammonium, IDT 0030) 8/8	
	Negativ	3/9	0/9	0/3	0/8	0/5

Die Originalsubstanz konnte sicher als Ammoniumnitrat identifiziert werden. Bei den Targets konnte durch den ExPen eine sichere Zuordnung in die Gruppe der Anorganischen Nitrate erfolgen.

Der Ammonium-Nachweis von IDenta zeigte zweifelsfreie positive Nachweise. Bei Expray erfolgte eine klare Zuordnung zu den Nitraminen und Salpetersäureestern. Durch den SEEKERe konnte eine genaue Gruppenzuordnung (Anorganische Nitrate) nur in Verbindung mit dem positiven Ammoniumtest von IDenta erfolgen. Über das Ionenmobilitätsspektrometer erfolgte eine „Nitro“-Zuordnung (Erklärung s. a) Allgemeine Informationen).

### Perchlorate

#### Vertreter: Blitzknallsatz (Kaliumperchlorat + Aluminium)

Originalsubstanz	Positiv: (Perchlorate)	(Pen P)	K. D.	K. N. e.	-	K. Be. v.
Targets (9)	K. D.	9/9	9/9			

Die Originalsubstanz konnte nur vom SEEKERe als Perchlorat detektiert werden. Bei den Beprobungen der Targets konnten keine Nachweise erfolgen. Der ExPen (P) konnte auch bei der Laborevaluation erst bei > 1 mg Kaliumperchlorat einen positiven Nachweis liefern, insofern war die Konzentration mittels Wischprobe zu gering.



Probe	Ergebnisse					
	Colorimeter	Colorimetrische Schnelltests		IMS		
	SEEKRE	ExPen	Expray	IDenta	Itemiser	
<b>Hintergrundkontamination (Sand Sprengplatz)</b>						
Sand	Tests	(General Explosives, Perchlorat-Test)	(Pen: 1-3, P, A + B+)	(Spray: E, X, I)	-	-
	Ergebnisse	K. D.	K. D.	K. D.		
Es konnten keine Hintergrundkontaminationen festgestellt werden.						

**Legende:**

Kategorie „Weitere“: Wenn ein Ergebnis nicht von einer anderen genutzten Messtechnik bestätigt werden konnte, wurde es in die eingeordnet.

-: Keine Messung durchgeführt

Positiv 9/9: Von neun Targetmaterialien wurden neun richtig positive Ergebnisse erhalten

Positiv (z. B. Pen 1): Detektion des korrekten Explosivstoffs mit Pen 1

Positiv (z. B. G 1): Detektion der korrekten Explosivstoffgruppe G 1

K. N. e.: Kein Nachweis erhältlich

K. Be. v.: Kein Bibliothekseintrag vorhanden

Negativ: Keine Detektion erfolgt

Gelbe Markierung: Ionenmobilitätsspektrometer-Kontrollmessung

**Fazit**

Konnte nach der Umsetzung auch mit dem Ionenmobilitätsspektrometer kein Explosivstoffnachweis (PETN, SEMTEX-H) in unmittelbarer Nähe des Sprengzentrums erfolgen, könnte das an einer vollständigen Umsetzung, aber auch an einem erweiterten (nicht erfassten) Sprengradius liegen.

Bei undefinierten Mischungen von Explosivstoffen (verwendetes Schwarzpulver, ANFO) zeigten die Schnelltests und der SEEKRE zwar einen positiven Nachweis auf Explosivstoffe, es ist jedoch schwierig, konkrete Informationen bezüglich der Explosivstoffgruppe zu erhalten.

**Hinweis:**

Es sollten grundsätzlich Mehrfachmessungen mit einem Schnelltest oder Colorimeter durchgeführt werden. Bei unklaren Ergebnissen (z. B. Gruppenzuordnung) bietet sich die Möglichkeit an, die Messung mit einem anderen Testsatz zu

überprüfen. Vor allem mit den untersuchten Schnelltests können in kurzer Zeit viele Messungen preiswert durchgeführt werden. Im Gegensatz zum SEEKERe entstehen bei den Schnelltests keine hohen Anschaffungskosten. Für eine erste Beurteilung der Lage – liegt ein Explosivstoff vor oder nicht – sind Schnelltests oder auch Colorimeter äußerst geeignet. Genauere Untersuchungen, z. B. bezüglich der Identifizierung des jeweiligen Explosivstoffes, müssen im kriminaltechnischen Labor durchgeführt werden.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

### **Fragestellung**

Gibt es bei der Spurendetektion von Explosivstoffen unter realen Bedingungen Leistungsunterschiede zwischen den verwendeten Schnelltests und dem Colorimeter?

### **Durchführung**

Für die Beprobung wurden die colorimetrischen Schnelltests ExPen (Fa. Mistral) und IDenta (Fa. IDenta Corp.) sowie das mobile Colorimeter SEEKERe (Fa. Detecta-Chem LLC.) herangezogen. Zur Überprüfung der Ergebnisse wurde das Ionenmobilitätsspektrometer (Fa. Smiths Detection) verwendet.

Im ersten Schritt (a) erfolgte die direkte Beprobung der Probennehmer von ExPen, IDenta sowie des SEEKERe mit den Explosivstofflösungen, um ein Ansprechverhalten zu erzeugen. Hierfür wurde 1 µl methanolische Explosivstofflösung mit der Konzentration von 1 µg/µl auf den Probennehmer getropft und mit den Tests nach Anleitung analysiert. Die eigentliche Untersuchung der Fragestellung erfolgte durch die Wischprobenahme einer Metalltür (b), die vorab definiert mit den Explosivstofflösungen kontaminiert wurde. Es wurden folgende Explosivstoffe verwendet:

- Nitroaromaten: 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), 2,4-Dinitrotoluol (DNT), N-Methyl-N-2,4,6-tetranitroanilin (Tetryl)
- Nitramine und Salpetersäureester: Pentaerythyltetranitrat (PETN), Hexogen (RDX), Nitroglycerin (NG)

Beprobung durch:

die colorimetrischen Schnelltests ExPen und IDenta, das Colorimeter SEEKERe sowie das Ionenmobilitätsspektrometer Ionscan 500DT; die Beprobungen wurden in Form von Wischproben durchgeführt.

Bei dem Ionenmobilitätsspektrometer wurde von einer Beprobung mit der jeweiligen Originalsubstanz abgesehen, da es zu einer Überladung des Gerätes geführt und einen längeren Reinigungsprozess ausgelöst hätte. Die Ergebnisse des Ionscan 500DT dienen zur Überprüfung der Wischproben, sie können nicht mit den Ergebnissen der Schnelltests und des Colorimeters verglichen werden. Der Ionscan 500DT wurde aufgrund empfindlicherer Nachweisgrenzen herangezogen.

- Beprobung:  
definiert kontaminierte Metalltür

## Ergebnisse

- Reinstoff direkt auf Probenehmer:
  - > Chemische Schnelltests
  - > Colorimeter (SEEKERe)

Zunächst wurde jeweils 1 µl von verschiedenen Explosivstoff-Lösungen in Methanol (1 µg/µl) direkt auf die Wischkarten der Schnelltests gegeben und die entsprechenden Ergebnisse abgelesen. Die Angaben in Klammern zeigen den jeweiligen positiven Test an. Es wird nur erwähnt, wann ein positiver Nachweis erfolgte, auch wenn mehrere Pens, Sprays oder Kapseln angewendet wurden (siehe Tabelle 32). Die Ausrüstung des IDenta-Test-Kits stand nur in begrenztem Umfang zur Verfügung, deshalb fand eine Beprobung mit IDenta General ausschließlich bei den Nitroaromaten statt.

**Tabelle 32:** Messung der Explosivstoff-Lösungen durch Auftropfen mit ExPen und IDenta

Probe	Ergebnis	
	ExPen	IDenta
<b>Nitroaromaten</b>		
2,4,6-TNT	Positiv (Pen 1)	Positiv: (General, IDT 0010, Lsg. 1)
Tetryl (3µl)	Positiv (Pen 1)	Positiv: (General, IDT 0010, Lsg. 1)
2,4-DNT	Positiv (Pen 1)	Positiv: (General, IDT 0010, Lsg. 1)
<b>Nitramine und Salpetersäureester</b>		
PETN	Positiv (Pen 2)	-
RDX	Positiv (Pen 2)	
Nitroglycerin	Positiv (Pen 2)	

**Legende:**

-: Keine Messung durchgeführt

Positiv (z. B. Pen 1): Detektion des korrekten Explosivstoffs mit Pen 1

Anschließend wurde jeweils 1 µl von verschiedenen Explosivstoff-Lösungen in Methanol (1 µg/µl) direkt auf die Wischkarten des SEEKERe gegeben und die entsprechenden Ergebnisse abgelesen (siehe Tabelle 33).

**Tabelle 33:** Messung der Explosivstoff-Lösungen durch Auftropfen mit dem SEEKERe

Probe	Ergebnis SEEKERe	Reinheit*
<b>Nitroaromaten</b>		
2,4,6-TNT	Positiv (G 1)	84,6 %
Tetryl (3µl)	Positiv (G 1)	81,9 %
2,4-DNT	Negativ	K. A. m.
<b>Nitramine und Salpetersäureester</b>		
PETN	Positiv (G 2/3)	83,9 %
RDX	Positiv (G 2/3)	83,4 %
Nitroglycerin	Positiv (G 2/3)	81,5 %

\*Reinheit der Wischkarte nach der Beprobung

**Legende:**

Positiv (z. B. G 1): Detektion der korrekten Explosivstoffgruppe G 1

Negativ: keine Detektion erfolgt

K. A.: keine Angabe möglich

Da für einen Nachweis von Tetryl erfahrungsgemäß höhere Konzentrationen benötigt werden, wurde dieser Explosivstoff durch das Auftropfen der dreifachen Konzentration untersucht.

Der SEEKERe konnte alle Substanzen bis auf 2,4-DNT nachweisen und korrekt zuordnen. Möglicherweise war die Konzentration an Explosivstoff hier zu gering, um einen positiven Nachweis zu erhalten. Die Schnelltests lieferten bei allen Explosivstofflösungen einen positiven Nachweis.

- Beprobung der definiert kontaminierten Metalltür:  
Abschließend wurden die unterschiedlichen Explosivstoff-Lösungen auf eine Oberfläche aufgebracht und nachfolgend einmal bzw. dreimal pro Probenahme abgewischt und verschiedenen Schnelltests sowie dem Colorimeter zugeführt (siehe Tabelle 34).

**Tabelle 34:** Wischproben unterschiedlicher Explosivstoff-Lösungen im Test

Probe	SEEKERe	ExPen	IDenta	Ionscan 500 DT
<b>Nitroaromaten</b>				
2,4,6-TNT 1 x wischen	Positiv (G 1)	Positiv (Pen 1)	Negativ	Positiv TNT
2,4,6-TNT 3 x wischen	Positiv (G 1)	Positiv (Pen 1)	Negativ	-
Tetryl 1 x wischen	Negativ	Negativ	Negativ	Positiv Tetryl
Tetryl 3 x wischen	Positiv (G 1)	Positiv (Pen 1)	Positiv (General, IDT 0010, Lsg. 1)	-
2,4-DNT 1 x wischen	-	-	-	Positiv TNT
2,4-DNT 3 x wischen	Negativ	Negativ	Positiv (General, IDT 0010, Lsg. 1)	-
<b>Nitramine und Salpetersäureester</b>				
PETN 1 x wischen	-	-	-	Positiv PETN
PETN 3 x wischen	Negativ	Positiv (Pen 2)		-
RDX 1 x wischen	-	-		Positiv RDX
RDX 3 x wischen	Negativ	Positiv (Pen 2)		-
Nitroglycerin 1 x wischen	-	-		Positiv NG
Nitroglycerin 3 x wischen	Positiv (G 2/3)	Positiv (Pen 2)		-

**Legende:**

-: keine Messung durchgeführt

Negativ: keine Detektion erfolgt

Positiv (z. B. Pen 2): Detektion des korrekten Explosivstoffs mit Pen 2

Positiv (z. B. G 1): Detektion der korrekten Explosivstoffgruppe G 1

## Fazit

Zu Beginn der Messreihe (TNT und Tetryl) erfolgte eine Beprobung mit 1-mal Wischen. Um die Detektionswahrscheinlichkeit der Schnelltests und des Colorimeters zu erhöhen, wurden die Beprobungen (ab 2,4-DNT) für alle Stoffe auf 3-mal Wischen erhöht. Mit dem Ionenmobilitätsspektrometer wurde die Beprobung weiterhin mit 1-mal Wischen durchgeführt.

Mit keiner der Testmethoden (Colorimeter und Schnelltest) konnten alle Explosivstoffe der Nitroaromaten nachgewiesen werden. Der SEEKERe und der ExPen konnten auch durch 3-mal Wischen keinen positiven Nachweis für 2,4-DNT liefern. Der IDenta General zeigte zumindest einen leicht positiven Nachweis für 2,4-DNT, konnte jedoch das TNT nicht nachweisen.

Bei der Gruppe der Nitramine und Salpetersäureester erbrachte nur der ExPen einen sicheren positiven Nachweis für alle drei Vertreter.

Anmerkung: Bei wenigen Messungen mit dem SEEKERe konnte nach Entnahme der Beprobungskarte optisch ein schwach positiver Nachweis erkannt werden, welchen der SEEKERe jedoch vorher elektronisch nicht erfassen konnte.

Zusätzlich wurden mit dem Ionscan 500DT (Ionenmobilitätsspektrometer) Beprobungen aller Explosivstoffe durch 1-mal Wischen durchgeführt. Alle Ergebnisse entsprachen korrekten positiven Nachweisen.

### 4.3.3 Photoionisationsdetektor (PID)

Seit ihrer Einführung als Messverfahren bei der Freisetzung von Chemikalien vor etwa 20 Jahren finden Geräte, basierend auf dem Funktionsprinzip der Photoionisation, eine zunehmende Verbreitung bei den Einsatzorganisationen. Im Projekt wurden Photoionisationsgeräte in den beiden Messkampagnen in Heyrothsberge und in Kevelaer eingesetzt.

Erkenntnisse aus der Messkampagne IBK:

#### Fragestellung

Entstehen mögliche Querempfindlichkeiten durch die verwendeten Schaummittel bzw. in welchem Maß können Photoionisationsgeräte sinnvolle Ergebnisse bei Brandereignissen erzeugen?

## Durchführung

Bezüglich der Durchführung der Arbeiten sei auf die Beschreibung im Kapitel 2.2.9 Photoionisationsdetektor (PID) verwiesen.

Sofern bei einer Reinsubstanz der entsprechende Responsefaktor im Gerät hinterlegt war, wurde dieser bei den jeweiligen Messungen am Gerät eingestellt. Dies war bei Toluol, Xylol und Aceton bei beiden eingesetzten Photoionisationsgeräten der Fall. In allen anderen Fällen wurde mit der Standardkalibrierung (Isobuten, Responsefaktor 1,0) gemessen. Zum Einsatz kamen der Tiger von Ion Science Messtechnik und der MiniRae 3000 der Firma RAE Systems.

## Ergebnisse

Die folgende Tabelle 35 gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

**Tabelle 35:** Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Photoionisationsdetektoren

Versuchsaufbau	Gerät	Ergebnis
Hintergrund Brandhalle	TIGER	0,5 ppm
	MiniRAE 3000	0,1 ppm
Sthamex F-15 (Schaummittel)	TIGER	Keine Detektion
	MiniRAE 3000	Keine Detektion
Benzinbrand	TIGER	1,3 ppm
	MiniRAE 3000	1,1 ppm
Benzinbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	TIGER	80 ppm
	MiniRAE 3000	60 ppm
Toluol	TIGER	300 ppm
	MiniRAE 3000	144 ppm
Toluolbrand	TIGER	5 ppm
	MiniRAE 3000	8 ppm



Versuchsaufbau	Gerät	Ergebnis
Xylolbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	TIGER	80 ppm
	MiniRAE 3000	170 ppm
Acetonitril	TIGER	18 ppm
	MiniRAE 3000	40 ppm
Acetonitrilbrand	TIGER	10 ppm
	MiniRAE 3000	10 ppm
Acetonitrilbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	TIGER	7 ppm
	MiniRAE 3000	7 ppm
Solberg RF6 (Schaummittel)	TIGER	Keine Detektion
	MiniRAE 3000	Keine Detektion
Acetonitrilbrand, gelöscht mit Solberg RF6	TIGER	10 ppm
	MiniRAE 3000	10 ppm
Aceton	TIGER	3.000 ppm
	MiniRAE 3000	2.000 ppm
Acetonbrand	TIGER	Keine Detektion
	MiniRAE 3000	Keine Detektion
Acetonbrand, gelöscht mit Solberg RF6	TIGER	50 ppm
	MiniRAE 3000	40 ppm
Holzbrand mit Polypropylen	TIGER	10 ppm
	MiniRAE 3000	12 ppm
Holzbrand mit Polyurethan	TIGER	4 ppm
	MiniRAE 3000	10 ppm

## Auswertung

In einem ersten Schritt wurde die Hintergrundbelastung der großen Brandhalle ermittelt. Da diese bereits seit vielen Jahren intensiv genutzt wurde, bestand die Möglichkeit, dass Reststoffe bzw. Brandprodukte von vorangegangenen Versuchen die Messergebnisse stören könnten. Die Messwerte auf den beiden eingesetzten

Photoionisationsgeräten bewegten sich aber im Rahmen der üblichen Schwankungen. Die Messwerte in der Halle lagen nur knapp über 0,0 ppm (sauberer Umgebungsluft); Messwerte im Rahmen von etwa 0,5 ppm treten erfahrungsgemäß praktisch überall auf und sind immer auf geringe Mengen von ionisierbaren Stoffen in der Umgebungsluft zurückzuführen.

Zusätzlich wurden im Lauf der Versuche die unbenutzten, vorbereiteten Schaummittel vermessen. Auch hier konnten keine ionisierbaren Bestandteile festgestellt werden.

Die Reinsubstanzen zeigten vor den Brandversuchen wie erwartet ein deutliches Messsignal, wobei das Signal der Acetondämpfe aufgrund des hohen Dampfdrucks und der daraus resultierenden hohen Flüchtigkeit am stärksten ausfiel. Das Messsignal um 20 bis 40 ppm bei reinem Acetonitril beruhte vermutlich auf Lösungsmittelresten aus dem Vorversuch. Acetonitril mit einer Ionisierungsenergie von 12,2 eV kann mit einer Lampenenergie von 10,6 eV, wie sie im verwendeten Photoionisationsdetektor zur Anwendung kommt, nicht detektiert werden. Die Brandgase von Toluol erzeugten nur ein schwaches Messsignal, welches bei ungefähr 10 ppm lag. Die geringe Signalintensität könnte entweder auf unverbrannte Lösungsmitteldämpfe oder auf einen sehr geringen Anteil ionisierbarer Brandabbauprodukte zurückzuführen sein. Benzin und Aceton zeigten die geringsten Messsignale, hier fand allem Anschein nach eine fast vollständige Verbrennung hin zu CO<sub>2</sub> statt. Der Brandrauch des Xylolfeuers wurde wegen der sehr starken Rußbildung nicht vermessen. Die Feststoffe Polypropylen und Polyurethan setzten durch den Brand nachweisbare Abbauprodukte frei, die mit dem Photoionisationsdetektor jedoch nicht identifiziert werden können (siehe Kapitel 2.2.1 Prüfröhrchen).

Die Messergebnisse mittels Photoionisationsdetektor bestätigten den beim Einsatz von Prüfröhrchen gewonnenen Eindruck, dass aufgeheizte Lösungsmitteldämpfe die abdeckende Schicht aus Löschschaum bis zu einem gewissen Grad durchdringen konnten.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Photoionisationsgeräte ein geeignetes Messmittel darstellen, um eine grobe Belastung (im Sinn von Vorhandensein einer Luftverunreinigung) der Brandrauche mit ionisierbaren Stoffen zu erfassen. Sollte diese Messmethode in einem realen Einsatz angewendet werden, ist anschließend der bei den Geräten vorhandene Staubfilter auf Rußablagerung hin zu überprüfen und nötigenfalls auszuwechseln.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

## **Fragestellung**

Können Photoionisationsgeräte zur Feststellung einer Belastung der Raumluft eingesetzt werden, um eine Gefährdung für vorgehende Einsatzkräfte frühzeitig zu erkennen?

## **Durchführung und Ergebnisse**

In einem Raum wurde eine Freisetzungsquelle für relevante Substanzen erzeugt. Mittels langsamen Vorangehens in den Raum wurde mit den Photoionisationsgeräten eine Belastung der Raumluft festgestellt. Der erste Anstieg des Messsignals erfolgte etwa in drei Meter Entfernung zur Quelle und war durch ein langsames, aber stetiges Ansteigen des Messsignals über den örtlichen Hintergrund zu erkennen. In der direkten Umgebung (etwa 30 cm Entfernung) der Freisetzungsquelle betrug dann das Messsignal 10 ppm.

## **Auswertung**

Da für die relevanten Szenarien oft Substanzen wichtig sind, die eine Ionisationsenergie unter 10,6 eV haben, können Photoionisationsgeräte ein gut geeignetes Messmittel sein, um eine Luftbelastung schnell feststellen zu können. Im ersten Schritt ist es hierbei unwichtig, um welche konkrete Substanz es sich handelt, da zunächst der Eigenschutz der Einsatzkräfte entscheidend ist.

### **4.3.4 Ionenmobilitätsspektrometer**

Die IMS-Technologie kommt ursprünglich aus der Militärforschung und hat in erster Linie die Aufgabe, chemische Kampfstoffe in einem noch nicht tödlich wirkenden Konzentrationsbereich zu detektieren und zu identifizieren. Während keiner der Messkampagnen wurden jedoch solche hochtoxischen Substanzen verwendet. Im Verlauf der Evaluation standen deshalb das Verhalten bzw. der Abfall der Reaktantionen und das Verhalten im Bereich falsch positiver Identifizierungen im Fokus.

Erkenntnisse aus der Messkampagne IBK:

## Fragestellung

Führen verschiedene Freisetzen zu Fehlidentifikationen und wie verhält sich das Niveau der Reaktationen (sofern diese am Gerät angezeigt werden)?

## Durchführung

Die Vermessung der Chemikaliendämpfe erfolgte gleichzeitig mit dem Einsatz der PID-Geräte (siehe Kapitel 4.3.3), d. h., eine Einschätzung über die grobe Belastung der Luft mit Chemikaliendämpfen und nachweisbaren Brandabbauprodukten kann dort entnommen werden.

## Ergebnisse

Die folgende Tabelle 36 gibt einen Überblick über die erhaltenen Ergebnisse. Bei starker Rußentwicklung wurden teilweise Messungen mit dem mRAID bzw. LCD 3.3 nicht durchgeführt, entsprechende Einträge in der Tabelle fehlen dann (z. B. „Benzinbrand“).

**Tabelle 36:** Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Ionenmobilitätsspektrometern

Versuchsaufbau	Gerät	Ergebnis
Sthamex F-15 (Schaummittel)	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 5 Balken
	mRAID	–
	LCD 3.3	–
Benzin	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 6 Balken
	mRAID	–
	LCD 3.3	–
Benzinbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 1 Balken

Versuchsaufbau	Gerät	Ergebnis
Toluol	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 1 Balken
	mRAID	Anstieg: 2 Balken „+“
	LCD 3.3	-
Xylolbrand, gelöscht mit Sthamex F-15	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 4 Balken
	mRAID	Anstieg: 4 Balken „+“
	LCD 3.3	Identifikation: GB, 4 Balken
Acetonitril	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 0 Balken
	mRAID	Anstieg: 4 Balken „+“
	LCD 3.3	-
Acetonitrilbrand	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 2 Balken Abfall RIN: 6 Balken → 5 Balken Identifikation: ACK, ½ Balken
	mRAID	Identifikation: AC, 5 Balken
	LCD 3.3	Identifikation: AC, 6 Balken
Solberg RF6 (Schaummittel)	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 4 Balken
	mRAID	Anstieg: 2 Balken „+“ Identifikation: AC, 1 Balken
	LCD 3.3	-
Acetonitrilbrand, gelöscht mit Solberg RF6	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 4 Balken
	mRAID	Identifikation: AC, Vollausschlag
	LCD 3.3	Identifikation: GA, 1 Balken
Aceton	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 0 Balken
	mRAID	Anstieg: 4 Balken „+“
	LCD 3.3	-
Acetonbrand	RAID-M100	Abfall RIP: 6 Balken → 1 Balken
	mRAID	-
	LCD 3.3	-

Versuchsaufbau	Gerät	Ergebnis
Acetonbrand, gelöscht mit Solberg RF6	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 1 Balken
	mRAID	Identifikation: GA, 4 Balken
	LCD 3.3	Identifikation: GA, 1 Balken
Holzbrand mit Polypropylen	RAID-M100	-
	LCD 3.3	-
Holzbrand mit Polyurethan	RAID-M100	Abfall RIP: 7 Balken → 2 Balken Abfall RIN: 6 Balken → 3 Balken
	LCD 3.3	-

**Legende:**

- : keine Anzeige (Änderung Reaktantionen bzw. Identifikation)
- RIP: Reaktantionen positiv
- RIN: Reaktantionen negativ
- +: Anstieg der internen Verschmutzung
- AC: Bibliothekseintrag Blausäure
- ACK: Bibliothekseintrag Blausäure, Chlorcyan (Summeneintrag)
- GA: Bibliothekseintrag Tabun
- GB: Bibliothekseintrag Sarin

Die Anzeige bzw. die Gestaltung des Gerätedisplays unterscheidet sich bei den drei verwendeten IMS-Geräten.

Das RAID-M100 stellt zum einen das Niveau der positiven und negativen Reaktantionen mittels einer Balkenanzeige dar. In sauberem Zustand vor den Messungen lag die Balkenanzeige bei 7 bzw. 6 Balken im Positiven und Negativen. Zusätzlich werden bei einer Identifikation in zwei Zeilen die Substanz (als Kürzel aus der Bibliothek) und die jeweilige Konzentration (als eine bestimmte Anzahl in Balken) angezeigt. Die tatsächlich gemessene Konzentration kann aus der zugehörigen Dokumentation zur Bibliothek in ppm oder mg/m<sup>3</sup> abgelesen werden.

Das mRAID stellt die Identifikationen in gleicher Weise dar, jedoch gibt es keine Anzeige der Reaktantionen, stattdessen wird die interne Verschmutzung angezeigt. Dringen detektierbare Substanzen ein, fallen die Reaktantionen im Gerät ab und auf dem Display wird dieser Abfall als Anstieg angezeigt, sog. Schmutzbalken.

Das LCD 3.3 zeigt bei der Identifikation einer Substanz das zugehörige Substanzkürzel gemäß Bibliothek an, die zugehörige Konzentration wird auch als eine

Anzahl Balken angegeben. Eine Bestimmung der Konzentration erfolgt hier ebenfalls über die Dokumentation der Bibliothek.

## Auswertung

Sofern eine Substanz durch die IMS-Technologie detektiert werden kann, zeigt sich besonders beim RAID-M100 ein Abfall der entsprechenden Reaktantionen, der je nach Konzentration der Substanz in der Umgebungsluft stärker oder schwächer ausfällt. Das RAID-M100 kann hier als breitbandiges Detektionsgerät eingesetzt werden. Teilweise zeigt auch das mRAID dieses Verhalten, jedoch scheint es weniger nachweisstark zu sein. Da das LCD 3.3 keine vergleichbare Anzeigemöglichkeit auf dem Display bietet, ist es für eine solche Aufgabenstellung nicht nutzbar.

Sämtliche Identifikationsanzeigen müssen bei allen IMS-Geräten mit großer Vorsicht betrachtet werden, da in allen Fällen eine undefinierte Substanzmischung vorlag. Teilweise kam es zu einer Identifizierung beim Verbrennen der Substanz (Reinsubstanz und Brandprodukte), teilweise auch nach dem Ablöschen mit Schaummittel (Reinsubstanz, evtl. Brandprodukte und Bestandteile des Schaummittels). Die Aussagekraft ist in solchen komplexen Situationen für Ionenmobilitätsspektrometer extrem eingeschränkt. Ob beim Verbrennen von Acetonitril tatsächlich Blausäure (AC bzw. ACK) entsteht, wäre chemisch gesehen möglich, und die Ergebnisse der Versuche mit Prüfröhrchen (Kapitel 4.3.1) deuten darauf hin. Dieser Sachverhalt wurde jedoch nicht mit weiterer analytischer Messtechnik, z. B. GC-MS-Systemen, untersucht.

Als Fazit muss klargestellt werden, dass IMS-Geräte beim Vorhandensein von Substanzmischungen in der Luft nicht eingesetzt werden sollten, zumal bei einer internen Verschmutzung mit Ruß das Gerät erst nach einer aufwendigen Reinigung und Überprüfung durch den Hersteller wieder einsatzbereit wäre.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

## Fragestellung

Kann ein IMS-Gerät mit Anzeige der Reaktantionen zur Messung der Belastung der Raumluft als allgemeines Warngerät (z. B. aus Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes) genutzt werden und einen Hinweis auf kontaminierte Umgebungsluft geben?

## Durchführung

Eingesetzt wurde das RAID-M100, die Durchführung erfolgte gemeinsam mit den PID-Messungen (siehe Kapitel 4.3.3).

## Ergebnisse

Das Ausgangsniveau der Reaktantionen betrug zu Beginn der Messungen 7 Balken für die positiven (RIP) und 6 Balken für die negativen Reaktantionen (RIN).

Bei der Annäherung an die Freisetzungsquelle auf 3 m betrug die RIP 6 Balken, die RIN blieben stabil bei 6 Balken. In 2 m Entfernung lagen die RIP bei 4 Balken und die RIN bei 6 bis 5 Balken. In direkter Nähe (30 cm Abstand) zur Quelle lagen die RIP bei 1 Balken, zusätzlich erfolgte für eine Simulationssubstanz eine Identifizierung mit Vollausschlag, die RIN lagen bei 3 Balken.

Beim Zurückgehen auf 2 m Entfernung hatten sich sowohl RIP als auch RIN innerhalb einiger Sekunden wieder auf jeweils 6 Balken regeneriert.

## Auswertung

Eine Verwendung von IMS-Geräten mit Anzeige der Reaktantionen zum Zweck des Eigenschutzes von Einsatzpersonal (Arbeitsschutz) ist möglich, jedoch muss vorher Klarheit darüber herrschen, ob die Zielsubstanzen durch die Messmethode Ionenmobilitätsspektrometrie erfasst werden. Zudem muss das Einsatzpersonal in der Lage sein, die Anzeigen am Gerät folgerichtig zu interpretieren.

### 4.3.5 Raman-Spektroskopie

Mittels Raman-Spektroskopie können Proben jedes Aggregatzustandes zum Teil zerstörungsfrei sowie ohne Probenvorbereitung vermessen werden. Mit geräte-technischen Anpassungen wie verringerter Laserleistung, verzögerter Laserauslösung oder einem defokussierten Laserstrahl können sogar energiereiche Stoffe (z. B. Explosivstoffe) identifiziert werden. Die Raman-Spektroskopie kann ergänzend zur IR-Spektroskopie eingesetzt werden.



Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

### Allgemeine Informationen

- Messungen durch:  
FirstDefenderRM (Gemischerkennungsalgorithmus) und IDRaman mini (Einzelstofferkennungsalgorithmus)
- Verwendete Proben:  
vom BKA bereitgestellte Proben von Explosivstoffen, Betäubungsmitteln sowie deren Vorläufersubstanzen, Zwischenprodukte, Syntheseabfälle und Lösungsmittel

### Durchführung

Im IDRaman mini sind keine Bibliothekseinträge für die verwendeten Gemische (Zwischenprodukte, Syntheseabfälle und verkaufsfertige Drogen) hinterlegt. Daher erfolgte eine Untersuchung dieser Stoffe lediglich sporadisch. Die Messungen von Explosivstoffen erfolgten ausschließlich mit dem IDRaman mini im Raster-Orbital-Scan-Modus.

Der Hersteller des FirstDefenderRM rät davon ab, dunkle Proben wie Schwarzpulver zu vermessen, da es zu einer Entzündung der Stoffe kommen kann. Mit dem First Defender RM erfolgte grundsätzlich keine Untersuchung von Explosivstoffen.

Generell sollte bei Verdacht auf Explosivstoffe bzw. beim Vorliegen von dunklen Proben vor der Messung Rücksprache mit den Entschärfern vor Ort gehalten werden. Weitere Sicherheitsvorkehrungen: Arbeiten mit verminderter Laserleistung und Belichtungszeit (sinnvolles Minimum 50 ms), Verwendung kleinster Mengen, Außenmessung bzw. im offenen Vial, evtl. vorherige Brennprobe mit kleinster Menge.

### Ergebnisse

Die detaillierten Ergebnisse finden sich in Anlage 5, Tabelle 1. Vorläufersubstanzen, Lösungsmittel und Hilfsstoffe zur Herstellung von Betäubungsmitteln konnten mit beiden Geräten sicher identifiziert werden, sofern das Spektrum des Stoffes in der Bibliothek hinterlegt war und es sich um einen Reinstoff handelte. Im

Fall von Kokain 96 % (Nr. 21) und 3,4-Methylenedioxy-N-methyl-amphetamin, MDMA (Nr. 15) waren keine Vergleichsspektren in der Bibliothek des IDRaman mini hinterlegt. Von beiden Stoffen konnten mit dem IDRaman mini erfolgreich Bibliothekseinträge erstellt werden. Zusätzlich wurden mit dem IDRaman mini im ROS-Modus die pulverförmigen Explosivstoffe Hexogen (RDX) sowie 2,4,6-Trinitrotoluol (TNT) identifiziert.

Eine Grobklassifizierung von Zwischenprodukten mehrstufiger Synthesen oder nicht aufgereinigter Endprodukte war mit dem FirstDefenderRM ausschließlich bei nicht aufgereinigter MDMA-Base möglich. Hier konnte mit unsicherem Ergebnis Dihydrosafrol als Ausgangsstoff der MDMA-Synthese nachgewiesen werden. Oft waren zwar die Stoffspektren der Einzelstoffe hinterlegt, jedoch war die Konzentration an illegalem Stoff im Gemisch bzw. die Intensität der Banden zu gering, um identifiziert zu werden. Die fehlenden Gemisch-Spektren in der Bibliothek des IDRaman mini ließen grundsätzlich keine Identifizierung zu. Die Aufnahme solcher Spektren in die Spektrenbibliothek scheiterte aufgrund der geringen Konzentration an Zielanalyt in den Gemischen (siehe Anlage 5, Tabelle 1, Nr. 5/6). Bei einem verschnittenen Betäubungsmittel (siehe Anlage 5, Tabelle 1, Nr. 6 Kokain + Coffein sowie Nr. 13 Amphetamin und Coffein) vermochte der FirstDefenderRM lediglich das Verschnittmittel zu identifizieren. Diese Aussage muss nicht zwingend auf jede Konstellation von Betäubungsmittel und Verschnittstoffen zutreffen. Es kommt auch hier auf die Konzentration des Betäubungsmittels sowie auf die unterschiedliche Bandenlage und -intensität der jeweiligen Bestandteile an.

Wässrige und organische Syntheseabfälle konnte der FirstDefenderRM nicht identifizieren. Gründe dafür sind die häufig zu geringen Konzentrationen an Zielanalyt, verbunden mit einer Schwächung des Laserstrahls in den Lösungen. In einigen Fällen konnte ein Bibliotheksabgleich stattfinden, die Ergebnisse der Bibliotheks-suche waren jedoch nicht korrekt (siehe Anlage 5, Tabelle 1, Nr. 3. Wässriger Abfall aus Wasserdampfdestillation einer Amphetamin-Synthese).

## Fazit

Die Identifizierung von Reinstoffen ist für Raman-Spektrometer bei vorhandener Raman-Aktivität sowie gleichzeitiger geringer Fluoreszenz und hinterlegtem Bibliothekseintrag grundsätzlich sehr gut, schnell und ohne Probenvorbereitung möglich.

Für die Detektierbarkeit von Zwischenprodukten aus mehrstufigen Synthesen müssen die Einzelspektren der Bestandteile (für die Verwendung eines Gemischerkennungsalgorithmus) bzw. die Spektren der Gemische (für die Einzelstofferkennung) in den Bibliotheken hinterlegt sein. Zudem muss die illegale Substanz

in einer ausreichend hohen Konzentration im Gemisch vorliegen. Für eine erfolgreiche Identifizierung spielen die Raman-Aktivität, evtl. auftretende Fluoreszenz und die Bandenlage der einzelnen Bestandteile eine ebenso wichtige Rolle. Bei der Identifizierung von Stoffen in verdünnten Lösungen kommt zusätzlich erschwerend die Schwächung des Laserstrahls hinzu.

Die Benennung der Stoffe in den kommerziell erhältlichen Gerätebibliotheken unterschiedlicher Hersteller ist nicht einheitlich, und nicht jedes Gerät verfügt über Zusatzinformationen der identifizierten Stoffe. Daher erfordert die Auswertung der Ergebnisse eine Person mit gutem Fachwissen auf dem Gebiet der zu erwartenden Analyte (z. B. über Synthesewege und Zwischenprodukte sowie über Trivialnamen und Abkürzungen von Betäubungsmitteln).

Bedingt durch den hohen Energieeintrag durch den Laser des Raman-Spektrometers besteht bei der Untersuchung von Explosivstoffen die Gefahr, dass diese unkontrolliert umsetzen können. Die Möglichkeit einer Raman-spektroskopischen Untersuchung von Explosivstoffen muss daher beim Verdacht auf Vorliegen einer solchen Probenart mit den zuständigen Entschärfern vor Ort abgeklärt werden! Gegebenenfalls kann eine Brennprobe durch einen Explosivstoffexperten vor der Untersuchung erfolgen. Ergibt sich ein stark beschleunigter Abbrand, sollte eine Raman-Untersuchung unterbleiben. Auch ein Mörsern der Probe sollte vor Klärung der Stabilität der Probe unterbleiben, da hochenergetische Stoffe vielfach auch druckempfindlich sind. Wird eine Messung durchgeführt, sollte auf die Einstellung milderer Messbedingungen (Belichtungszeit, Laserleistung) geachtet und eine zeitverzögerte Laserauslösung oder das ROS genutzt werden.

#### 4.3.6 ATR-FTIR-Spektroskopie

Bei der mobilen Nutzung der ATR-FTIR-Spektroskopie beschränkt sich die Zugänglichkeit vorrangig auf flüssige, feste oder pastöse Proben. Feste Proben sollten vor der Messung gemörsert werden, um eine maximale Homogenität und einen guten Kontakt zum Kristall zu gewährleisten. Die ATR-FTIR- und die Raman-Spektroskopie ergänzen sich in ihrer Aussagekraft.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

#### Allgemeine Informationen

- Messungen durch:  
TruDefender FTX mit Gemischerkennungsalgorithmus

- **Verwendete Proben:**  
vom BKA bereitgestellte Proben von Explosivstoffen, Betäubungsmitteln sowie deren Vorläufersubstanzen, Zwischenprodukte, Syntheseabfälle und Lösungsmittel

## **Durchführung**

Die verwendeten Feststoffe wurden vor der Messung fein im Mörser zerrieben.

## **Ergebnisse**

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich in Anlage 5, Tabelle 2. Vorläufersubstanzen, Lösungsmittel und Hilfsstoffe zur Herstellung von Betäubungsmitteln konnten mit dem TruDefender FTX sicher identifiziert werden, sofern das Spektrum des Stoffes in der Bibliothek hinterlegt war und es sich um einen Reinstoff handelte.

Eine Grobklassifizierung von Zwischenprodukten mehrstufiger Synthesen oder nicht aufgereinigter Endprodukte war mit dem TruDefender FTX nur im Fall von nicht aufgereinigter MDMA-Base (Nr. 17) erfolgreich. Hier konnte mit unsicherem Ergebnis Dihydrosafrol als Ausgangsstoff der MDMA-Synthese nachgewiesen werden. Oft waren zwar die Stoffspektren der Einzelstoffe hinterlegt, jedoch war die Konzentration an illegalem Stoff im Gemisch bzw. die Intensität der IR-Absorptionen zu gering, um identifiziert zu werden. Bei verschnittenen Betäubungsmitteln, z. B. Kokain und Coffein (Nr. 20) sowie Amphetamin und Coffein (Nr. 9), vermochte der TruDefender FTX lediglich das Verschnittmittel zu identifizieren. Diese Aussage muss nicht zwingend auf jede Konstellation von Betäubungsmittel und Verschnittstoff(e) zutreffen. Es kommt auch hier auf die Konzentration des Betäubungsmittels sowie auf die unterschiedliche Bandenlage und -intensität der jeweiligen Bestandteile an.

Wässrige und organische Syntheseabfälle konnte der TruDefender FTX nicht identifizieren. Gründe dafür sind die häufig zu geringen Konzentrationen an Zielanalyt, verbunden mit einer Schwächung der IR-Strahlung in den Lösungen bzw. einer zu hohen Eigenabsorption von Wasser als Lösungsmittel.

Die vorhandenen Explosivstoffe und Explosivstoff-Zubereitungen konnten sehr gut identifiziert werden. Voraussetzungen dafür sind dabei eine entsprechend hohe Konzentration wie auch ein hinterlegtes Bibliotheksspektrum.

## Fazit

Die Identifizierung von Reinstoffen ist für IR-Spektrometer bei ausreichend vorhandener IR-Aktivität und hinterlegtem Bibliothekseintrag grundsätzlich sehr gut, schnell und mit geringer Probenvorbereitung möglich.

Für die Detektierbarkeit von Zwischenprodukten aus mehrstufigen Synthesen müssen die Einzelspektren der Bestandteile (für die Verwendung eines Gemisch-erkennungsalgorithmus) bzw. die Spektren der Gemische (für die Einzelstofferkennung) in den Bibliotheken hinterlegt sein. Zudem muss die illegale Substanz in einer ausreichend hohen Konzentration im Gemisch vorliegen. Für eine erfolgreiche Identifizierung spielen die IR-Aktivität der Probe und die Bandenlage der einzelnen Bestandteile (bei Gemischen) eine ebenso wichtige Rolle. Bei der Identifizierung von Stoffen in verdünnten wässrigen Lösungen kommen erschwerend die hohe Eigenabsorption von Wasser und die Veränderung der Stoffe durch eventuelle Dissoziation hinzu.

Die Benennung der Stoffe in den kommerziell erhältlichen Gerätebibliotheken unterschiedlicher Hersteller ist nicht einheitlich und nicht jedes Gerät verfügt über Zusatzinformationen der identifizierten Stoffe. Daher erfordert die Auswertung der Ergebnisse eine Person mit gutem Fachwissen auf dem Gebiet der zu erwartenden Analyte (z. B. über Synthesewege und Zwischenprodukte sowie über Trivialnamen und Abkürzungen von Betäubungsmitteln).

Die Messung von Explosivstoffen mit Probenstich und Andruckstempel kann besonders bei Initialsprengstoffen zu deren unkontrollierter Zersetzung führen. Auch ein Mörsern der Probe sollte vor Klärung der Stabilität der Probe unterbleiben, da Initialsprengstoffe äußerst druckempfindlich sind. Die Möglichkeit einer IR-spektroskopischen Untersuchung von Explosivstoffen muss daher beim Verdacht auf Vorliegen einer solchen Probenart mit den zuständigen Entschärfnern vor Ort abgeklärt werden.

### 4.3.7 Infrarot-Spektroskopie – Fernerkundung

Die passive Infrarot-Fernerkundung ermöglicht es, große Mengen gasförmiger (IR-aktiver) Gefahrstoffe zu lokalisieren und zu identifizieren. Unter bestimmten gerätetechnischen Voraussetzungen kann eine Gefahrstoffwolke auch in Echtzeit verfolgt werden. Die Anwendung dieser Messtechnik erfordert viel Übung und Erfahrung.

Die passiven IR-Fernerkundungsgeräte SIGIS 2 und HI 90 der Firma Bruker Optik wurden teilweise in den drei Messkampagnen auf unterschiedliche Fragestellungen hin geprüft. Im Folgenden werden Rahmenbedingungen, Durchführung und Ergebnisse der einzelnen Messkampagnen näher erläutert.

Erkenntnisse aus Messkampagne IBK:

## **Zielstellung**

Die Evaluierung der Querempfindlichkeiten von passiven Infrarot-Fernerkundungssystemen durch das Auftreten von Störeinflüssen während der Überwachung von Großveranstaltungen.

## **Fragestellungen**

Aus dem Szenario „Großveranstaltung“ ergaben sich drei Fragestellungen für die Fernerkundungssysteme HI 90 und SIGIS 2, die innerhalb der Messkampagne geklärt werden sollten:

- a) Kann es durch Abbrandprodukte von pyrotechnischen Erzeugnissen zu falsch positiven Fehlalarmen kommen? Führt die Zündung des Feuerwerksartikels zu einer sonstigen Einschränkung der Leistungsfähigkeit der Messgeräte?
- b) Können sonstige Störeinflüsse, wie sie bei Großveranstaltungen zu erwarten sind, zu Problemen mit der Messtechnik (falsch positive Detektion) führen?
- c) Erschweren die entsprechenden Störeinflüsse die Detektion von vormals richtig erkannten Chemikalien? Kann Aceton-Dampf auch bei gleichzeitiger Emission von Nebelaerosolen noch erkannt werden?

## **Rahmenbedingungen**

In einem Brandkanal, in dessen Mitte sich eine beheizbare Wand befindetet, wurden gezielt Störstoffe ausgebracht. Die Gefahrstoffwolke wurde durch Aceton-Dampf definierter Konzentration in einer verschlossenen Küvette realisiert und im Brandkanal platziert. Die Messungen beider Fernerkundungssysteme erfolgten parallel.

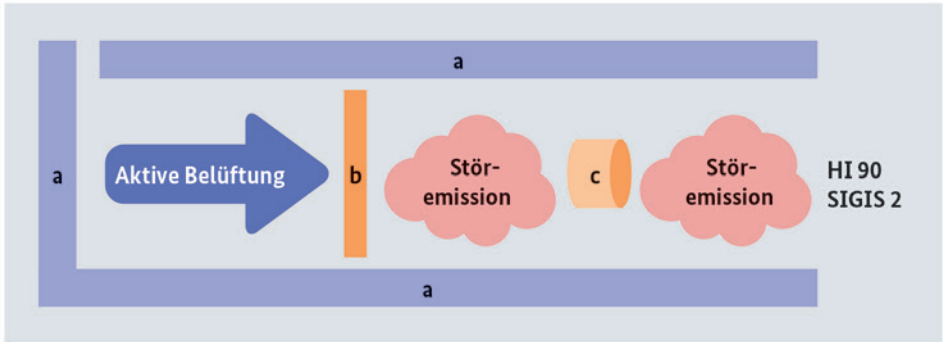
## Durchführung

Zur Evaluierung der Querempfindlichkeit von passiven Infrarot-Fernerkundungssystemen bei der Überwachung von Großveranstaltungen wurden durch die SEM-FreS-Projektpartner relevante Störstoffe identifiziert. Die ausgewählten Störstoffe sind Grillrauch, Pyrotechnik und Nebelfluide, wie sie bei Großveranstaltungen oft verwendet bzw. erzeugt werden.

### Störeinflüsse

- Die pyrotechnische Störemission wird durch das Abbrennen verschiedener Pyrotechnik zwischen der beheizbaren Wand und der Küvette erzeugt. Um den Einfluss der Störemission auch vor der eigentlichen Gefahrstoffwolke (Gasküvette) zu Evaluieren, wurde die Störstoffwolke mit Hilfe eines Überdrucklüfters vor die Küvette geschoben. Dementsprechend kann der Einfluss der Störemission vor und hinter der Küvette beurteilt werden.
- Zur Untersuchung der Querempfindlichkeit bezüglich Nebelfluid, wurde ein Fluid des Herstellers MEGASTAR verwendet. Die Herstellerbezeichnung des Nebelfluides ist OPEN AIR. Dieses Fluid wurde ausgewählt, da es laut Produktbeschreibung zur Herstellung sehr starker und dichter Nebelwolken im Außenbereich verwendet werden kann. Die Störemission wurde mit Hilfe einer herkömmlichen Disco-Nebelmaschine vor und hinter der Gasküvette erzeugt.
- Zwei Einweggrills mit einer Gesamtfläche von ca. 0,30 m x 0,50 m dienten zur Erzeugung des Grillrauchs, der als Störstoff fungieren sollte. Die beiden Einweggrills wurden angezündet und für die jeweiligen Messungen kurz vor oder hinter der Gasküvette platziert, um die Querempfindlichkeit bezüglich Grillrauchs zu Evaluieren.

Die folgende Abbildung 37 zeigt den verwendeten Messaufbau beim IBK in Heyrothsberge.



**Abbildung 37:** Versuchsaufbau zur Evaluierung passiver Ferndetektion beim IBK  
Quelle: WIS

Der Messaufbau besteht aus einem 28 m langen, 3 m breiten und 2,5 m hohen Brandkanal (a), in dessen Mitte sich eine beheizbare Wand (b) befindet. Diese Wand ist auf ca. 16 °C geheizt und fungiert als thermischer Hintergrund für die passiven Messsysteme. Vor dieser Wand, in Richtung der Messsysteme im Abstand von ca. 14 m, befindet sich eine Gasküvette (c), in die das zu detektierende Gas gefüllt wird. Die Küvette selbst ist 0,2 m lang und besitzt einen Durchmesser von 0,3 m. Um ein Entweichen des Gases zu verhindern, wurde die Küvette mit HDPE-Folie verschlossen. HDPE-Folie ist im relevanten Spektralbereich ( $780$  bis  $1.500\text{ cm}^{-1}$ ) nahezu transparent und daher gut für diesen Messaufbau geeignet.

Die zu Evaluierenden passiven Fernerkundungssysteme HI 90 und SIGIS 2 wurden im Abstand von 5 m vor den Brandkanal platziert. Das zu Evaluierende passive Fernerkundungssystem HI 90 wurde im Abstand von 5 m vor den Brandkanal platziert. Somit ergibt sich für das SIGIS 2 eine Auflösung des Detektionsbildes von  $5 \times 5\text{ cm}^2$  und für das HI 90 von  $0,35 \times 0,35\text{ cm}^2$  pro Messpunkt. Dies ergibt sich aus dem verwendeten Detektor und dem „Field of View“ der verwendeten Optik sowie dem Abstand zum Messobjekt. Beide Messsysteme wurden so platziert, dass die Messungen parallel durchgeführt werden konnten. Der Einsatzleitwagen, der ATF-Berlin, diente als zentraler Mess- und Leitwagen. Dieser verfügte über ein eigenes Strom- und Datennetz sowie über ausreichend Monitore, um beide Systeme betreiben zu können. Der Vergleich der Messergebnisse des SIGIS 2 mit denen des Hi 90 direkt vor Ort ermöglichte eine ständige Kontrolle der Versuchsdurchführung. Bei Abweichungen konnte sofort reagiert werden. Zur Simulation der Gefahrstoffwolke wurde eine Küvette mit einer definierten Gaskonzentration befüllt. Als Simulant für den Gefahrstoff wurde Aceton verwendet, das durch Verdampfen mit Hilfe eines Prüfgasgenerators in die Gasphase überführt wurde. Die tatsächliche



Gaskonzentration in der Küvette wurde permanent mit einem Photoionisationsdetektor (Tiger) überwacht.

## Ergebnisse HI 90 und SIGIS 2

Vor der Durchführung der Messungen wurden durch die Fernerkundungs-Softwaresysteme die Referenzen Aceton\_Fog und Aceton\_Firework festgelegt bzw. berechnet. Mit diesen Referenzen konnten typische Störstoffe definiert werden, die beim Abbrand von Feuerwerkskörpern (Aceton\_Firework) bzw. beim Einsatz von Nebelfluid (Aceton\_Fog) entstehen. Beide Referenzen optimierten den Identifikationsalgorithmus, auf dem die automatische Identifikation beruhte.

### Zu Fragestellung a)

Bei zwei von sieben Versuchen kam es zu Fehlalarmen. Bei dem Fehlalarm handelte es sich um den chemischen Kampfstoff VX. Die Alarme wurden als Fehlalarme definiert, aufgrund geringer Identifizierungswahrscheinlichkeit sowie willkürlicher Verteilung der identifizierten Pixel. Zudem wurde das gemessene IR-Spektrum mit dem hinterlegten Referenzspektrum von VX abgeglichen, dabei kam es zu keiner Übereinstimmung. Eine zeitgleiche Identifizierung des Zielstoffes war trotz Auftreten der Fehlalarme möglich.

In Bezug auf die Einschränkung der Leistungsfähigkeit der Messgeräte durch Zündung von Feuerwerksartikeln zeigte sich, dass durch extrem dichten Rauch (Sichtweiten unter 5 cm) die IR-Transmission der Atmosphäre vermindert wurde. Dadurch gelangte kaum thermische Strahlung des Hintergrundes zum Detektor, die Detektion des Zielstoffes war dann nicht mehr möglich. Sobald jedoch die Dichte des Rauches etwas abnahm, war eine Detektion des Zielstoffes wieder möglich.

### Zu Fragestellung b)

Bei starken Nebelwolken und Grillrauch, weiteren Störeinflüssen, die bei einer Großveranstaltung zu erwarten sind, konnte der Zielstoff durchgängig identifiziert werden. Mit dem Anstieg schlechter Sichtverhältnisse konnte lediglich eine geringere Identifizierungswahrscheinlichkeit festgestellt werden. Bei den Messungen durch starke Nebelwolken hindurch kam es zu falsch positiven Identifizierungen von Essigsäure, eine zeitgleiche Identifizierung des Zielstoffes war dennoch möglich. Auch im Fall der Essigsäure bestätigte sich der Verdacht auf einen Fehlalarm aufgrund der geringen Identifizierungswahrscheinlichkeit sowie der willkürlichen Verteilung der identifizierten Pixel. Der Abgleich des gemessenen

Spektrums mit dem Referenzspektrum von Essigsäure führte ebenfalls zu keiner Übereinstimmung.

Zu Fragestellung c)

Die Messung, bei der die Identifikation von Aceton nicht gelang, war eine Messung mit einem bengalischen Feuerwerkskörper, der einen sehr dichten grünen Rauch, mit Sichtweiten unter 5 cm erzeugte. Im Rauch selbst konnte mit beiden Ferndetektionssystemen u. a. Ammoniak nachgewiesen werden.

Der Versuch mit einer dichten Nebelwand (Disconebel) hinter der Gefahrstoffwolke führte zu einer höheren Signalstärke und damit auch zu einer größeren Anzahl der identifizierten Pixel. Dies kann auf die erhöhte Temperaturdifferenz zwischen Gefahrstoffwolke und Hintergrund zurückgeführt werden. Das Nebelfluid hatte eine höhere Temperatur als der beheizte Hintergrund und wirkte sich somit positiv auf die Detektionsleistung aus.

Auch beim gleichzeitigen Auftreten von Nebelaerosolen konnte bei unseren Messungen Aceton-Dampf durchgängig nachgewiesen werden.

### Fazit

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Detektion sowie Identifikation einer Gefahrstoffwolke, bestehend aus Aceton, bei Großveranstaltungen, bei denen Emissionen von Pyrotechnik, Disconebel sowie Holzkohlegrills entstehen, durch passive Ferndetektion prinzipiell möglich ist. Bei allen Experimenten, mit Ausnahme einer Messung konnte das Aceton als Simili für eine Gefahrstoffwolke detektiert und identifiziert werden.

Bei Stoffen mit geringer Identifizierungswahrscheinlichkeit sowie der willkürlichen Verteilung der identifizierten Pixel kann es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um einen Fehlalarm handeln. Ein Abgleich mit dem hinterlegten Referenzspektrum des angeblich identifizierten Stoffes kann eine zusätzliche Sicherheit liefern. Voraussetzung sind dabei natürlich Referenzspektren hoher Qualität.

Jedoch sind die Ergebnisse lediglich als Abschätzung der Detektionsfähigkeit sowie der Querempfindlichkeiten zu werten, da sie nicht ohne weitere Versuche auf alle anderen möglichen Zielsubstanzen der Detektionssysteme übertragen werden können und daher keine endgültige Beurteilung der Identifikations- und Nachweisgrenzen passiver FTIR-Ferndetektionssysteme möglich ist. Für eine fundiertere Aussage wäre zudem eine genaue Bestimmung der Konzentration in der Küvette, der Temperatur des Gases, der Temperatur des Hintergrundes, der

Temperatur der Umgebung sowie der Luftfeuchte nötig. Eine Abschätzung der Differenztemperatur aus dem gemessenen Spektrum ist nur eine Näherung und entspricht nicht immer den realen Verhältnissen.

Erkenntnisse aus der Messkampagne TTS:

### **Zielstellung**

Durch die IR-Fernerkundungssysteme sollte neben der Lokalisierung und Weiterverfolgung auch die Detektion und Identifikation der freigesetzten Monomethylamin-Gefahrstoffwolke aus 200 m Entfernung erfolgen. Die Gefahrstoffwolke entsprach dabei bewusst einer kleinen räumlichen Ausdehnung, um die Leistungsfähigkeit beider Geräte zu testen.

### **Fragestellung**

Eignen sich passive Ferndetektionsgeräte zur Lokalisierung und Weiterverfolgung sowie zur Detektion und Identifikation einer freigesetzten Gefahrstoffwolke mit kleiner räumlicher Ausdehnung unter realen Bedingungen? Als Grundlage dienten dieser Fragestellung die Szenarien „Transportunfall“ sowie „Anlagenhavarie“. Zum Einsatz kam das HI 90.

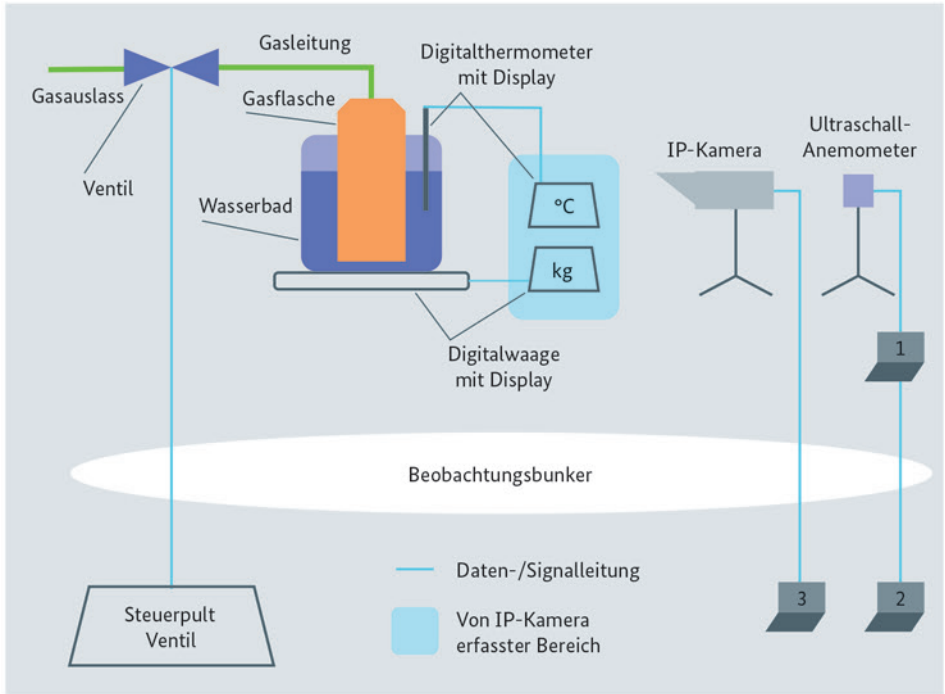
### **Rahmenbedingungen**

Die zu untersuchende Gasesstechnik konnte auf einem 20 x 20 m<sup>2</sup> großen Messplatz mit über 100 unterirdischen Gasinjektions-Punktquellen ausgetestet werden. Über ein dem Flaschenventil nachgesetztes Magnetventil erfolgte die Regelung der Monomethylamin-Freisetzung ferngesteuert und wurde gravimetrisch (Gasflasche lag auf einer Waage mit Datenanschluss) verfolgt. Die Messungen mit dem HI 90 wurden im Abstand von 200 m durchgeführt.

### **Durchführung**

Methylamin ist ein brennbares sowie ätzendes Gas. Es wird zur Synthese von zahlreichen Produkten, wie z. B. Pflanzenschutzmitteln und Pharmazeutika, genutzt. Für die auf dem Versuchsgelände der BAM durchgeführte Freisetzung wurde verflüssigtes Monomethylamin (wasserfrei) in drei 12-l-Gasflaschen verwendet. Die Füllmenge betrug je 6,8 kg. Die Gasflaschen verfügten über zwei Ventile, eines für

die Gasphase sowie ein weiteres mit Steigrohr für die Flüssigphase. Da Methylamin reizend und toxisch wirkt sowie explosionsfähige Gemische mit Luft bilden kann, wurden die Versuche aus einem Abstand von 200 m durchgeführt. Die Gasflaschen wurden ferngesteuert geöffnet und alle Daten über LAN-Verbindungen in den Beobachtungsbunker übertragen. Der detaillierte Versuchsaufbau wird im Folgenden beschrieben, eine schematische Darstellung findet sich in Abbildung 38. Die Gasflasche befand sich zum Vortemperieren in einem Wasserbad (50 °C), welches zur Verfolgung der freigesetzten Gasmenge auf einer Digitalwaage mit Display platziert wurde. Das Display der Waage sowie das eines Digitalthermometers zur Überwachung der Wassertemperatur wurden von einer IP-Kamera gefilmt und so in den Beobachtungsbunker auf ein Notebook (3) übertragen. Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Temperatur wurden mit einem Ultraschall-Anemometer gemessen und die Daten sekundlich ebenfalls an ein Notebook (1) übermittelt, welches aus dem Beobachtungsbunker via Remotebetrieb von einem weiteren Notebook (2) gesteuert wurde. Zur korrekten Ausrichtung der Messtechnik erfolgte die grobe Einschätzung der Windrichtung vor Versuchsbeginn mittels Rauchtopf. Das Öffnen und Schließen der pneumatischen Ventile erfolgte ebenfalls mittels Fernsteuerung aus dem Beobachtungsbunker.

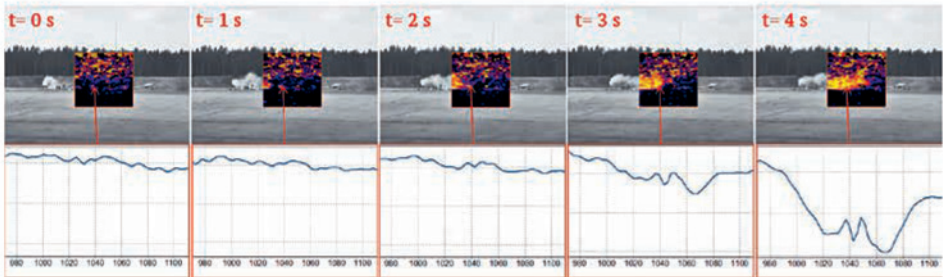


**Abbildung 38:** Schematischer Versuchsaufbau zur Methylamin-Freisetzung

Quelle: BAM

Die Kugelhähne wurden in sicherer Entfernung (ca. 200 m quer zur Windrichtung) vom Beobachtungsbunker aus geöffnet. Sobald die Waage eine freigesetzte Menge von 3,2 kg anzeigte, wurde der Kugelhahn geschlossen. Dies erfolgte nach etwa zwei Minuten. Nach etwa 20 bis 30 Minuten erfolgte die Freisetzung weiterer 3,2 kg Methylamin sowie des noch in der Flasche verbliebenen Restes. Der Wechsel der Gasflasche fand nach weiteren 10 bis 20 Minuten Wartezeit statt.

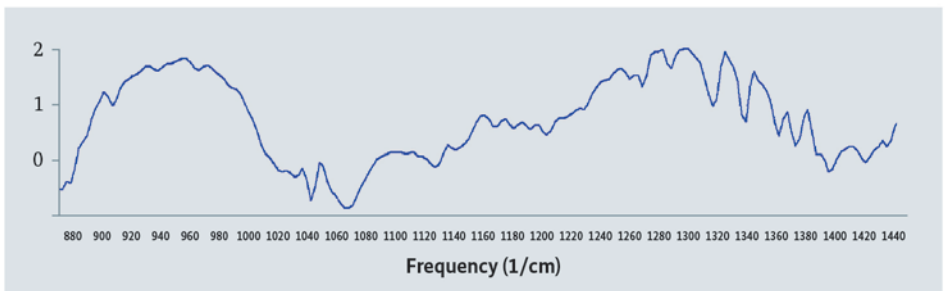
## Ergebnisse HI 90



**Abbildung 39:** Verfolgung der Monomethylamin-Gefahrstoffwolke mit dem HI 90

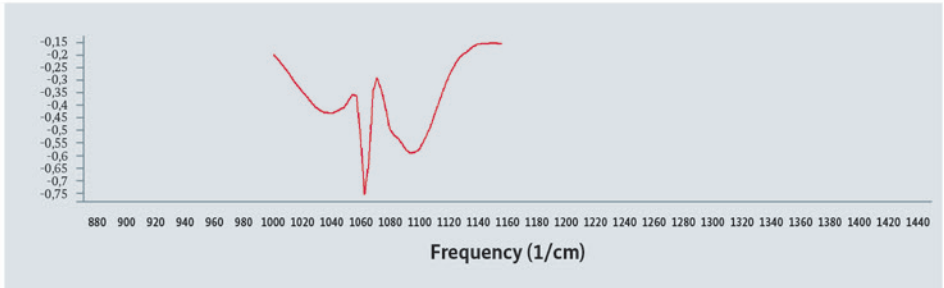
Quelle: WIS

Wie in Abbildung 39 zu sehen ist, konnte durch das HI 90 eine Lokalisierung sowie Verfolgung der Monomethylamin-Gefahrstoffwolke erfolgen. Aufgrund einer ungenügenden Methylamin-Referenz der Firma Bruker Optics konnte die Substanz vom HI 90 nicht automatisch identifiziert werden, sondern wurde ausschließlich durch Spektrenvergleich überprüft. Es kam zu einer spektralen Verschiebung von gemessenem und Referenzspektrum, sodass die Schwelle der Korrelation für eine automatische Identifikation nicht erreicht wurde. Dieser Sachverhalt wird durch den Vergleich von Abbildung 40 mit Abbildung 41 anschaulich gemacht. Eine Korrektur des entsprechenden Methylamin-Referenzspektrums sollte sehr wahrscheinlich ein positives Ergebnis herbeiführen.



**Abbildung 40:** Gemessenes Monomethyl-Gefahrstoffwolkenpektrum

Quelle: Eigene Abbildung



**Abbildung 41:** Monomethylamin-Referenzspektrum

Quelle: Eigene Abbildung

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

### Fragestellung

Im Rahmen der Messkampagne (ehem. NATO-Munitionsdepot in Kevelaer) sollte die Eignung des IR-Fernerkundungsgeräts SIGIS 2 zum Aufspüren illegaler Drogenlaboratorien Evaluiert werden.

### Rahmenbedingung

Die mit Erde überdeckten Bunker haben eine Abmessung von etwa 28 x 20 m, am Ende befindet sich jeweils ein Belüftungsschacht auf dem Bunkerdach. Innerhalb des Bunkers befand sich ein illegales Drogenlabor mit einer Absauganlage für gesundheitsgefährdende Gase und Dämpfe, die an den Abluftschacht angeschlossen war.

### Zielstellung

Anhand des Versuchs sollte herausgefunden werden, ob das SIGIS bei den vermutlich geringen Konzentrationen und kleinen Ausbreitungswolken in der Lage sein würde, einerseits den Schadstoff zu detektieren und andererseits die Freisetzungsstelle in einer Reihe gleichartiger Bunker zu lokalisieren.

## Durchführung

Zur Freisetzung der Chemikalie wurde direkt unter dem Absaug Schlauch des Belüftungssystems im Bunker ein Becherglas auf einer Rühr- und Heizplatte verwendet, in das die Substanz eingefüllt wurde. Die freigesetzte Chemikalie wurde durch die Absauganlage über den Abluftschacht ins Freie gefördert, geschätztes Absaugvolumen an Raumluft war mindestens  $1 \text{ m}^3$  pro Minute. Bei den verwendeten Chemikalien handelte es sich um eine 25%ige wässrige Ammoniaklösung sowie technisch reines Aceton, Füllmengen waren zu Versuchsbeginn jeweils etwa 250 ml. Die Heizplatte wurde auf Stufe 7 von 10 eingestellt. Beim Aceton wurde eine Abkühlung der Flüssigkeit durch die starke Verdunstung festgestellt, die Temperatur des Becherglases betrug etwa  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Das SIGIS wurde an der Vorderseite des Bunkers im ELW ATF etwa 35 m entfernt vom Abluftschacht in Stellung gebracht, die optische Sichtlinie zum Abluftschacht war bei der Messung frei. Die Außentemperatur auf dem Gelände betrug 5 bis  $7 \text{ }^\circ\text{C}$  bei vollständiger Bedeckung ohne Niederschlag.

## Ergebnisse

### Ammoniak

Mittels Photoionisationsdetektor wurde auf dem Bunkerdach die Ammoniakwolke vermessen. In Richtung der Bunkervorderseite, also auch in Richtung des SIGIS-Standorts, bildete sich eine halbkugelförmige Wolke mit einer Konzentration von etwa 1 ppm vom Abluftschacht aus, die einen Radius von etwa 1,0 m hatte. Direkt innerhalb des Abluftschachts, in etwa 30 cm Tiefe, betrug die maximale Konzentration etwa 4 ppm. Das Ammoniak konnte bereits in etwa 3 m Entfernung vom Abluftschacht leicht, aber deutlich gerochen werden.

Der Scanbereich des SIGIS wurde relativ klein um den Abluftschacht gewählt, er betrug bei hoher Scanauflösung etwa 1 m in der Höhe und 2 m in der Breite. Trotz vieler Scanvorgänge konnte lediglich ein einziges Mal Ammoniak an einem Pixel erkannt werden, die Korrelation betrug hierbei lediglich 33 %. Die Temperaturdifferenz zwischen Wolke und Hintergrund war gering, aber noch ausreichend und betrug etwa 1 K.

### Aceton

Durch eine Messung mit dem Photoionisationsdetektor konnte eine Aceton-Konzentration von  $25 \text{ ppm} \pm 2 \text{ ppm}$  (Schwankungen aufgrund von Wind) an der



Austrittsöffnung ermittelt werden. Die Substanzwolke hatte einen Radius von etwa 2 m um den Abluftschacht zur Bunkervorderseite hin.

Der Scanbereich des SIGIS wurde vergleichbar zu den Messungen bei Ammoniak eingerichtet, eine Detektion und Identifikation zeigte das SIGIS nicht. Es wurde deshalb die Absauganlage abgeschaltet und mittels Einwegspritze direkt 20 ml Aceton an die Außenseite des oberen Teils des Abluftschachts (aus Metall) aufgespritzt. So konnte durch die Verdampfung großer Mengen Aceton eine für die Detektion ausreichende Wolkenkonzentration von etwa 100 bis 200 ppm erreicht werden. Das SIGIS 2 detektierte hier während eines Scandurchlaufs an einigen Pixeln Aceton.

## Fazit

Es ist zu vermuten, dass die Konzentration und Schichtdicke der Wolke in den beiden Fällen der Freisetzung nach Verdampfung nicht hoch genug war, um ein gutes Detektionssignal zu liefern. Die Voraussetzungen einer Detektion von Ammoniak waren in dem Versuch günstiger, da die Nachweisschwelle von Ammoniak beim SIGIS sehr niedrig liegt.

Erschwerend kommt für eine Detektion die geringe Wolkenfront von nur etwa  $2 \text{ m}^2$  hinzu, hierfür ist auch die Auflösung bzw. das Abtastraster (Sichtfeld) des SIGIS zu grob. In einem realen Einsatzszenario wäre wegen des verdeckt durchzuführenden Messauftrags der Abstand zur Freisetzungsquelle deutlich zu erhöhen. Die freigesetzten Mengen von Ausgangsstoffen oder Hilfsstoffen für die illegale Drogenproduktion dürften in der Realität eher den Konzentrationen von Ammoniak im Versuch entsprechen, möglicherweise sogar noch darunter liegen. Es ist daher unwahrscheinlich, dass der Einsatz eines Fernerkundungsgeräts wie des SIGIS 2 hier zu einem Einsatzerfolg, der Lokalisation einer Freisetzung aus einem illegalen Labor, führen würde. Möglich wäre jedoch der Einsatz eines leistungsstärkeren IR-Fernerkundungssystems, wie z. B. des HI 90. Mit der wesentlich höheren Auflösung des FPA-Detektors können auch Gefahrstoffwolken geringerer Ausmaße identifiziert werden, zudem ermöglicht die gleichzeitige Belichtung aller Bildpunkte Abbildungen in Echtzeit. Die Lokalisierung von Gefahrstoffquellen kann damit schneller erfolgen.

### 4.3.8 GC-MS

GC-MS-Systeme zählen zu den leistungsstärksten Geräten in der analytischen Chemie. Komplexe Gemische in schwierigen Probenumgebungen können identifiziert und quantifiziert werden.

Die GC-MS Systeme E<sup>2</sup>M, Hapsite ER und Griffin 450 wurden während der Messkampagne in einem Schulungsbunker des Bundeskriminalamtes auf unterschiedliche Fragestellungen hin geprüft. Im Folgenden werden die Abläufe der Messungen näher erläutert.

Erkenntnisse aus der Messkampagne BKA:

## Zielstellung

Anhand von Referenzproben (Reinstoffe) relevanter Zielsubstanzen synthetischer Drogen, deren Vorläufersubstanzen, Lösungsmitteln und von Substanzgemischen aus Ermittlungsverfahren sowie von Explosivstoffen sollen die GC-MS-Systeme auf ihre Eignung zur Analyse und Identifizierung der genannten Proben hin überprüft werden. Im Fokus stehen hier vor allem die unterschiedlichen Probeaufgabetechniken der GC-MS-Systeme. Da es sich bei realen Einsätzen häufig um unbekannte Proben handelt, wurden zur Analyse Standardmethoden verwendet. Somit besteht die Möglichkeit, zeitnahe und korrekte Aussagen über einen Tatort zu treffen.

## Fragestellungen

Die Art der Fragestellung orientierte sich an den beiden Szenarien „Aufspüren illegales Labor“ und „Sicherstellen illegales Labor“.

- a) Messung von relevanten Testproben  
Die drei im Übungsbunker aufgebauten Realszenarien umfassten die Ecstasy-Synthese (MDMA-Synthese), das Küchenlabor und die Amphetamin-Synthese. Bezogen auf diese Realszenarien wurden vom BKA einige Testproben für die Analyse zur Verfügung gestellt, welche unter anderem Originalsubstanzen, Proben mit Bezug zu BtM und Explosivstoffen, Vorläuferchemikalien sowie einschlägige Laborabfälle enthielten.
- b) Freisetzung von Gasen  
Es wurden kleinere Mengen relevanter Vorläuferchemikalien verdampft und sowohl direkt an der Syntheseapparatur, als auch am Abluftauslass des Übungsbunkers angereichert und analysiert oder direkt analysiert.
- c) Analyse von Wischproben  
Von unterschiedlichen Oberflächen innerhalb des Bunkers erfolgte eine Wischprobenahme mit anschließender Analyse.

## Rahmenbedingungen

Die mit Erde überdeckten Bunker haben eine Abmessung von etwa 28 x 20 m, am Ende befindet sich jeweils ein Belüftungsschacht auf dem Bunkerdach. Innerhalb des Bunkers befand sich ein illegales MDMA-Labor (Ecstasy-Labor) mit einer Absauganlage für gesundheitsgefährdende Gase und Dämpfe, die an den Abluftschacht angeschlossen war. Der Aufbau des Labors, inklusive der Apparaturen und Geräte, befand sich teilweise im Originalzustand.

## Durchführung

### E<sup>2</sup>M

Bei der Analyse von Betäubungsmitteln und Explosivstoffen erfolgte die Injektion der flüssigen Proben manuell über eine  $\mu\text{l}$ -Spritze (Direktinjektionsmethode). Gasförmige Proben wurden mit einer Handpumpe auf Tenax-Röhrchen angereichert und anschließend im angepassten Injektor desorbiert (Desorptionsmethode). Proben (fest und flüssig) für die Luft-Boden-Sonde wurden als Lösung auf ein Filterpapier aufgebracht und anschließend durch das Aufdrücken des Sondenkopfes mobilisiert und über die Transferkapillare dem Massenspektrometer direkt zugeführt (Spürmethode).

Die Injektionsvolumina lagen bei der Direktinjektion im Bereich von 1 bis 2  $\mu\text{l}$ , soweit nicht anders vermerkt. Die Luftvolumina bei der Anreicherung auf Tenax orientierten sich an der Flüchtigkeit der Substanzen und betragen bei der schwerflüchtigen MDMA-Base bis zu 20 Hübe, dies entspricht einer Anreicherung von 2 l Umgebungsluft. Für die Spürmethode wurden Mengen von 1 bis 2  $\mu\text{L}$  der jeweiligen Probenkonzentration direkt auf Filterpapier aufgegeben und anschließend mit der Luft-Boden-Sonde aufgenommen.

Die Analysemethoden der Direktinjektion (Spritze) sowie der Desorptionsmethode (Tenax-Röhrchen) erfolgten beim E<sup>2</sup>M über die jeweilige Standardmethode. Mittels eines Temperaturlaufs werden die Proben auf der HT5-Säule über einen Zeitraum von 15 Minuten getrennt und anschließend im Massenspektrometer fragmentiert. Bei der Spürmethode (Luft-Boden-Sonde) erfolgt die Analyse der Probe ohne Trennung auf einer GC-Säule, deshalb können nur Reinstoffe sicher identifiziert werden. Als Transferleitung zum Massenspektrometer wird hier eine 3 m lange Kapillare (HT5) verwendet. Die Analyten werden bei einer Methodenlaufzeit von 30 Sekunden kontinuierlich fragmentiert. Im Anschluss erfolgt bei allen drei Methoden ein Abgleich des erhaltenen Massenspektrums mit der NIST-Datenbank.

## Hapsite ER

Mit dem Spürsystem des Hapsite ER erfolgte die Probenahme bei flüssigen Stoffen im Dampfraum über der jeweiligen Flüssigkeit, gasförmige Stoffe wurden hingegen an der entsprechenden Austrittsstelle (Lüftungsauslass oder Synthesepappatur) vom Sondenkopf eingesaugt (Spürmethode).

Die Analysenmethode des Spürsystems des Hapsite ER reicherte die Probe 2 Minuten lang an, das anschließende Ausheizen der Anreicherungseinheit ermöglichte die Bereitstellung einer aufkonzentrierten Probe für die Trennung auf der GC-Säule. Anschließend wurde die aufgetrennte Probe im Massenspektrometer fragmentiert. Die Analysendauer betrug 15 Minuten, nachfolgend wurden die erhaltenen Massenspektren mit der NIST-Datenbank abgeglichen.

## Griffin 450

Reinstoffe (flüssig/fest/pastös) wurden in sehr kleinen, jedoch nicht definierten Mengen (Spurenbereich) in ein Microvial überführt (Reinstoffmethode). Bei Vorliegen verdünnter Lösungen wurde 1 µl der Lösung in ein Microvial pipettiert (Methode: verdünnte Lösungen). Für die Wischprobenahme wurde zur Anreicherung der Proben Teflon (PTFE) und für die Anreicherung gasförmiger Proben Polydimethylsiloxan (PDMS) verwendet (Desorptionsmethode). Das befüllte Microvial sowie die beprobten Adsorptionsmaterialien (PTFE und PDMS) wurden jeweils in einer speziellen Halterung platziert. Im Injektor fand bei 200 °C die Verdampfung der flüssigen bzw. die Desorption der gasförmigen Probe statt. Anschließend wurden die Proben auf die Trennsäule überführt. Nach der Auftrennung erfolgte die Fragmentierung im Massenspektrometer. Die Analysenzeit betrug 8 Minuten. Das erhaltene Massenspektrum wurde mit der NIST-Datenbank abgeglichen.

Die Ergebnisse in Tabelle 37 werden in fünf Gruppen eingeteilt: Reinstoffe von Betäubungsmitteln und Vorläufersubstanzen, Reinstoffe von Explosivstoffen, verdünnte Lösungen aus der Betäubungsmittelsynthese, Gasanalytik von Dämpfen und Wischproben verschiedener Oberflächen.

**Tabelle 37:** Ergebnisübersicht der verwendeten GC-MS-Kopplungssysteme

Stoff/Aggregatzustand	E <sup>2</sup> M	Hapsite ER	Griffin 450
<b>Reinstoffe von Betäubungsmitteln und Vorläufersubstanzen</b>			
N-Formylamfetamin (N-FA)/flüssig	Spürmethode: positiv	–	Reinstoffmethode: positiv, weitere Verunr.
Alpha-Phenylaceto-acetonitril (APAAN)/fest	–	–	Reinstoffmethode: positiv
KoKain/fest	–	–	Reinstoffmethode: positiv
Heroin/fest	–	–	Reinstoffmethode: positiv + Coffein
3,4-Methylendioxy-N-Methylamfetamin (MDMA) verunreinigt/fest	–	–	Reinstoffmethode: positiv
Methamfetamin (MA)/fest	–	–	Reinstoffmethode: positiv
Piperonylmethylketon (PMK, MDP2P)/flüssig	Spürmethode: positiv	Spürmethode: positiv	Reinstoffmethode: positiv
MDMA-Tablette	–	–	Reinstoffmethode: positiv
Benzylmethylketon (BMK)/flüssig	Spürmethode: positiv	Spürmethode: positiv	–
MDMA-Base/flüssig	Spürmethode: positiv	–	–
<b>Explosivstoffe</b>			
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), 1 mg/ml	Direktinjektion: k. E.	–	Reinstoffmethode: positiv
Nitroglycerin (NG), 0,8 mg/ml	–	–	Reinstoffmethode: k. E.
Hexogen, RDX/fest	–	–	Reinstoffmethode: k. E.
Nitropenta (PETN), 1 mg/ml	Direktinjektion: k. E.	–	–
Nitropenta (PETN), 1 mg/ml	Spürmethode: k. E.	–	–
2,4,6-Trinitrotoluol (TNT), 1 mg/ml	Spürmethode: k. E.	–	–

Stoff/Aggregatzustand	E <sup>2</sup> M	Hapsite ER	Griffin 450
<b>Verdünnte Lösungen: wässrig/organisch aus BtM-Synthesen</b>			
Monomethylaminlg., wäss. 40 %	-	Spürmethode: k. E.	-
MDMA-HCl in Aceton	-	Spürmethode: k. E.	-
Wäss. Abfall aus Wasserdampfdestillation (Amfetamin-Synthese)	-	Spürmethode: positiv	-
Syntheseabfall, org. Leukart 1 (N-FA)	Direktinjektion: (schwach) positiv	Spürmethode: positiv	Methode: verd. Lsg. positiv
Syntheseabfall, org. Leukart 2 (AM-Base)	Direktinjektion: (schwach) positiv	Spürmethode: positiv	Methode: verd. Lsg. positiv + 4-Methyl-5-Phenylpyridin (4M5PP)
Syntheseabfall Methamfetamin	-	Spürmethode: positiv	-
Syntheseabfall, wässr. Leukart 1	Spürmethode: k. E.	Spürmethode: k. E.	-
Syntheseabfall, wässr. Leukart 2	Spürmethode: k. E.	Spürmethode: k. E.	-
Abfall Amfetamin-Sulfat-Fällung	-	Spürmethode: k. E.	-
<b>Gasanalytik von Dämpfen</b>			
Abluft <sup>1</sup>	-	-	Desorptionsmethode: Blindmessung, 45 Min: k. E.
BMK <sup>2</sup>	Desorptionsmethode: 1 Hub: Negativ 5 Hübe: positiv	Spürmethode: positiv	Desorptionsmethode: Freisetzung 5 Min.: (stark) positiv; Freisetzung 10 Sek.: positiv
BMK 3 <sup>3</sup> Reflux	-	Spürmethode: negativ	-
PMK 1 <sup>4</sup>	Desorptionsmethode: 5 und 10 Hübe: k. E.	-	Desorptionsmethode: Freisetzung 2 Min.: positiv
PMK	Desorptionsmethode: 1 Hub direkt über Gebinde: positiv	-	-

Stoff/Aggregatzustand	E <sup>2</sup> M	Hapsite ER	Griffin 450
MDMA-Base* <sup>5</sup>	Desorptionsmethode: 10 und 20 Hübe: k. E.	-	Desorptionsmethode: Freisetzung 5 Min.: k. E.
MDMA-Base* <sup>6</sup>	Desorptionsmethode: 1 Hub: negativ	-	-
4M5PP	Desorptionsmethode: 1 Hub: positiv	-	-
Syntheseabfall, org. Leukart 1 (N-FA)* <sup>7</sup>	-	-	Desorptionsmethode: positiv
<b>Wischproben</b>			
Bunkerwand (innen oder außen)	-	-	Desorptionsmethode: positiv (MDMA)
Lüftungsauslass	-	-	Desorptionsmethode: positiv (MDMA)
Reaktionsbehälter	-	-	Desorptionsmethode: positiv (MDMA)
Trockenschrank	-	-	Desorptionsmethode: positiv (MDMA)

**Legende:**

-: Keine Messung durchgeführt.

k. E.: kein Ergebnis

\*1: Trägermaterial wurde bei eingeschalteter Lüftung für 45 Min. am Lüftungsauslass angebracht (Blindmessung).

\*2: 3 ml BMK wurden in 800 ml kochendes Wasser gegeben, der entstehende Dampf wurde von der Lüftungsanlage abgezogen und angereichert.

\*3: ~5 ml BMK in 2 l Wasser, anschließend unter Rückfluss gekocht (Reflux-Apparatur).

\*4: ~2 ml PMK wurden in 800 ml kochendes Wasser gegeben, der entstehende Dampf wurde von der Lüftungsanlage abgezogen und angereichert.

\*5: ~2 ml MDMA-Base wurden in 800 ml kochendes Wasser gegeben, der entstehende Dampf wurde von der Lüftungsanlage abgezogen und angereichert.

\*6: ~2 ml MDMA-Base wurden in 800 ml kochendes Wasser gegeben, die Anreicherung erfolgte direkt über dem Wasserbad.

\*7: Trägermaterial wurde bei Raumtemperatur für 2 Min. über den Abfall gehalten.

## Auswertung

Im Bereich flüssiger **Reinstoffe von Betäubungsmitteln und Vorläufersubstanzen** wurde die Spürmethode des E<sup>2</sup>M zur Analyse herangezogen. Diese Spürmethode konnte innerhalb von 30 Sekunden sehr gute Ergebnisse erzielen. Voraussetzung dabei war jedoch ein ausreichend hoher Dampfdruck und eine Mindestkonzentration der jeweiligen Probe, da durch das System keine Aufkonzentration erfolgte. Aufgrund der geringen Messzeit war es sehr gut möglich, sich an die individuell erforderliche Probenmenge heranzutasten. Die Messungen mit der Luft-Boden-Sonde bieten die Möglichkeit, vor Ort sehr schnell relevante Proben mittels Massenspektrometrie einzugrenzen und gegebenenfalls gezielt Laboruntersuchungen einzuleiten, die forensischen Standards entsprechen.

Bei der Spürmethode des Hapsite ER konnte je nach Methodenwahl für 2 Minuten ein Aufkonzentrieren der Probe auf einer speziellen Anreicherungseinheit erfolgen. Somit ergab sich auch für Proben mit geringer Konzentration und niedrigem Dampfdruck eine hohe Identifizierungswahrscheinlichkeit. Da die Probe über die Trennsäule geleitet wird, besteht die Möglichkeit, auch Gemische zu analysieren. Ein Analysenlauf dauerte 15 Minuten.

Bei dem GC-MS-System Griffin 450 wurde als Probenaufgabe die probenvorbereitunglose Direktaufgabe gewählt. Feste wie auch flüssige Proben konnten der Trennsäule durch das Verdampfen der Substanzen bei 200 °C in einer entsprechenden Probenhalterung direkt zugeführt werden. Die Auftrennung der Probenbestandteile erfolgte innerhalb von 8 Minuten; auch die Identifizierung von Gemischen ist möglich.

Die **Explosivstoffe** wurden mit dem E<sup>2</sup>M über die Spürmethode sowie über Direktinjektion als Lösungen analysiert. Mit dem Griffin 450 erfolgte eine Analyse über die Reinstoffmethode. Mit dem Hapsite ER wurden keine Explosivstoffe gemessen.

Mit dem E<sup>2</sup>M konnte keine der Explosivstofflösungen detektiert bzw. identifiziert werden. Das Griffin 450 konnte 2,4,6-Trinitrotoluol erfolgreich identifizieren. Nitroglycerin, RDX und PETN lieferten keine Signale im Chromatogramm bzw. im Massenspektrum.

Typischerweise kommen an Tatorten vor allem Ionenmobilitätsspektrometer, sogenannte „warme Ionenmobilitätsspektrometer“ mit Thermodesorbern und beheizten Gaszuleitungen, für die Explosivstoffanalyse zum Einsatz (4.2.4 IMS für Explosivstoffe und Betäubungsmittel). Bei den Explosivstoffmessungen zeigte sich, dass die für warme Ionenmobilitätssysteme bereits ausreichenden Mengen an Explosivstoff mit den Standardmessmethoden der GC-MS-Systeme selten zu



einem Signal führten. Auch eine teilweise erhebliche Erhöhung der Mengen führte zu keinem verwertbaren Signal bzw. Massenspektrum. Der Grund dafür waren höchstwahrscheinlich die hohen thermischen Belastungen in der Luft-Boden-Sonde (Temperatur Sondenkopf: 260 °C) sowie die hohe Verdampfungstemperatur von 200 °C im Injektor des Griffin 450. Um mit GC-MS-Systemen erfolgreich Explosivstoffe identifizieren zu können, bedarf es der Anpassung der Methoden und Erhöhung des Vakuums in der Trennsäule (Säulenrestriktion). Eine weitere Möglichkeit, die jedoch für die Vor-Ort-Analytik eher ungeeignet ist, bietet die Derivatisierung (chemische Umwandlung in leichter flüchtige und thermisch stabilere Substanzen) der Explosivstoffe mit anschließender Analyse durch eine Standardmethode.

Die Analyse der **verdünnten wässrigen und organischen Lösungsmittel** wurde mit dem E<sup>2</sup>M über die Direktinjektion (organische Lsg.) und die Spürmethode (wässrig Lsg.) realisiert. Mit dem Hapsite ER wurden diese Proben ausschließlich über die Spürmethode gemessen. Beim Griffin wurden für die Methode verdünnte Lösungen eingesetzt.

Handelte es sich um organische Lösungen, die den Zielstoff enthielten, konnte mit allen verwendeten Methoden eine positive Identifizierung stattfinden. Die Zielstoffe in wässriger Lösung konnten mit den Spürmethoden des E<sup>2</sup>M und des Hapsite ER (trotz Anreicherung) nicht identifiziert werden. Gerade bei den Spürmethoden spielen Dampfdruck und Konzentration des Zielstoffes für eine erfolgreiche Identifizierung eine entscheidende Rolle (Tabelle 37, 1. Spalte), Reinstoffe von Betäubungsmitteln und Vorläufersubstanzen). Vor allem bei wässrigen Lösungen, die nicht direkt in das GC-MS-System injiziert werden können, könnte die Probenahme und -anreicherung mit der Probenaufgabe kombiniert werden. Hierfür verwendet man spritzenbasierte Anreicherungssysteme, wie die Festphasenmikroextraktion (SPME – Solid Phase Micro Extraction) und die Nadel-Anreicherungs-einheit (NTD – Needle Trap Device). Beide Systeme können auch zur Beprobung des Gasraumes über einer festen oder flüssigen Probe (Headspace) eingesetzt werden. Beim Griffin besteht zudem die Möglichkeit, in Wasser verdünnte Proben oder gasförmige Headspace-Proben mit einem mit Sorbens beschichteten Festkörper in Berührung und durch anschließende Thermodesorption auf die GC-Säule zu bringen.

Die Analytik der erzeugten **Dämpfe** wurde beim E<sup>2</sup>M über Anreicherung auf Tenax-Röhrchen und beim Griffin 450 durch die Anreicherung mit PDMS realisiert. Bei beiden Materialien wurden die eventuellen Zielstoffe durch anschließende thermische Desorption den Trennsäulen zugeführt. Bei dem GC-MS-System Hapsite ER wurde die Spürmethode verwendet.

Neben dem Dampfdruck und der Konzentration der Zielstoffe spielen auch die Probenahmedauer sowie das Probenahmematerial eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Analyse unbekannter Stoffe. Die besonders schwerflüchtige MDMA-Base konnte weder vom E<sup>2</sup>M noch vom Griffin 450 nachgewiesen werden. Bei der Anreicherung von unbekanntem gasförmigen Zielstoffen aus Apparaturen oder Lüftungsauslässen sollten unterschiedliche Materialien zur Anreicherung verwendet und die Dauer der Probenahme systematisch erhöht werden, um eventuelle Zielstoffe erfolgreich nachweisen zu können.

Die **Wischproben** auf PTFE waren ohne Probenvorbereitung nur dem Griffin 450 zugänglich. Die vier Wischproben zeigten deutliche MDMA-Signale, obwohl das Drogenlabor 2002 (vor 15 Jahren) vom BKA stillgelegt wurde.

## Fazit

Wenn, wie beim E<sup>2</sup>M, Luft als Trägergas verwendet wird, werden die Massen unter Standardeinstellungen im Massenspektrum erst ab Massenzahl 46 aufgezeichnet. Der Grund hierfür ist das Ausblenden von natürlichem CO<sub>2</sub> in der Umgebungsluft. Für eine korrekte Identifizierung über Referenzspektren ist jedoch bei einigen Substanzen, z. B. BMK und PMK, ein Massenfragment unterhalb von 46 relevant. Deshalb ergab die Auswertung mit Standardmethoden beim BMK zunächst keine korrekten Treffer in der Datenbank. Bei den folgenden Versuchen wurde deshalb der Massenbereich während der Messung bis 41 erweitert und in der anschließenden Bibliothekssuche der Massenbereich um 44 (Masse von CO<sub>2</sub>) herum ignoriert. Nun wurde das BMK mit sehr guter Übereinstimmung in der Bibliothek gefunden. Beim Hapsite ER wurden die Massenspektren erst ab Massenzahl 45 aufgezeichnet. Zusätzlich war häufig kein Molekülpeak im Spektrum vorhanden, was wahrscheinlich auf die Elektronenstoßionisation zurückzuführen ist. Es waren demnach lediglich die Peaks der Fragmentionen im Massenspektrum vorhanden, die in diesem Fall denen anderer Moleküle sehr stark ähnelten. Es kam zu Fehlinterpretationen, welche eine genaue Aussage über die gemessene Substanz erschwerten. Auch hier würden eine Erweiterung des Massenbereichs bis Massenzahl 41 sowie der Vergleich der Massenspektren am Computer höchstwahrscheinlich zu einer korrekten Identifizierung der Substanzen führen. Beim Griffin waren die Parametereinstellungen zur erfolgreichen Identifizierung der gemessenen Stoffe korrekt, da die Hauptanwendung dieses GC-MS-Systems auf die Analyse von Betäubungsmitteln abzielt.

Diese Erkenntnisse zeigen, wie unerlässlich es ist, dass der Bediener bzw. Auswerter über ein breites Wissen der Eigenschaften sowie über Erfahrung im Bereich Massenspektren-Interpretation relevanter Betäubungsmittel und Vorläufersubstanzen verfügt. Nur so kann erkannt werden, ob ein Analysenlauf aufschlussreiche

Ergebnisse liefern kann und ob die Probenmenge oder Methodenparameter angepasst werden müssen. Durch diese Anpassungen ist auch eine händisch ausgeführte Identifizierung von Substanzen möglich, die gegebenenfalls nicht in der Spektrendatenbank enthalten sind (z. B. PMK beim E<sup>2</sup>M). Weiterhin kann durch vielfältige Probenaufgabemöglichkeiten, die keiner Probenvorbereitung bedürfen, der Probendurchsatz und damit der Faktor Zeit positiv beeinflusst werden.



# Entwicklung von innovativen Probenahmetechniken für den Feldeinsatz



5

Szenarioabhängig wurden passende Probenahmetechniken und Anreicherungs-möglichkeiten für die jeweils verwendeten Messgeräte beschrieben. Die Probenah-metechniken sollten die Detektion und Identifikation bei einer Substanzfreiset-zung verbessern und die Anreicherungstechniken den spurenanalytischen Bereich für relevante Substanzen (z. B. luftgetragene Markersubstanzen illegaler Synthese-prozesse oder CWA) erschließen. Somit soll die Informationslage der Endnutzer durch bessere Ergebnisse positiv beeinflusst werden.

Entsprechend der Erprobung und Evaluierung von Messsystemen, gerade im kom-merziellen Bereich, bildete im Projekt SEMFreS die Probenahme einen wichtigen Bestandteil in der Messkette. Die Probenahme von schwerflüchtigen Substanzen als Anhaftung auf Oberflächen oder als Spurenbestandteil in komplexen Feststoff-matrizes, wie u. a. im Fall vieler Sprengstoffe, bedurfte angepasster Probenahme-techniken, wobei besonders die Umgebungsdruck Laserdesorption (Ambient Pressure Laser Desorption, APLD) als vielversprechende Technik untersucht wurde.

Eine weitere Aufgabe bestand darin, die Nachweisgrenze für Leichtflüchter im Gas-phasenbereich zu verbessern. Zur Realisierung wurde eine Desorptionseinheit zur Untersuchung standardmäßig verwendeter Probenahmeröhrchen auf Basis von Tenax und ähnlichen Materialien als Adsorbentien entwickelt.

Die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse sind Auszüge und Zusammenfassun-gen detaillierter Berichte und Veröffentlichungen der Universität Rostock, vertre-ten durch den Lehrstuhl für Analytische Chemie, die während der Projektlaufzeit erstellt wurden.

Bei Explosivstoffen wird häufig eine Kombination der Probenahme aus Wischproben mit anschließender Thermodesorption gewählt. Als Erweiterung des Technologiespektrums ist die direkte APLD eine vielversprechende Lösung der Probenahme ohne Probenvorbereitung. Eine Eliminierung der Probenvorbereitung birgt neben der Zeitersparnis vor allem den Vorteil, dass die Wahrscheinlichkeit einer möglichen Probenkontamination sinkt. Durch die Verwendung von Laserstrahlung können Probenmoleküle auf Oberflächen mobilisiert (in die Gasphase gebracht) und damit unterschiedlicher Messtechnik direkt zugänglich gemacht werden. Laserstrahlung ist energiereich, stark fokussiert, sendet Licht einer Wellenlänge aus und eignet sich zur Erzeugung kurzer Lichtimpulse. Diese Eigenschaften werden bei der Probenahme mittels APLD erfolgreich genutzt.

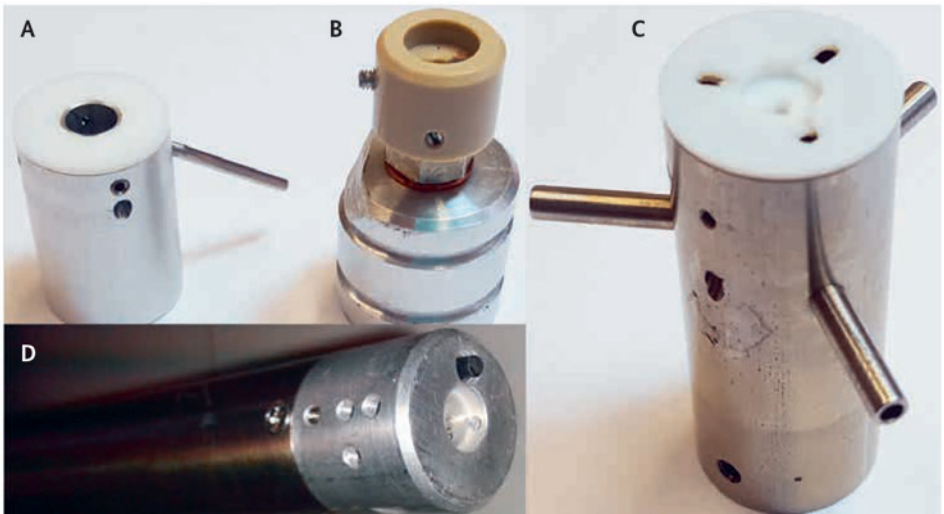
Im Rahmen des abgeschlossenen Projektes (Safe inside, FKZ: 13N9529) wurde bereits eine APLD-Einheit, bestehend aus dem Laser, der Laserfaser und einem Desorptionskopf, entwickelt. Diese APLD-Einheit sollte an die Anforderungen des Projekts SEMFreS angepasst werden. Dabei galt es vor allem, die Probenahme von mittel- und schwerflüchtigen Substanzen sowie eine Probenahme von Oberflächen zu berücksichtigen. Um verschiedene Nutzer anzusprechen, sollten APLD-Einheiten mit unterschiedlicher Messtechnik verbunden werden. Zum einen konnte eine Kopplung mit einem handgeführten Ionenmobilitätsspektrometer umgesetzt werden und zum anderen wurde eine Kopplung mit einem Ionenfallen-Massenspektrometer realisiert. Wobei das handgeführte Ionenmobilitätsspektrometer eine hohe Mobilität und das Ionenfallen-Spektrometer eine hohe Identifikationswahrscheinlichkeit in die Kopplung einbringen sollte.

### **Anpassungen**

- Optimierung des Desorptionskopfes  
Der Desorptionskopf beider Kopplungsmöglichkeiten kommt direkt mit der Oberfläche, auf der sich die Probe befindet, in Berührung. Folgende Anpassungen wurden vorgenommen:

- > Durch die Möglichkeit einer Beheizung der Kopfoberfläche wird die Kondensation von Analytmolekülen an der Oberfläche des Desorptionskopfes vermieden.
- > Um die thermische Belastung so gering wie möglich zu halten, kann die Temperatur über einen externen Regler individuell angepasst werden.
- > Um eine Wärmeübertragung während der Messung zu verhindern, besteht die der Probe zugewandte Oberfläche aus einem thermostabilen Kunststoff, wie bspw. Polytetrafluorethylen (PTFE) oder Polyetheretherketon (PEEK).
- > Des Weiteren wird die Reinigung der Oberfläche durch deren Austauschbarkeit erleichtert und es können Kontaminationen verhindert werden.
- > > Durch Vergrößerung des Laserfaserdurchmessers und Optimierung der Desorptionskopf-Geometrie konnte die Desorptionsoberfläche vergrößert und der

In der Abbildung 42 sind die entwickelten Desorptionskopfeinheiten und ihre Anpassungen dargestellt.



**Abbildung 42:** A) neue IMS-APLD-Einheit; B) bisherige IMS-APLD-Einheit; C) neue APLD-Einheit für APLD-Ionenfallen-MS-Kopplung; D) bisherige APLD-Einheit auf Sonde für APLD-Ionenfallen-MS-Kopplung  
Quelle: Uni Rostock



- Betriebsarterweiterung des Lasers

- > Gepulster Laser:

Die Verwendung von gepulsten Lasern (Aussendung zeitlich begrenzter Laserstrahlung) bietet sich besonders dann an, wenn thermisch instabile Proben mit einem geringen Dampfdruck (Explosivstoffe) untersucht werden sollen. Hierbei wird aufgrund der kurzen Dauer des Laserimpulses die Probe zwar von der Oberfläche gelöst, aber thermisch kaum beansprucht und somit möglichst wenig zersetzt. Aufwendige Geräteanpassungen oder zeit-intensive Derivatisierungen (Umwandlung in stabile Probenmoleküle) fallen weg, Vor-Ort-Analysen sind möglich.

In Zusammenarbeit der Universität Rostock dem Bundeskriminalamt konnten Explosivstoffe und Betäubungsmittel als Proben durch eine APLD-MS-Kopplung erfolgreich analysiert werden. Im Juni 2018 wurden die bisherigen Ergebnisse im Journal „Applied Sciences“ mit dem Titel: „Ambient Pressure Laser Desorption – Chemical Ionization Mass Spectroscopy for Fast and Reliable Detection of Explosives, Drugs and their Precursors“, mit der DOI 10.3390/app8060933, veröffentlicht. (Deutsch: APLD – Chemische Ionisationsmassenspektrometrie-Kopplung für eine schnelle und zuverlässige Detektion von Explosivstoffen, Betäubungsmitteln und deren Vorläufersubstanzen.)

- > Kontinuierlicher Laser:

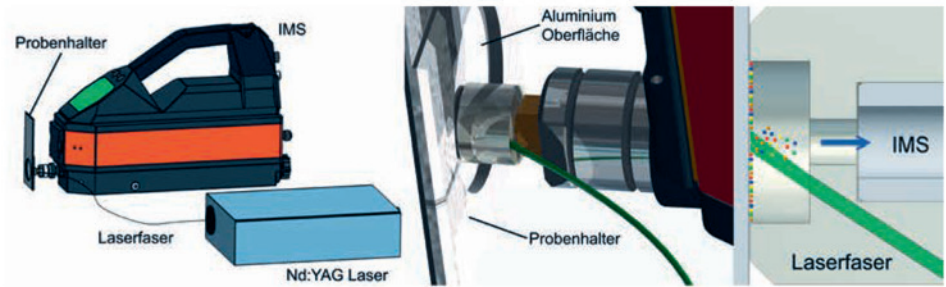
Bei thermisch stabilen, schwerflüchtigen Substanzen kann hingegen ein kontinuierlich (continuous wave, CW) arbeitender Laser verwendet werden, der die Probe durch thermisches Erwärmen von der Oberfläche desorbiert. Bei Verwendung einer CW-Laserquelle (in Form einer Laserdiode) kann hierdurch eine kostengünstige und äußerst mobile APLD-Einheit realisiert werden.

Auch bei dieser Weiterentwicklung zeigten erste Ergebnisse der Zusammenarbeit der Universität Rostock mit dem Bundeskriminalamt, dass ein CW-APLD-Ionenfallen-Massenspektrometer besonders für stabile schwerflüchtige Substanzen (Heroin-HCl, Kokain-HCl) interessant war. Hierbei waren die Nachweisgrenzen signifikant niedriger als bei der gepulsten Laserdesorption. Bei der Verwendung der CW-APLD-Einheit zur Untersuchung von Explosivstoffen (TATP und Ammoniumnitrat) und anderen thermisch instabilen Analyten zeigte sich hingegen eine Verschlechterung der Nachweisgrenzen im Vergleich zur gepulsten Version. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der verschiedenen durchgeführten Messungen kann der Tabelle 38 entnommen werden.

**Tabelle 38:** Nachweisgrenzen im Vergleich zwischen gepulster und CW-Laserdesorption

Substanzname	Nachweisgrenze gepulst/ng	Nachweisgrenze CW/ng
Amphetamin	20	10
Methamphetamin	10	10
MDMA	20	5
Heroin	200	5
Kokain	17	3–4
TATP	800 (Dimer)	2.000
Ammoniumnitrat	78 (NO <sub>3</sub> )	460

- **Miniaturisierung der Laserquelle**  
 Aufbauend auf den positiven Erfahrungen bei der Verwendung eines kontinuierlich arbeitenden Lasers in ersten Erprobungen, wurde ein mobiler und praxistauglicher Demonstrator konstruiert. Mit etwa Handgröße und einem Gewicht von ungefähr 200 Gramm ist bei der Entwicklung der batteriebetriebenen APLD-Einheit besonderer Wert auf die Kopplung zu hoch mobilen Systemen, wie handgeführten Ionenmobilitätsspektrometern, gelegt worden. Die beschriebene APLD-Einheit ist in Abbildung 43 dargestellt. Die Kombination zweier netzunabhängiger Geräte erwies sich hierbei als sehr vorteilhaft, da die hohe Mobilität in großen Räumlichkeiten und an schwierig zu erreichenden Messstellen einfache Messungen ermöglicht. Während der Messkampagne konnten erste wertvolle Informationen über die Robustheit des Systems gesammelt werden. Es zeigte sich hierbei, dass die direkte Beprobung von Oberflächen gut funktioniert. Im Zuge der fortlaufenden Messungen stellte sich jedoch auch Verbesserungsbedarf heraus. So könnte eine zeitabhängig steigende Laserenergie die Kontaminationsgefahr der Geräte reduzieren, da eine regelbare Signalintensität die Beanspruchung der Beprobungsoberfläche reduzieren könnte. Weiterhin würde die Erweiterung des Wellenlängenbereiches in Richtung Infrarot-Strahlung auch die Beprobung von durchsichtigen Oberflächen ermöglichen. Zur Verlängerung der Lebensdauer des Systems sollte die elektronische Steuerung robuster konzipiert werden. Weitere Untersuchungen zum Thema APLD-IMS-System wurden nach Ablauf von SEMFreS in anderen Projekten durchgeführt.



**Abbildung 43:** APLD-IMS-Kopplung

Quelle: Uni Rostock

Ein weiteres Vorhaben innerhalb des Projektes SEMFreS war die Prototypentwicklung eines Desorptionssystems für kommerziell erhältliche und von der Feuerwehr verwendete Adsorptionsröhrchen. In erster Linie lag der Fokus auf der Anreicherung von Substanzen. Zum einen ermöglicht ein Aufkonzentrieren von Substanzen, deren Nachweis mit einem weniger empfindlichen Messgerät schwierig ist, einen Nachweis auch bei geringen Konzentrationen. Zum anderen ist die Anreicherung von Gemischen notwendig, wenn durch mobile Gerätekopplungen eine Trennung des Gemisches vor der Identifizierung stattfindet (z. B. GC-IMS bzw. MCC-IMS). Befinden sich neben dem Gefahrstoff noch Partikel (Ruß, Asche) in der Luft, kann das Messen über Adsorptionsröhrchen die Geräte vor hartnäckigen Verschmutzungen schützen. Messungen bei Regen oder überdurchschnittlich hoher Luftfeuchte können das Ergebnis verfälschen, auch in diesem Fall bietet eine Messung über Desorption des Zielstoffes Abhilfe.

Das Desorptionssystem soll möglichst einfach an verschiedene Analysengeräte gekoppelt werden können. Durch diese Kopplung soll eine schnelle und flexible Möglichkeit geschaffen werden, handgeführte Messgeräte mit einer Desorptionseinheit auszustatten. Durch den Wechsel der Heizröhre soll das System an das jeweils benötigte Adsorptionsröhrchen angepasst werden können.

### **Realisierung**

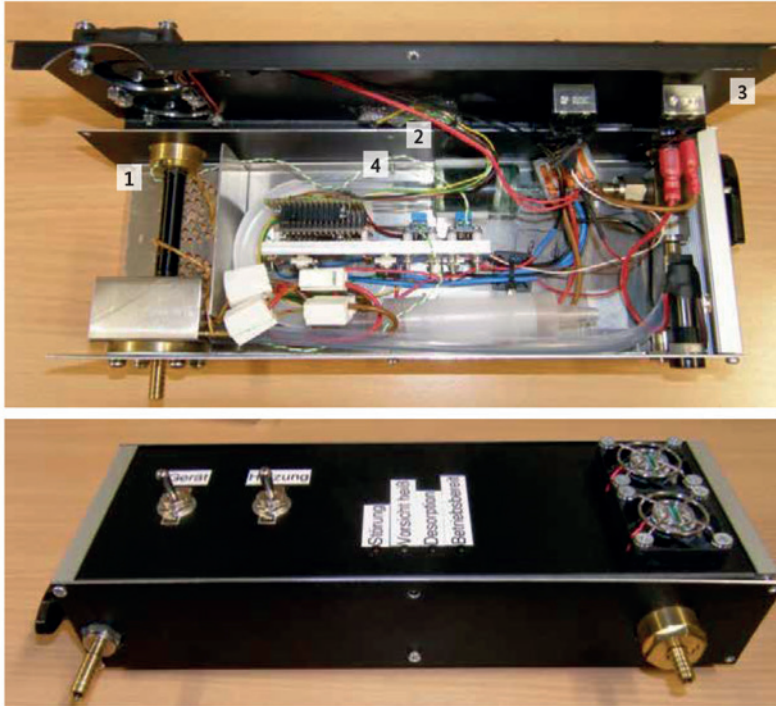
Mit den Maßen standardmäßiger Probenahmeröhrchen und den festgelegten Kriterien konnte ein Prototyp eines Desorptionssystems gebaut werden. Mit diesem Demonstrator fanden praktische Versuche im Rahmen der Messkampagne am IBK Heyrothsberge statt. Bei der Verbrennung von Lösungsmitteln konnte dabei gezeigt werden, dass die gesammelten Brandgase über dem Feuer genügend Restmoleküle enthielten, um eine eindeutige Identifizierung des brennenden Lösungsmittels zu ermöglichen. Diese Versuche gestatteten es, weitere Verbesserungsmöglichkeiten zu finden, welche in die Weiterentwicklung der Desorptionseinheit einfließen.

Die Ergebnisse der Messkampagne am IBK Heyrothsberge waren Grundlage für die konkrete Weiterentwicklung der Desorptionseinheit. Hierbei sollte der Fokus

auf einem einfach zu handhabenden System liegen, welches die Kopplung von verschiedenen Photoionisationsdetektoren und Ionenmobilitätsspektrometern ermöglicht. Durch die in Tabelle 39 genannten Daten soll sichergestellt werden, dass die Desorptionseinheit für praktische Anwendungen schnell genug einsatzbereit und für eine Vielzahl von Analyten geeignet ist. Die einfache Handhabung wurde durch die Reduzierung der Anzeigen und Handhabungsschritte erreicht. Eventuelle Beschädigungen des Gerätes aufgrund von Bedienungsfehlern und Störungen sollen durch Fehlerschutzschaltungen verhindert werden. Die mobile Desorptionseinheit in Abbildung 44 steht für Testmessungen zur Verfügung.

**Tabelle 39:** Zusammenfassung des Lastenheftes und dessen Erfüllung

Anforderung	Soll	Ist
<b>Probenahmeröhrchen</b>	Standardröhrchen (z. B. TENAX)	Heizeinrichtung speziell für jede Röhrchengröße (kann beliebig getauscht werden)
<b>Mobilität</b>	Netzteil/Batteriebetrieb	Netzteil oder jede 12-V-Batterie möglich
<b>Bedienerfreundlichkeit</b>	Handhabung einfach und schnell zu erlernen	Einfache Bedienung über drei Schalter und 4 LEDs
<b>Aufheizphase/Zykluszeit</b>	Schnell einsatzbereit und mehrere Proben messbar	5 Minuten für Betriebsbereitschaft und 20 Minuten Zykluszeit
<b>Flexible Kopplung</b>	Kopplung an verschiedene Ionenmobilitäts- und Photoionisationssysteme	Realisiert über 6-mm-Schlauchanschluss und verschiedene PTFE-Adapter



**Abbildung 44:** Mobile Desorptionseinheit

- 1. Heizung Adsorptionsröhrchen
- 2. Filterung Lufteinlass
- 3. Umschalter Anreicherung/Messen
- 4. Steuerung durch Microcontroller

Quelle: Uni Rostock

# Anhänge

6

**6.1.1 Allgemeines**

Definition: Chemische Kampfstoffe (CWAs) sind synthetische chemische Verbindungen, die wegen ihrer toxischen Wirkung in gasförmiger, flüssiger oder fester Form eingesetzt, den Tod oder die Schädigung an Menschen, Nutztieren oder Nutzpflanzen hervorrufen. Das CWÜ (Chemiewaffen-Übereinkommen) definiert chemische Kampfstoffe kurz als Chemikalie, die als chemische Waffe eingesetzt werden kann.

Hauptziele des Einsatzes chemischer Kampfstoffe sind u. a. die Vergiftung der Atmosphäre sowie die Vergiftung von Gelände, Kampftechnik, Industrieobjekten, Verkehrsknotenpunkten, Gebäuden und anderem.

Nicht alle giftigen Verbindungen sind als chemische Kampfstoffe verwendbar, solche, die möglicherweise geeignet sind, bezeichnet man als potenzielle Kampfstoffe. Die Giftigkeit einer Substanz ist keine absolute Eigenschaft, vielmehr versteht man darunter die verschiedene grundsätzlich schädigende chemische oder chemisch-physikalische Wechselwirkung des Giftes mit dem lebenden Organismus. Herbizide und Mittel zur Bodensterilisierung können pflanzenschädigende Kampfstoffe darstellen.

Die Kenntnisse der allgemeinen Eigenschaften chemischer Kampfstoffe erleichtern deren Detektion und Identifikation. Sie gestatten eine Beurteilung über eine mögliche Dekontamination und erlauben eine Einschätzung über denkbare Anwendungsmethoden und -verfahren. Dabei handelt es sich nicht um allgemeingültige Eigenschaften, die zwangsläufig für alle chemischen Kampfstoffe typisch sein müssen. Folgende Eigenschaften bewirken eine potenzielle Eignung als chemischer Kampfstoff:

- Hohe Toxizität
- Vielfältige Wirkungsweise
- Schneller oder verzögerter Wirkungseintritt



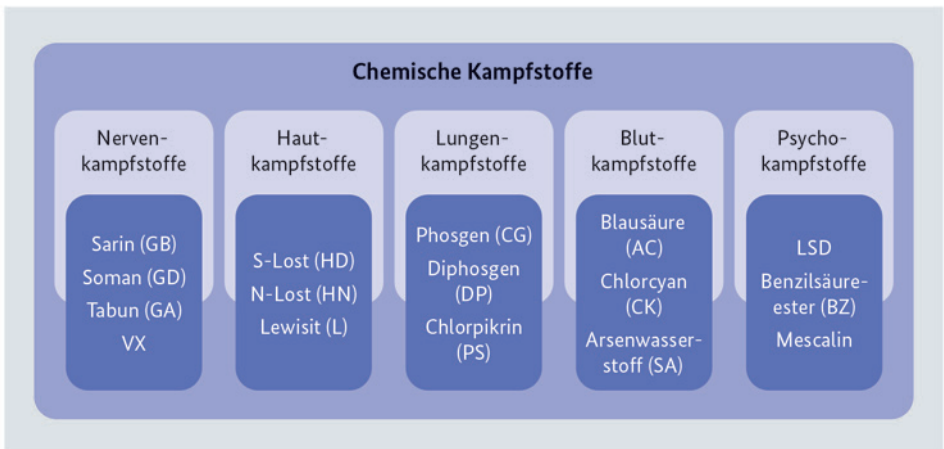
- Keine Sinneswahrnehmung
- Vorhersehbare Ausbreitung in der Atmosphäre
- Gutes Durchdringungs- und Eindringungsvermögen durch Kleidung und Haut
- Chemische Stabilität
- Unerkennbarkeit und Unentgiftbarkeit
- Zweckmäßige chemische/physikalische Eigenschaften:
  - > Dampfdruck: Abgesehen von äußeren Umweltfaktoren werden durch ihn die Flüchtigkeit und damit die Wirkungsdauer und Sesshaftigkeit bestimmt.
  - > Siede- und Schmelzpunkt: Geschätzt sind CWAs mit einem Siedepunkt < 150 °C kurzwirkend, solche > 150 °C langwirkend.
  - > Flüchtigkeit: Bei Temperaturen zwischen 10 bis 30 °C erhöht sich die Flüchtigkeit eines CWAs bei einer Temperaturerhöhung um 1 °C bis zu 10 %.
  - > Sesshaftigkeit: Sie gibt an, wie lange ein Stoff bis zu seiner völligen Verdampfung/Verflüchtigung im offenen Gelände haftet. Stoffe mit Siedepunkten zwischen 150 °C und 300 °C gelten als sesshaft.
  - > Löslichkeit: Sie ist für die Lagerung, Anwendung, Wirksamkeit, Entgiftung, Erkennung und Bestimmung von Bedeutung.
  - > Schwellenwert (IC): Bezeichnung als Dosis oder Konzentration, welche die geringste Menge angibt, durch die ein Kampf- oder Giftstoff die ersten erkennbaren Schädigungen hervorrufen kann.
  - > Letale Dosis (LD): Dies ist die absolut tödlich wirkende Menge eines in den Organismus gelangten Kampfstoffs. Durch sie wird das Verhältnis der tödlich wirkenden Menge zum Körpergewicht ausgedrückt. Die mittlere LD50 gibt die Menge an Kampfstoff an, die einer 50%igen Mortalität entspricht.
  - > Letale Konzentration (LC): Sie charakterisiert die Toxizität eines Kampfstoffs bei Inhalation, also die absolut tödlich wirkende Menge in einer Volumeneinheit der Luft. LC50 ist die Konzentration, die bei einer Einwirkzeit von einer Minute einer 50%igen Mortalität entspricht.

## 6.1.2 Kampfstoffgruppen und deren Eigenschaften

Die Einteilung chemischer Kampfstoffe erfolgt nach verschiedenen Prinzipien. Maßgebend für eine Systematik ist deren Zweckmäßigkeit für das entsprechende Arbeitsgebiet. Hierbei lässt man sich von physikalischen, chemischen, pharmakologisch-toxikologischen, taktischen und methodischen Gesichtspunkten leiten. Im Folgenden soll beispielhaft auf die Einteilung aus pharmakologisch-toxikologischer Sicht eingegangen werden.

Man unterscheidet:

- Nervenschädigende Kampfstoffe, z. B. Sarin
- Hautschädigende Kampfstoffe, z. B. S-Lost
- Lungenschädigende Kampfstoffe, z. B. Phosgen
- Blutkampfstoffe, z. B. Blausäure
- Psychotoxische Kampfstoffe, z. B. LSD



**Abbildung 45:** Übersicht der wichtigsten chemischen Kampfstoffe.

### 6.1.2.1 Nervenschädigende Kampfstoffe

Nervenschädigende phosphororganische Kampfstoffe sind tödlich wirkende chemische Verbindungen, deren chemische Konstitutionen durchaus sehr verschieden sind. Daher besitzen sie auch unterschiedliche Eigenschaften. Unter ihnen gibt es flüchtige Substanzen, z. B. das Sarin, aber auch sehr sesshafte Verbindungen wie das VX, welches lediglich als Spray oder Aerosol zur Anwendung kommen kann. Die biologisch aktiven phosphororganischen Verbindungen haben einen gemeinsamen Wirkungsmechanismus, welcher auf der Hemmung von Hydrolasen (Acetylcholinesterase AChE) beruht. Die Inaktivierung der AChE führt im Nervensystem zu einer Acetylcholin-Vergiftung und in Folge zu starken Krämpfen und Lähmung des Atemzentrums. Die zentralen Wirkungen äußern sich außerdem in Erregungszuständen, psychischen Störungen und anderem. Zur Vergiftung kommt es durch Inhalation oder Resorption von Flüssigkeit. Wegen der hohen Toxizität treten die ersten Symptome bereits bei sehr kleinen Konzentrationen auf. Leichte Vergiftungen äußern sich schon nach einer Latenzzeit von 10 bis 15 Minuten durch Sehstörungen, Kopfschmerzen und Atembeschwerden, die ein bis fünf Tage anhalten können. Schwere Vergiftungen hingegen haben so gut wie keine Latenzzeit, äußern sich durch starken Augendruck, Erbrechen, Krampfanfälle und schwerste Atemnot und enden nach 6 bis 12 Stunden mit dem Tod.

Zu den nervenschädigenden Kampfstoffen gehören unter anderem folgende Verbindungen:

- Sarin
- Soman
- Tabun
- VX

**Sarin** ist eine farb- und geruchlose Flüssigkeit, welche äußerst flüchtig ist. Daher wird das Entstehen von Verdampfungswolken begünstigt. Trotzdem wird es, aufgrund seiner hohen Toxizität zu den langwirkenden Kampfstoffen gezählt. Dämpfe werden von verschiedenen Materialien leicht adsorbiert, sodass sich durch Verschleppung leicht tödliche Konzentrationen in geschlossenen Räumen ausbilden können. Vergiftungen entstehen meist durch Inhalation und äußern sich durch Pupillenverengung, Atembeschwerden, Schwitzen und vermehrten Speichelfluss. Die  $ICT_{50}$  wird mit 40 bis 55  $mg \cdot min \cdot m^{-3}$  angegeben, wobei die Symptome nach etwa ein bis zehn Minuten auftreten. Bei einer  $LC_{50}$  von 70 bis 100  $mg \cdot min \cdot m^{-3}$

tritt der Tod nach 10 bis 20 Minuten durch Herzstillstand ein. Die Absorptionsrate durch menschliche Haut beträgt 0,001 bis 0,002  $\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ .

**Soman** ist eine farblose, chemisch stabile Flüssigkeit, welche gegenüber Sarin deutlich sesshafter und damit langwirkender ist (bis zu 5 Tage). Das technische Produkt ist gelbbraun gefärbt. Durch poröse Materialien wird das Soman deutlich besser adsorbiert als Sarin. Der langsamere Reaktionsverlauf mit Dekontaminations-substanzen wie Hypochloritionen und Hydroxidionen muss besonders bei tiefen Temperaturen berücksichtigt werden. Die Vergiftungssymptome gleichen denen einer Sarinvergiftung, lassen sich jedoch schwerer behandeln. Die  $\text{ICt}_{50}$  wird mit  $25 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  angegeben, bei Einatmung des Somans wird die  $\text{LCt}_{50}$  mit  $70 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  angeführt. Beim Auftreffen von flüssigem Soman auf die Hautoberfläche soll die  $\text{LD}_{50}$  1.000 mg/Mensch betragen.

Der Kampfstoff **VX** gehört zur Gruppe der sogenannten Alkylthiolphosphonate und ist eine geruch- und farblose oder leicht gelb gefärbte ölige Flüssigkeit. VX ist sehr sesshaft und besitzt daher eine praktisch kaum verwertbare Sättigungskonzentration. Wegen des geringen Dampfdrucks kann der Stoff lediglich als Aerosol oder Spray zur Anwendung kommen. Die gute chemische Stabilität ist mit ein wesentlicher Faktor für dessen lange Wirkungsdauer (3 bis 7 Tage oder länger). Die Giftwirkung tritt durch Inhalation und Aufnahme durch die Haut ein. V-Kampfstoffe dringen sehr schnell durch die Haut und passieren schneller als Sarin die Blut-Hirn-Schranke. Entsprechend treten Vergiftungssymptome wie Pupillenverengung in relativ kurzer Zeit auf (4 bis 10 Minuten), sodass die  $\text{ICt}_{50}$  mit  $5 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  angegeben wird. Bei einer solchen Vergiftung kann die Zahl der tödlich Geschädigten bis zu 50 % betragen. Für die Perkutantoxizität wird eine  $\text{LD}_{50}$  von 15 mg/Mensch angegeben. Sehr gefährlich ist auch die Einwirkung von VX-Aerosolen auf die ungeschützte Haut, sodass die  $\text{LCt}_{50}$  hier etwa  $1.000 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  beträgt.

**Tabun** gehörte unter der Bezeichnung T 83 zu den sogenannten Trilonkampfstoffen und ist im reinen Zustand eine klare, fruchtig riechende Flüssigkeit, während das technische Produkt bräunlich gefärbt ist und nach Bittermandeln riecht. Wegen des geringen Dampfdrucks muss Tabun als Aerosol zum Einsatz kommen. Die Giftwirkung tritt unmittelbar, spätestens jedoch innerhalb von 10 Minuten, durch Inhalation oder Hautresorption auf. Die Symptome gleichen im Wesentlichen denen einer Sarinvergiftung. Die  $\text{ICt}_{50}$  wird mit  $100 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  angegeben. Bei einer  $\text{LCt}_{50}$  von  $400 \text{ mg}\cdot\text{min}\cdot\text{m}^{-3}$  tritt die tödliche Wirkung nach 15 bis 20 Minuten ein, perkutan sollen für Menschen etwa 1.000 mg tödlich sein.

- Anwendung: Sie werden als Flüssigkeit, Aerosol oder Spray eingesetzt, wobei gasförmige Kampfstoffwolken nur durch Stoffe vom Typ Sarin gebildet werden

können. Als Inhalationsgifte sind sie hundert- bis tausendmal giftiger als alle anderen Kampfstoffe und zählen daher gegenwärtig zu den giftigsten synthetischen Stoffen. Sie sind zu allen Jahreszeiten und in allen klimatischen Zonen anwendbar, die Wirkungsdauer kann bis Tage und Wochen anhalten. Nervenschädigende Kampfstoffe sind durch alle üblichen Mittel anwendbar, wie Bomben, Landminen, Raketen sowie Flugzeugabsprühgeräte.

- Gegenmaßnahmen: Bei Vergiftungen durch nervenschädigende Kampfstoffe ist die rechtzeitige Erste Hilfe von entscheidender Bedeutung. Auf die Haut oder Ausrüstung gelangter Kampfstoff muss unverzüglich mittels geeigneter Seifenlösungen oder Waschlotionen entfernt werden. Hier bieten sich die Reactive Skin Decontamination Lotion (RSDL) sowie die Sanalind-Waschlotion an. Letztere kann komplett ohne Wasser angewendet werden und besitzt sowohl desinfizierende, als auch komplexierende und reinigende Eigenschaften. Bei Vergiftungen durch Kampfstoffe vom Sarin-Typ kann einem gefährlichen Verlauf durch die sofortige Injektion von Atropin oder ähnlich wirkenden Gegenmitteln vorgebeugt werden. Zu diesem Zweck wurden Autoinjektoren entwickelt, die eine einfache Selbstinjektion ermöglichen. Außerdem sollte eine drucklose Sauerstoffzufuhr die erschwerte Atmung unterstützen.

### 6.1.2.2 Hautschädigende Kampfstoffe

Hautschädigende Kampfstoffe sind Substanzen, die auf längere Zeit den Betroffenen außer Gefecht setzen oder zu tödlichen Vergiftungen führen. Letztere treten bei der Anwendung von Aerosolen oder bei hohen Gaskonzentrationen auf. Aufgrund des hohen Standes chemischer Schutzmaßnahmen steht jedoch die zeitweilige Außergefechtsetzung des Gegners im Vordergrund, welche, bedingt durch die Latenzzeit, erst nach Stunden eintritt. Es kommt sowohl zu lokalen, gewebescheidenden Auswirkungen als auch zu allgemeingiftigen Systemwirkungen durch die Reaktion mit Proteinen im Organismus. Die resultierenden Produkte beeinflussen die Aktivitäten einer oder mehrerer Enzymsysteme sowie den Energieverbrauch der Zellen. Sobald solche Kampfstoffe von der Haut resorbiert werden, rufen sie an den betroffenen Stellen Rötungen, Blasenbildungen oder nekrotische Zerstörungen hervor. Da nur etwa 12 % des resorbierten Kampfstoffs in der Haut verbleiben, kommt es zusätzlich zu toxischen Wirkungen durch das Eindringen in den Blutkreislauf und in alle Organteile.

Die bekannten hautschädigenden Kampfstoffe sind ohne Ausnahme Halogenverbindungen. Zu ihnen zählen unter anderem:

- S-Lost
- N-Lost
- Lewisit

Im reinen Zustand ist **S-Lost**, auch bekannt unter dem Namen Schwefelyperit oder Senfgas, eine farb- und geruchlose, ölige Flüssigkeit, die sehr häufig durch Verunreinigungen gelb- bis dunkelbraun gefärbt ist und einen charakteristischen scharfen meerrettich- oder senfartigen Geruch hat. Die Sättigungskonzentration von ca.  $0,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  bei  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  weist auf eine hohe Sesshaftigkeit hin, sodass die Wirkungsdauer in etwa 12 bis 48 Stunden beträgt, bei niedrigen Temperaturen sogar bis zu 7 Tage. Die  $\text{LCt}_{50}$  beträgt etwa  $1.500 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ . Wegen seiner starken all-gemeingiftigen Wirkung tendiert S-Lost zu den tödlich wirkenden Kampfstoffen, insbesondere bei Einatmung sowie Hautschädigungen größeren Ausmaßes. Die Handlungsunfähigkeit tritt nach 4 bis 6 Stunden durch starke Entzündungen der Augenbindehaut und durch Bildung von Hauterythemen (Reizungen) ein.

Das Stickstoffyperit, **N-Lost**, ist ebenfalls eine farb- und geruchlose, ölige Flüssigkeit, welche sich nach 3 bis 4 Tagen gelb bis braun verfärbt und bei hohen Temperaturen sehr unbeständig ist. Die Sättigungskonzentration wird mit  $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  angegeben, sodass der Kampfstoff aerosolisiert werden muss. Die Hautschädigungen gleichen denen durch S-Lost, die Resorptionsgeschwindigkeit ist allerdings kleiner. Zu Schädigungen an den Augen kommt es jedoch schon bei deutlich geringeren Konzentrationen. Die  $\text{LCt}_{50}$  ist mit  $1.500 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$  ebenso groß wie die des Schwefel-Analogons.

Das **Lewisit** als typischer Vertreter der Alkyldichlorarsine wirkt als Kontaktgift ähnlich wie S- und N-Lost, wird aber schneller durch die Haut aufgenommen und bewirkt unmittelbar eine Hautschädigung ohne Latenzzeit. Obwohl die nekrotischen Zerstörungen tiefgreifender sind, bildet sich die Epidermis relativ schnell wieder aus, sodass die Gefahr von Infektionen geringer ist. Die Symptome klingen nach 2 bis 4 Tagen wieder ab. Die Augen werden schon bei geringen Konzentrationen angegriffen, dies äußert sich durch Brennen und Lichtscheue bis hin zum Verlust des Glaskörpers. Bei Inhalation kommt es zu starken Reizungen der oberen Atemwege bis hin zu Atemnot und Brustkrämpfen. Das technische Produkt ist eine ölige, dunkelbraune Flüssigkeit mit einem starken, aufdringlichen Geraniengeruch. Chemisch ist es relativ instabil. Die  $\text{LCt}_{50}$  wird auf  $1.300 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$  geschätzt.

- Anwendung: Im Prinzip eignen sich alle bekannten Anwendungsmittel, wie z. B. Granaten, Bomben oder Flugzeuge mit Absprüheinrichtungen. Durch Polymerenzusätze (Verdicker) kann die Viskosität beeinflusst werden, was die Wirkungsdauer verlängert. Die größte Sesshaftigkeit besitzen S- und N-Lost, sodass diese auch nach Regeneinwirkung noch wirksam sind. Hautschädigende Kampfstoffe sind überwiegend langwirkend, sodass das Ziel ihrer Anwendung nur die zeitweilige Außergefechtsetzung sein kann.
- Gegenmaßnahmen: Sind Spritzer von hautschädigenden Kampfstoffen auf die Haut gekommen, so müssen sie mit speziellen Tupfern entfernt und keinesfalls abgerieben werden, weil letzteres die Einwirkungsfläche des Kampfstoffes vergrößern würde. Die Haut kann durch Salben, die Chloramin oder ähnlich wirkende Mittel enthalten, dekontaminiert werden, alternativ durch Waschlotionen/Seifenlösungen. Ist Bekleidung betroffen, so muss diese schnellstens gewechselt werden, um die Einwirkung auf die Haut zu verhindern. Ein zuverlässiger Schutz der Atmungsorgane ist nur durch Filter und gut sitzende Schutzmasken zu erreichen. Sind die Atemwege dennoch durch hautschädigende Kampfstoffe verletzt worden, so hilft oft schon eine Wasserdampfinhalation. Ist Kampfstoff in die Augen gekommen, empfiehlt sich eine Spülung mit schwacher Sodalösung.

### 6.1.2.3 Lungenschädigende Kampfstoffe

Lungenschädigende Kampfstoffe sind kurz- und langsamwirkende Substanzen, die mit dem Ziel der Tötung eingesetzt werden. Der Wirkungsmechanismus kann durchaus unterschiedlich sein. Es kommt jedoch letztlich immer zu einem Lungenödem, welches sich erst nach einer Latenzzeit von einigen Stunden zeigt. Die lungenschädigenden Substanzen dringen durch die Alveolarmembranen der Lungenbläschen und lösen Entzündungen der Lungenkapillarwand aus. Fortschreitend tritt Blutflüssigkeit aus der Kapillare in das Gewebe über, der Gasaustausch wird gestört und es kommt zu Sauerstoffmangel und erhöhtem Kohlendioxidgehalt im Lungengewebe. Fest steht, dass mehrere Faktoren für die Giftwirkung verantwortlich sind, zumal auch Schäden am zentralen Nerven- und Stoffwechselsystem auftreten können. Fatal ist, dass die Vergiftung zunächst nicht bemerkt wird, es kann lediglich zu Hustenreiz oder Halskratzen kommen, was meist nicht beachtet wird. Symptome wie Kurzatmigkeit, Atemnot und Brustschmerzen treten erst nach Ablauf der Latenzzeit auf. Die Vergiftung führt meist innerhalb eines Tages zum Tod.

Die meisten organischen Verbindungen, deren Dämpfe, Gase und Aerosole nach ihrer Einatmung die Lunge schädigen, sind Halogenverbindungen wie:

- Phosgen
- Diphosgen
- Chlorpikrin

Das Kohlendäuredichlorid, besser bekannt unter dem Namen **Phosgen**, ist ein farbloses Gas, welches einen süßlichen Obstgeruch aufweist. Technisches Phosgen ist schwach gelb oder rotgelb gefärbt. Wegen seines hohen Dampfdrucks hat es selbst bei niedrigen Temperaturen eine extrem hohe Flüchtigkeit und wird daher nur gasförmig eingesetzt. Die Wirkungsdauer liegt etwa zwischen 30 Minuten und drei Stunden, abhängig von der Umgebungstemperatur. Die ersten Anzeichen einer Vergiftung treten nach 3 bis 12 Stunden auf, deshalb können vorher unbemerkt letale Dosen eingeatmet werden. Die  $LC_{t_{50}}$  liegt bei  $3.200 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Das **Diphosgen** ist eine farblose, ölige Flüssigkeit mit ähnlichem Geruch wie Phosgen. Wegen seines geringen Dampfdrucks besitzt es jedoch eine längere Wirkungsdauer und wird als Aerosol angewendet. Beim Kontakt mit dem flüssigen Kampfstoff kommt es zu Haut- und Augenreizungen, ansonsten entspricht das verursachte Krankheitsbild dem einer Phosgenvergiftung mit gleichem  $LC_{50}$ -Wert. Nach einer Expositionszeit von fünf Minuten sind  $1.000 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  tödlich.

**Chlorpikrin** wurde unter anderem als Kampfstoff Grünkreuz-1 eingesetzt und ist eine farblose, leicht ölige und flüchtige Flüssigkeit von durchdringendem Geruch und hohem Dampfdruck. Sie ruft beim Menschen Hautblasen hervor und führt zu Augenreizungen und Atembeschwerden. Es ist daher spezifisch für eine Lungenkampfstoffvergiftung mit der Ausbildung eines toxischen Lungenödems, welches durch Atemnot, grobblasige Atemgeräusche und schaumig-roten Auswurf begleitet wird. Da die Symptome über Stunden verzögert auftreten können, muss die mögliche Aufnahmezeit beachtet werden.

- Anwendung: Unter modernen Bedingungen wird das Phosgen nur noch eine relativ geringe militärische Bedeutung besitzen. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass bei Mangel an anderen Kampfstoffen auf diesen Stoff zurückgegriffen wird. Das gleiche gilt für Chlorpikrin, welches jedoch noch in großen Mengen von der chemischen Industrie als Schädlingsbekämpfungsmittel produziert wird.
- Gegenmaßnahmen: Da Verletzungen durch lungenschädigende Kampfstoffe gewöhnlich stärker sind, als der Betroffene annimmt, ist in jedem Fall die Schutzmaske aufzusetzen. Die Sauerstoffzufuhr in den Körper wird stark vermindert, daher ist in fast allen Fällen eine drucklose Sauerstoffbehandlung



notwendig. Dabei muss darauf geachtet werden, dass der Sauerstoffgehalt des Beatmungsgases über 75 % liegt. Der Betroffene muss völlig ruhiggestellt werden, um jegliche Erhöhung des Sauerstoffbedarfs zu verhindern. Wegen der hohen Flüchtigkeit ist eine Entgiftung von Material nicht notwendig. Gutes Durchlüften, evtl. unterstützt durch Wärme oder Wasserdampf, ist ausreichend.

#### 6.1.2.4 Blutkampfstoffe

Die Blutkampfstoffe, auch als allgemeingiftige Kampfstoffe bezeichnet, sind kurz- und meist schnellwirkende Substanzen, die mit dem Ziel der Tötung direkt oder indirekt eingesetzt werden. Die Giftwirkung beruht auf ihrem Einfluss auf spezifische enzymatische Vorgänge und auf gewisse Stoffwechselprozesse im Organismus, wobei die Auswirkungen unterschiedlich sind. Die allgemeingiftigen Cyanverbindungen wirken vor allem durch Inhalation, flüssig dringen sie durch die Haut. Gelangt beispielsweise ein Tropfen Blausäure in den Organismus, kann dieser einen Menschen töten. Die Wirkung beruht auf einer irreversiblen Hemmung der eisenhaltigen Cytochrom-Oxidase, wobei die Zellatmung zum Stillstand kommt. Die Vergiftung verläuft sehr schnell, wobei die Betroffenen zunächst einen Bittermandelgeruch und/oder -geschmack bemerken, begleitet von einem brennenden Gefühl im Hals und allgemeinem Unwohlsein. Es folgt eine zunehmende Atemnot mit Verlust des Seh- und Hörvermögens bis zur Bewusstlosigkeit. Haut und Schleimhäute verfärben sich rot. Der Tod tritt meist nach 15 bis 30 Minuten ein.

Zu den Blutkampfstoffen zählen unter anderem folgende Substanzen:

- Blausäure
- Chlorcyan
- Arsenwasserstoff

Cyanwasserstoff, auch **Blausäure** genannt, ist eine klare, farblose Flüssigkeit mit einem betäubenden Bittermandelgeruch. Wegen des hohen Dampfdrucks ist sie sehr flüchtig, daher wird im Normalfall lediglich die Atmosphäre kontaminiert. Es handelt sich um ein Zellgift ohne reizerregende Wirkung, dessen Giftwirkung bei Konzentrationen über  $80 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  eintritt. Die  $\text{LCt}_{50}$  beträgt etwa  $2.000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ . Sowohl die gasförmige als auch die flüssige Blausäure wird durch die Haut resorbiert.

Das **Chlorcyan** ist eine sehr flüchtige Verbindung, die je nach Lufttemperatur gasförmig, flüssig oder fest sein kann. In schon geringen Mengen führt sie zu

Reizungen der Augen und oberen Atemwege, gefolgt von Husten, Verdauungsstörungen und Bindehautentzündungen. Die Schwellenkonzentration beträgt etwa  $2,5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , die  $\text{LC}_{50}$  etwa  $11.000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$ . Hier tritt die Wirkung innerhalb von einer bis 15 Minuten auf.

**Arsenwasserstoff**,  $\text{AsH}_3$ , ist ein farbloses, nach Knoblauch riechendes Gas, welches 2,7-mal schwerer ist als Luft. Je nach Konzentration treten die Vergiftungssymptome nach Latenzzeiten von 2 bis 15 Stunden auf, welche sich unter anderem durch Benommenheit, Übelkeit, Kopfschmerzen, Fieber oder Gelbsucht äußern. Ein sicheres Kennzeichen ist die Verfärbung des Urins von zunächst rot, durch den Zerfall der roten Blutkörperchen, bis hin zu dunkelbraun. Durch die Hämolyse werden Milz, Leber und Nieren geschädigt, durch den Sauerstoffmangel im Blut kommt es nach 2 bis 5 Tagen zum Tod. Die Schwellenkonzentration wird mit  $> 100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  angegeben. Zur Freisetzung eignen sich Alkali- und Erdalkaliarsenide, die schon durch Luftfeuchtigkeit zersetzt werden.

- Anwendung: Von den Blutkampfstoffen kommt der Blausäure die größte Bedeutung zu, da deren Synthese größerer Konzentrationen in kurzer Zeit möglich ist. Die Anwendungsmittel für Blausäure und Chlorcyan beschränken sich allerdings auf größere Bomben und Flugzeugabsprühgeräte, da sehr hohe Konzentrationen erforderlich sind. Außer den hier genannten Anwendungsmöglichkeiten ist es nicht ausgeschlossen, dass Blausäure auch als Sabotagegift eine Rolle spielen kann.
- Gegenmaßnahmen: Die Mittel der Dekontamination gleichen im Wesentlichen denen für nervenschädigende Kampfstoffe. Durch die hohe Flüchtigkeit der Blutkampfstoffe entfällt die Dekontamination. Blausäurereste und cyanhaltige Lösungen sind mit Eisensulfatlösungen bei anschließender Behandlung mit Alkalihydroxidlösungen zu dekontaminieren.

### 6.1.2.5 Psychotoxische Kampfstoffe

Psychotoxische Kampfstoffe sind für militärische Zwecke nutzbare Verbindungen, die bei Menschen psychische Anomalien oder auch zentralnervöse Störungen hervorrufen. Sie sollen zur zeitweiligen Außergefechtsetzung und zur Handlungsunfähigkeit führen. Die Wirkungen treten schon durch Milligramm- und Mikrogrammdosen auf. Es kommt meist zur Erzeugung psychopathologischer Bilder, aber auch zu Blutdruckveränderungen, zeitweiliger Blindheit oder einfarbigem Sehen. Ebenso kann es zu Gleichgewichtsstörungen, Erbrechen und anderen Erscheinungen kommen. Es kommt zu Störungen des Nervensystems, jedoch zu

keinen bleibenden Schädigungen im Organismus, mit Ausnahme bei chronischen Vergiftungen wie bei LSD-Süchtigen.

Zu ihnen zählen unter anderem folgende Stoffe:

- Benzilsäureester (BZ)
- Lysergsäurederivate (LSD)
- Meskalin

Das **BZ** ist eine weiße, kristalline Substanz mit hoher thermischer Stabilität. Sie wird meist aus pyrotechnischen Gemischen aerosolisiert. Die Inhalationsschwelendosis beträgt 2 mg/Mensch. Die Symptome entsprechen den oben angeführten; bei Kindern, alten und kranken Personen kann eine Vergiftung sogar zum Tod führen. Die  $LC_{t_{50}}$  wird auf  $200.000 \text{ mg} \cdot \text{min} \cdot \text{m}^{-3}$  geschätzt.

Das **LSD** ist eine kristalline, farblose Substanz, geruchs- und geschmacklos sowie thermisch sehr instabil. Chemisch ist es relativ stabil, wird aber durch Oxidationsmittel oder Halogenierungsmittel (Dichloramin oder Hexachloramin) zersetzt. Als Minimaldosis gibt man den Bereich von 0,03 bis 0,06 mg/Mensch an, wobei die ersten vegetativen Störungen nach etwa 15 bis 20 Minuten auftreten, die Auslösung der Psychose erfolgt dann nach ca. 40 bis 60 Minuten. Die  $LD_{50}$  beträgt etwa 14 mg/Mensch.

**Meskalin** zählt zu den Phenylalkylaminen und ist eine farblose, kristalline Substanz. Psychosen werden nach ca. ein bis zwei Stunden durch Dosen von 50 bis 200 mg ausgelöst. Beginnend mit verstärktem Rede- und Bewegungsdrang, kommt es später zu Unwohlsein und unterschiedlichen Sinnestäuschungen. Da die Wirkungsdosis nahe der tödlichen Dosis liegt, ist die Gefahr der Tötung durch Atemlähmung gegeben.

- Anwendung: Die gegenwärtigen psychotoxischen Kampfstoffe sind wegen ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften vorrangig als Aerosole einsetzbar und müssen durch entsprechende Generatoren verteilt werden. Ihre Anwendung in Lösungen ist theoretisch möglich, ebenso ist eine Verteilung durch Splitter-, Kugel- und andere Fragmentgeschosse denkbar. Ziel ist es, Panik und Angst unter den Betroffenen auszulösen und gegebenenfalls eine zeitweilige völlige Gefechts- bzw. Handlungsunfähigkeit herbeizuführen.
- Gegenmaßnahmen: Bei einer Kontamination mit psychotoxischen Verbindungen ist der Betroffene möglichst vor dem Auftreten der Symptome über

die zu erwartenden psychischen Verhaltensstörungen aufzuklären, sodass eine bewusste Entgegenwirkung einen Schutz vor unkontrollierten Handlungen darstellt. Ist die Art des angewandten Stoffes bekannt, können gegebenenfalls Antidote verabreicht werden.

### 6.1.3 Historie

Die Anwendung solcher Stoffe im Krieg lässt sich bis ins Altertum zurückverfolgen, aber erst die industrielle Entwicklung ermöglichte einen Masseneinsatz von synthetisch hergestellten Giftstoffen. Mit dem Chemiewaffen-Übereinkommen (CWÜ) von 1993, dem fast alle Staaten weltweit beigetreten sind, sollte der Einsatz von chemischen Kampfstoffen unterbunden werden. 1997 ist ein völkerrechtlicher Vertrag zustande gekommen, welcher sicherstellen sollte, dass bis 2007 chemische Waffen vernichtet werden. Dennoch ist es noch heute möglich, dass kriminelle und terroristische Gruppen und Staaten die Wirkung von chemischen Kampfstoffen für ihre eigenen Ziele einsetzen. Ein Beispiel hierfür sind die momentanen Kriege im Nahen Osten. Seit über 100 Jahren werden chemische Kampfstoffe eingesetzt und deren Einführung im ersten Weltkrieg (1914–1918) erzwang Änderungen im Militärwesen. Im ersten Golfkrieg (1980–1988), in dem der Irak massiv chemische Kampfstoffe gegen iranische Soldaten und Bevölkerung einsetzte, erlangte der Einsatz solcher Substanzen einen weiteren Höhepunkt.

#### 6.1.3.1 Anwendung nervenschädigender Kampfstoffe

Diese Kampfstoffe wurden im Zweiten Weltkrieg als mögliche CWAs identifiziert. Als erster Kampfstoff wurde großtechnisch das Tabun produziert, gelagert und in größeren Mengen in Munition abgefüllt. Gegen Ende des Krieges erlangte dann das Sarin Produktionsreife, welches noch während des Krieges durch Soman ergänzt wurde. Die toxischen Eigenschaften dieser Verbindungen fanden nicht nur militärisches Interesse, sondern auch das von Biochemikern, Medizinern und Pharmazeuten. Es gelang, neue Erkenntnisse im Bereich der Reizübertragung im Nervensystem zu sammeln und bestimmte Zusammenhänge über die Wirkung von Biokatalysatoren aufzuklären. Unter Nutzung dieser Erkenntnisse entwickelten mehrere Staaten in den 50er-Jahren aus diesen Verbindungsgruppen hochgiftige Kampfstoffe, welche allgemein als „V-Stoffe“ bezeichnet werden. Leider werden nervenschädigende Kampfstoffe auch heute noch eingesetzt. 1995 kam es beim Terroranschlag der japanischen Aum-Sekte zur Freisetzung des Nervengiftes Sarin in der U-Bahn von Tokio, wobei es zu 12 Toten und über 5.000 Verletzten kam. Seit 2013 werden ebenfalls Kampfmittel mit Sarin immer wieder in Syrien verwendet, unter anderem im August 2013 in Ghouta.

### 6.1.3.2 Anwendung hautschädigender Kampfstoffe

Im Juli 1917 wurden englische Truppen in der Flandernschlacht nahe Ypern mit Granaten beschossen, welche eine ölige Flüssigkeit enthielten. Der neue Kampfstoff mit der Deckbezeichnung „Lost“, benannt nach dessen Entwicklern Dr. Lommel und Wilhelm Steinkopf, wurde während des Zweiten Weltkriegs (1939–1945) in großen Mengen bereitgestellt. Nach dem Zweiten Weltkrieg verloren die Hautkampfstoffe zunächst an Bedeutung und wurden nur noch für Notfälle eingelagert. Das Lost kam 1983 bis 1988 im Iran-Irak-Krieg erneut zum Einsatz. Ebenso verwendete die Terrormiliz Islamischer Staat diesen Kampfstoff 2015 und 2016 gegen Kurden und den Luftwaffenstützpunkt al-Qayyara West.

### 6.1.3.3 Anwendung lungenschädigender Kampfstoffe

Phosgen wurde im Ersten Weltkrieg als chemischer Gaskampfstoff (Grünkreuz) eingesetzt und war für den Großteil der etwa 17.000 Gastoten verantwortlich. Am 20. Mai 1928 kam es durch undichte Tanks auf dem Gelände der Hamburger Chemiefabrik Stolzenberg zu einem folgenschweren Unfall, da durch austretendes Phosgen 10 Menschen starben und etwa 150 verletzt wurden. Im Mai 1999 kam es im damaligen Jugoslawien zu einer kriegsbedingten Bombardierung von serbischen Industrieanlagen, wobei erhebliche Mengen von Schadstoffen in die Luft geleitet wurden. Solche diversen Verbindungen sind auch heute noch wichtige Ausgangsprodukte zur Herstellung von Kunstfasern, Farbstoffen und anderem, sodass deren kommerzielle Produktion für den zivilen Bedarf nicht unbeträchtlich ist.

### 6.1.3.4 Anwendung von Blutkampfstoffen

Blausäure, genau wie Chlorcyan, wurde bereits im Ersten Weltkrieg zur Anwendung gebracht. Die tödliche Wirkung der Blausäure wurde ebenfalls in den NS-Vernichtungslagern Majdanek, Mauthausen und Auschwitz-Birkenau benutzt, um Menschen in großer Zahl zu ermorden. Einige NS-Politiker sowie führende Angehörige der Wehrmacht entzogen sich gerichtlicher Aufarbeitung ihres Handelns durch Suizid mit einer Blausäurekapsel (Salz der Blausäure). Zur Vollstreckung der Todesstrafe in den Vereinigten Staaten wurde bis 1999 Blausäuregas in der Gaskammer eingesetzt. Heute zählen insbesondere die Blausäure und ihre Salze zu den wichtigen Industriechemikalien, welche unter anderem in der galvanischen Industrie Verwendung finden. Aber auch Brandgase vieler Kunststoffprodukte enthalten Blausäure und stellen so eine erhebliche Gefahr für das Rettungspersonal dar.

### **6.1.3.5 Anwendung psychotoxischer Kampfstoffe**

Tödliche Konzentrationen können mit diesen Kampfstoffen kaum geschaffen werden, was auch nicht dem taktischen Ziel ihrer Anwendung entspricht. Sie können gegebenenfalls als Sabotagegifte genutzt werden, wobei deren Einsatz gegen sorgfältig auszuwählende Ziele erfolgen könnte, bei denen tödlich wirkende Kampfstoffe militärisch oder politisch unerwünscht sind.

### **6.1.4 Zusammenfassung**

Solange chemische Kampfstoffe eine Bedrohung darstellen, müssen ausreichende Schutzmaßnahmen und möglichst empfindliche Nachweisverfahren verfügbar sein, um zu alarmieren, um Kampfstoffe zu detektieren und zu identifizieren und um kontaminationsfreie Räume sowie eine Kontaminationsausdehnung zu bestimmen. Neben Spürpapier und Prüfröhrchen sind vielfältige Nachweisverfahren, wie Gaschromatographie/Massenspektrometrie, Ionenmobilitätsspektrometrie, Flammenphotometrie oder IR-/Raman-Spektroskopie, von Bedeutung. Nachteil vieler Systeme ist jedoch, dass immer noch in den kontaminierten Bereich eingedrungen werden muss.

<b>Messverfahren:</b>	Chemischer Schnelltest
<b>Bezeichnung:</b>	Identa
<b>Hersteller:</b>	Identa (Israel), info@identa-corp.com
<b>Vertrieb:</b>	PMC Peled Management & Consulting, (Deutschland), pmc@peled.de
<b>Anwendung:</b>	Explosivstoffdetektion für die Gruppen 1 bis 6 und 8*1

### Beschaffung

Kosten für Einzeltest variiert je nach Test: ca. 4 € (2015)

Zubehör: nein

Einfuhrbestimmungen: nein

Lieferzeiten nach Bestellung: 1 bis 4 Wochen

Liefergarantie für 10 Jahre: ja

### Handhabung

Haltbarkeit (verschlossen): 3 Jahre

Haltbarkeit nach Anbruch: Einzeltest

Lagerungstemperatur: -20 °C bis 50 °C

Kühlung notwendig (Lagerung): nein

Gebrauchsanleitung in Deutsch: ja

Gebrauchsanleitung leicht verständlich: ja

Ist eine Schutzausrüstung erforderlich: Handschuhe, Schutzbrille

Lässt sich der Test im Vollschutz handhaben: ja

Sind Zusatzgeräte für die Handhabung notwendig: nein

Transportmöglichkeit: ja, Koffer

<b>Messverfahren:</b>	<b>Chemischer Schnelltest</b>
<b>Bezeichnung:</b>	<b>ExPen</b>
<b>Hersteller:</b>	<b>Mistral (Israel), <a href="http://www.mistralgroup.com">www.mistralgroup.com</a></b>
<b>Vertrieb:</b>	<b>Helling (Deutschland), <a href="http://www.helling.de">www.helling.de</a></b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion für die Gruppen 1–8*<sup>1</sup></b>

## **Beschaffung**

Kosten für Einzeltest variiert je nach Test: ca. 4 bis 5 € (Stand 2016)

Zubehör: ExPen/Box

Einfuhrbestimmungen: nein

Lieferzeiten nach Bestellung: 6 Wochen

Liefergarantie für 10 Jahre: ja

## **Handhabung**

Haltbarkeit (verschlossen): 2 Jahre

Haltbarkeit nach Anbruch: Einzeltest, abhängig von den Lagerbedingungen, Kühlschrank > 30 Tage

Lagerungstemperatur: -20 °C bis 50 °C

Kühlung notwendig (Lagerung): nein

Gebrauchsanleitung in Deutsch: ja

Gebrauchsanleitung leicht verständlich: ja

Ist eine Schutzausrüstung erforderlich: Handschuhe, Schutzbrille

Lässt sich der Test im Vollschutz handhaben: ja

Notwendige Zusatzausrüstung: nein

Transportmöglichkeit: Ja, Box



<b>Messverfahren:</b>	<b>Chemischer Schnelltest</b>
<b>Bezeichnung:</b>	<b>Expray</b>
<b>Hersteller:</b>	<b>Mistral (Israel), <a href="http://www.mistralgroup.com">www.mistralgroup.com</a></b>
<b>Vertrieb:</b>	<b>Helling (Deutschland), <a href="http://www.helling.de">www.helling.de</a></b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion für die Gruppen: 1 bis 3<sup>*1</sup></b>

## Beschaffung

Kosten für Testkit: ca. 290 € (2016)  
 Zubehör: 3 Sprühdosen, Testpapier, Prüfpapier  
 Einfuhrbestimmungen: nein  
 Lieferzeiten nach Bestellung: max. 4 Wochen  
 Liefergarantie für 10 Jahre: ja

## Handhabung

Haltbarkeit (verschlossen): 2 Jahre  
 Haltbarkeit nach Anbruch: 1 bis 2 Jahre, je nach Lagerbedingungen  
 Lagerungstemperatur: Sprühdose, keine Herstellerangabe  
 Kühlung notwendig (Lagerung): Sprühdose, keine Herstellerangabe  
 Gebrauchsanleitung in Deutsch: ja  
 Gebrauchsanleitung leicht verständlich: ja  
 Ist eine Schutzausrüstung erforderlich: Handschuhe, Schutzbrille  
 Lässt sich der Test im Vollschutz handhaben: ja  
 Notwendige Zusatzausrüstung: nein  
 Transportmöglichkeit: ja, Koffer

<b>Messverfahren:</b>	<b>Colorimetrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>SEEKERe erhältlich als Explosivstoff- und Drogen-Detektionsgerät, Handgerät</b>
<b>Firma:</b>	<b>Vertrieb: Analyticon (Hersteller: DetectaChem LLC, Houston, Texas USA)</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Sprengstoff- und Drogendetektion vor Ort mit Wischprobe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, brutto [€] (Stand: 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	19.000	Standardmäßiger Lieferumfang inkl. externer Software
Sonstiges Zubehör	-	-
Garantieverlängerung	1.200	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	-	Nicht notwendig
Gerätepflege (Benutzer)	2,10 pro Stück	Bei Bestellung von > 600 Stück Swipe-Cards
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	-	Wischproben (Hausmüll) Gerät (Elektroschrott)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht inkl. Akku: 245 g
- mit einer Hand tragbar: ja
- notwendige Zusatzausrüstung: ja  
Erläuterung: Wischprobenblätter (Swipe Cards)

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	-	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	6–8 h
Fahrzeugaadapter	x	Optional bestellbar
Akku extern aufladbar	-	
Ersatzakku	-	

## Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

- Die Messbereitschaft beträgt max. 30 Sekunden
- Sonstiges: automatisches Ausschalten oder Bildschirmschoner einstellbar

## Robustheit

### Reinigung

- Immersion: nein
- Dekontamination: ja  
Erläuterung: spezielle Anfragen an den Hersteller richten
- Transportbehälter: ja  
Erläuterung: stabiler, wasserfester Transportkoffer

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperaturbeständigkeit:  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$
- Schutzart: IP66 (6: staubdicht und vollständiger Schutz gegen Berührung; 6: Schutz gegen starkes Strahlwasser)

### Hersteller-Support

- Garantie: 1 Jahr
- Einschicken notwendig: ja (bei Defekt)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Ein-/Aus-Knopf, logisch, deutsch; Menüführung nur durch eine Taste möglich
- Trennung von Bedien- und Servicemenü mit Passwortschutz: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja  
Wenn ja, kurze Erläuterung: Beleuchtung, Details ausblenden, Sprache, akustischer Alarm, Datum/Uhrzeit/GPS, Selbsttest
- Art der Bibliothek: Substanzgruppen-Anzeige (s. 6.1 Anwendungsmöglichkeiten)

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Standardprobe): ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für fehlende Standard-Übereinstimmung: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: nein
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: nein
- Warnhinweis bei nichtsenkrechter Positionierung während der Messung: ja
- Warnhinweis GPS nicht gefunden: ja
- Warnhinweis Barcode nicht lesbar: ja
- Warnhinweis bei abgelaufener oder verschmutzter Swipe Card: Ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: nein
  - > Akustischer Alarm: ja
- Verdeckter Einsatz: ja
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: nein

### Externe Software

Im Lieferumfang enthalten, aber für Messungen nicht nötig.

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: enzymatische Farbreaktion mit funktioneller Gruppe der Stoffe; substanzspezifisch, d. h., der Farbumschlag findet zu einer bestimmten Zeit mit einer bestimmten Farbe statt
  - > Explosivstoffe: Nitroaromaten (G1), Nitrosamine und Nitratester (G2), Anorganische Nitrate (G3), Chlorate und Perchlorate (G4), Peroxide (G5)
  - > Drogen: Methamphetamine, Kokain, THC, Opiate, synth. Cannabinoide, Ketamine, Heroin, Morphine, Codeine, MDMA, Ecstasy, Marihuana, Haschisch
  - > Identifizierungsgrenze: µg-Bereich
  - > Selektivität: hoch, durch Hintergrundabzug
  - > Querempfindlichkeit: starke Eigenfärbung der Proben, farbige Verunreinigungen
- Stoffliche Zugänglichkeit: alles, was mit Wischkarte beprobt werden kann
  - > Kurze Erläuterung: Menschen, Hände, Finger, Haut, Autos, Verpackungen, Taschen, Gepäck, Container, Gläser, Kunststoff, Metalle, Holz, Zement, Gummi, Stoffe ...
- Aggregatzustände: fest und flüssig
  - > Kurze Erläuterung: Pulver, Pasten, Flüssigkeiten (Lösungsmittel abdampfen lassen)

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Display: 400 x 240 Pixel-Vollfarb-LCD-Bildschirm
- Formen der Messung: über Wischprobe (Swipe Cards)
- Messzeit: max. 100 s
- Sprachen: multilingual
- Messmöglichkeiten: Art der Swipe Card anpassen (Explosivstoffe, Drogen)
- Zugriff auf zusätzliche Informationen (z. B. Sicherheitsdatenblatt, Struktur, etc.): ja
- Beprobung: angeraute Oberfläche zur Anhaftung der Probenpartikel; je nach Art unterschiedliche enzymatische Reagenzlösungen vorhanden
- Beweissicherung: Alle Testergebnisse werden automatisch im Gerät gespeichert, zusammen mit dem Barcode der Wischkarte, Datum, Uhrzeit und den präzisen GPS-Daten. Sie können somit sicher der jeweiligen Wischkarte (als Beweisstück) sowie dem entsprechenden Einsatz zugeordnet werden.

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Ansprechkonzentrationen von Explosivstoffen:  
Die Prüfungen wurden in den Jahren 2015/2016 vom WIS in Munster durchgeführt.

2,6-DNT, RDX und HMTD wurden in Acetonitril gelöst, auf die Swipe Cards aufgetropft und, nachdem das Lösungsmittel vollständig verdampft war, untersucht. Ammoniumnitrat und Kaliumchlorat wurden jeweils in Wasser gelöst, auf die Swipe Cards aufgetropft und feucht (jedoch kein Wassertropfen mehr vorhanden) untersucht.

Substanz	Konzentration [ $\mu\text{g}$ ]	Gruppenzuordnung (G)
2,6-DNT	6,9	1
RDX	0,3	2/3
Ammoniumnitrat	27	2/3
Kaliumchlorat	210	4/5
HMTD	0,2	4/5

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	–
Messrate	x	~ 1 min
Kontinuierliche Messung	–	–
Nach Probenaufgabe automatisch ausgelöst	x	–
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	–

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Aautomatisch	x	–
Hohe Speicherkapazität	x	> 100.000 Messungen
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	–	Nicht bekannt
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS, Barcode)	x	–
Art der Schnittstellen	x	USB, CD-R (optional: Bluetooth, WiFi)

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe: nein
- Trefferliste als Gruppenzuordnung (G1–G5): ja
- Angabe der Ergebnisgüte dr. Korrelationswert oder anderer Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein dr. Farbcode (sichere/unsichere Identifizierung): nein
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: nein, nur Substanzgruppe
  - > Restsuche manuell auslösbar: nein
  - > Automatische Gemischsuche: nein, nicht mehrere Gruppen gleichzeitig messbar
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: nein
- Visuelle Darstellung: ja  
Kurze Erläuterung: Messmodus, Messdauer, Gruppenzuordnung Ergebnisgüte, Alarm, Firmware, Farbverlauf

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Durch Kurzfilme auf dem Gerät auch ohne Einweisung möglich
Spezielle Ausbildung		

#### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*2</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

\*2 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>Photoionisation</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Mini Rae 3000 PGM 7320</b>
<b>Firma:</b>	<b>RAE Systems</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Nachweis leichtflüchtiger organischer Gase</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	5.000	Messbereich 0–15.000 ppm, Funkmodul: Bluetooth, RF-Modul, ProRAE Studio Software für externen Rechner, Li-Ionen-Akku, Ladegerät, Ladeadapter, UV-Lampe (10,6 eV mit 3 Jahren Garantie), Flex-I-Sonde, externer Filter, Gummihülle, Adapter f. Alkalibatterien, Lampenreinigungs-Kit, Werkzeug-Kit, CD-ROM, Betriebs- und Wartungshandbuch, weiche Transportledertasche
<b>Sonderzubehör</b>	370 780 250/300	Wireless-Version Zubehör- und Kalibrier-Kit* 9,8/11,7-eV-PID-Lampe, PID-Sensor je nach Lampenart
<b>Garantieverlängerung</b>	Auf Anfrage	4 Jahre Austausch- und Reparaturgewährleistung
<b>Wartung (Hersteller)</b>	Auf Anfrage	Jährlicher Wartungsservice
<b>Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller</b>	–	Nötige Arbeiten werden detailliert im Handbuch beschrieben
<b>Verbrauchsmaterial für Gerätepflege (Benutzer)</b>	35 45 190 150	Filterwechsel Lampenreinigungs-Kit 10,6-eV-PID-Lampe PID-Sensor, 10,6 eV
<b>Kalibrierung (Benutzer)</b>	~ 120	100 ppm Isobuten in 34-l-Druckgasflasche, ausreichend für mehrere 2- und 3-Punkt-Kalibrierungen
<b>Entsorgung</b>	–	Elektroschrott (Gerät), Sondermüll (Akkus und Batterien)

\*1 **Zubehör-Kit:** Transportbehälter, Ladeadapter, 5 Metallfilter und O-Ringe, Kit für Nullpunktjustage, Gasauslassadapter und Schläuche

**Kalibrier-Kit:** 34 l Kalibriergas (100 ppm Isobuten), Druckminderer und Kalibrieradapter



## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 740 g
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	12 h
Laufleistung im Akkubetrieb	x	16 h
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

### Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft lag im Bereich: 10 bis 25 °C und 40 bis 60 rF bei ~ 20 Sekunden. Außerhalb dieser Bereiche kann sich die Messbereitschaft erhöhen.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): nur bedingt, man sieht die letzte Laufzeit. Fachpersonal kann im Diagnosemodus den Betriebsstundenzähler auslesen

### Robustheit

### Reinigung

- Immersion: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen (Gerät aus und ohne Probensonde)
- Reinigung und Dekontamination mit und in Wasser, Gehäuse (Polycarbonat) wird von einer zusätzlichen Gummihülle geschützt

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: k. A.

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit:  $-20\text{ °C}$  bis  $50\text{ °C}$ , 0 % bis 95 % rF, nicht kondensierend
- Explosionsschutz (Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen): ja
- Schutzart IP: IP67 im Standby-Modus, ohne Sonde; IP65 im Messmodus aktiviert (6: staubdicht sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 5: Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel, 7: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen)

### Handhabung

#### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: umständlich, da mit Tastenkombinationen gearbeitet wird und viele Einstellungen direkt am Gerät und zusätzlich über die Software verändert werden, mit verständlichen Piktogrammen sowie Text im Untermenü, Cursor kann nur in eine Richtung bewegt werden
- Trennung von Bedien- und Diagnosemenü: ja, durch Passwortabfrage
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Hygienemodus (Grundeinstellung): Automatische Messungen, kontinuierlicher Betrieb, fortlaufende Datenaufzeichnung sowie Berechnung zusätzlicher Belastungswerte
  - > Hygienemodus (erweitert): Zusätzlich zu den oben genannten Aktionen können das Referenzgas zur Kalibrierung und das Messgas geändert werden
  - > Suchmodus: manuelles Starten und Stoppen der Messungen und Anzeige bestimmter Belastungswerte, zusätzlich erfolgt eine grafische Darstellung der Messwerte
  - > Diagnosemodus: für die Wartung und Herstellung – nicht für Benutzer
- Substanzbibliotheken: Umfang: ~ 200, basierend auf dem technischen Hinweis TN-106 von RAE-Systems
- Weitere Substanzbibliotheken: ja  
Wenn ja, kurze Erklärung:
  - > „Eigene Liste“: individuelle Auswahl der Gase, max. 10, kann nur über PC und ProRAE Studio erstellt werden
  - > „Letzte Zehn“: die letzten 10 vom Gerät verwendeten Gase, wird automatisch aktualisiert

- > „Individuelle Gase“: Über die PC-Software können alle Definitionsparameter eines Gases verändert werden

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nein, Alarmierung erfolgt erst, wenn die Speicherkapazität erschöpft ist
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja
- Warnhinweis für Lampenfehler: ja
- Warnhinweis bei fehlgeschlagener/nötiger Kalibrierung: ja
- Warnhinweise für verschiedene Grenzwertüberschreitungen: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Nutzung im verdeckten Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Remotefähigkeit: Mit der ProRAE Remote-Software können Messwerte von bis zu 64 Einheiten gleichzeitig gesteuert und angezeigt werden (Preis und Leistungen auf Anfrage)

### Eigenschaften der externen Software

Messwert-Interpretation	x
Kosten	Im Beschaffungspreis enthalten
Nutzung gängiger Dateiformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbildern der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x

## Besonderheiten zum Arbeitsschutz

Gesundheitsgefahren: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Detektion:
  - > Detektionsgrenze: Die Probe muss gasförmig und organisch sein
  - > Selektivität: gering, das Messgerät detektiert leichtflüchtige organische Verbindungen, für eine Quantifizierung muss das Gas bekannt und vorab ausgewählt worden sein; bei Gemischen erhält man ein Summensignal
  - > Querempfindlichkeit: alle gasförmigen, flüchtigen, organischen Substanzen, die mit einer Energie von 10,6 (bzw. 9,8/11,7) eV ionisierbar sind
- Stoffliche Zugänglichkeit:
  - > Kurze Erläuterung: flüchtige organische Verbindungen
- Aggregatzustände: gasförmig

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Lampenenergie: 10,6 und optional 11,7 eV oder 9,8 eV
- Pumpe: Membranpumpe mit einer Flussrate von: 450 bis 550 cm<sup>3</sup>
- Messbereich:
  - > Lampe 10,6 eV: 0,1 bis 15.000 ppm
  - > Lampe 9,8 eV: 0,1 bis 5.000 ppm
  - > Lampe 11,7 eV: 0,1 bis 2.000 ppm
- Reinigung: automatische Duty-Cycling™-Selbstreinigungstechnologie für Lampen und Sensoren
- Nullpunktkalibrierung: über Menü, mit Frischluft
- Probenahme:
  - > Über flexiblen Probenaufsatz oder Partikelfilteraufsatz
  - > In Verbindung mit einer Teflon- oder Metallleitung mit einem Innendurchmesser von 1/8“ am Gaseinlass des Geräts kann diese Pumpe Luftproben aus einer Entfernung von 61 m (horizontal) bzw. 27,5 m (vertikal) mit einer Geschwindigkeit von 0,9 m/s ansaugen
- Kommunikation:
  - > Lizenzfreie ISM-Band-Radiofrequenzübertragung mit einer Kommunikationsreichweite von bis zu 150 Metern (3 km mit dem optionalen RAELink3-Modem) (kostenpflichtig)
  - > Das optionale RAELink3-Modem bietet GPS-Funktionalität zur Nachverfolgung und Anzeige von Messwerten von entfernten Systemen sowie Langstreckenübertragung von bis zu 3 km (kostenpflichtig)
  - > USB zum Laptop

- Automatische Erkennung des Lampentyps: ja
- Hinterlegung von Kalibrierungsdatensätzen: ja
  - > Es gibt die Möglichkeit die Kalibrierung für 8 Referenzgas-Datensätze zu speichern

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	260.000 Punkte (6 Monate Kapazität bei Intervall von 1 Min.)  Diese Daten werden in Form von „Gruppen“ oder „Ereignissen“ gespeichert. Der maximale Umfang eines Ereignisses beträgt 24 Stunden oder 28.800 Punkte. Dauert ein Ereignis länger als 24 Stunden, wird automatisch ein neues Ereignis erstellt. Informationen wie Startzeit, Benutzer-ID, Standort-ID, Gasname, Seriennummer, letztes Kalibrierdatum und Alarmgrenzwerte werden aufgezeichnet.
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	-	Messung ist möglich, Speicherung jedoch nicht
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	GPS bei Remote-Software als Option
Art der Schnittstellen	x	USB, kabellos

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja
- Einheit: ja
- Anzeige von Grenzwerten (TWA und STEL) und des aktuellen Messwerts, wobei der Maximalwert unter „Peak“ erscheint
- Im „Suchmodus“ wird zusätzlich zum Messwert eine grafische Messwertanzeige eingeblendet
- Anzeige der Messwerte in der Software:
  - > Signaturen
  - > Mess- und Geräteparameter (Summary)
  - > Anzahl der Messwerte
  - > Tabellarisch und grafisch

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

#### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*1</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

\*1 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>Photoionisation</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>TIGER</b>
<b>Firma:</b>	<b>IonScience Messtechnik (ISM)</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Nachweis leichtflüchtiger organischer Gase</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	4.000	Messbereich: ppm und Option Full Data Logging sowie „Health and Safety Modus“*, Ladestation, diverse Kabel, PC-Software, Transportkoffer, Kit zur Kalibration, Kit zur Lampenreinigung + Werkzeug, 6 PTFE-Vorfilter, Handgelenk-Tragegurt, Aktivkohlefilter + Adapter, Adapter für Batterien
<b>Sonderzubehör</b>	130-270 370 100 10 St./160 40 220/300 800/870	Batterie-Pack-Adapter Röhrchenhalter Flexible Sonde Dekontaminationsbeutel Schutzgummihülle 9,8/11,7-eV-PID-Lampe Mini-PID-Sensor 6 Pin für 9,8/11,7 eV
<b>Garantieverlängerung</b>	0/a	Bei Onlineregistrierung Verlängerung auf 5 Jahre
<b>Wartung (Hersteller)*<sup>1</sup></b>	Auf Anfrage	1-mal jährlich empfohlen
<b>Einweisung von Wartungspersonal durch Hersteller</b>	-	Nötige Arbeiten werden detailliert im Handbuch beschrieben
<b>Verbrauchsmaterial für Gerätepflege (Benutzer)</b>	6 St./20 20 130 670	Filterwechsel Lampenreinigungs-Kit Ersatzlampe 10,6 eV Mini-PID-Sensor 6 Pin f. 10,6 eV
<b>Kalibrierung (Benutzer)</b>	~ 120	100 ppm Isobuten in 34-l-Druckgasflasche, ausreichend für mehrere Kalibrierungen, 2- und 3-Punkt-Kalibrierungen möglich
<b>Entsorgung</b>	-	Elektroschrott (Gerät) Sondermüll (Akkus und Batterien)

\* Spezielle Features zur Datenaufnahme und zur Grenzwertkontrolle

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 720 g
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Batterien (Ni-MH)	x	6 h (1,2 V; 1.500 mAh)
Original-Akkupack (Li-Ionen)	x	13 h
Akku extern aufladbar		
Ersatzakku		

### Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft lag im Bereich: 10 bis 25 °C und 40 bis 60 % rF bei ~40 Sekunden.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: nein

### Robustheit

#### Reinigung

- Immersion: nein
- Außenhülle ist:
  - > beständig gegenüber schwachen organischen und schwachen Mineralsäuren
  - > bedingt beständig gegenüber Benzin, starken organischen und starken Mineralsäuren, Alkoholen, heißem Wasser, UV-Strahlung
  - > unbeständig gegenüber Laugen, oxidierenden Säuren, Aceton, Perchllorethylen, Trichlorethylen



### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: keine gesonderten Berichte, Prüfung erfolgte im Rahmen der Gerätezulassung (Bedingungen können erfragt werden)

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb): -20 bis 60 °C, 0 bis 99 % RH, nicht kondensierend
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung): -25 bis 60 °C, 0 bis 99 % rF, nicht kondensierend
- Zertifiziert für: -15 bis 45 °C
- Explosionsschutz (Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen): ja
- Schutzart IP: IP65 (6: staubdicht sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 5: Schutz gegen Strahlwasser (Düse) aus beliebigem Winkel)

### Handhabung

#### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: häufig unklare Bedeutung der (ausschließlichen) Piktogramme, Tastenmehrfachbelegung, Cursor kann vor- und zurückbewegt werden
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: nein
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Es gibt optional den „Gesundheits- und Sicherheitsmodus“ („Health and Safety“) zur Prüfung der Übereinstimmung kurzfristiger Gefährdungen („Short Term Exposure Levels“, STEL) oder zeitgewichteter Durchschnittswerte („Time Weighted Averages“, TWA), speziell für bestimmte Gefahrenumgebungen verwendet. In diesem Betriebsmodus werden STELs und TWAs kontinuierlich berechnet und mit denen in der Gastabelle des Geräts abgeglichen
- Substanzbibliotheken:
  - > Umfang: 450 Substanzen, individuell erweiterbar
- Weitere Substanzbibliotheken: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Stoffe und Alarmwerte wie auch Response-Faktoren können selbstständig in die Gastabelle eingefügt werden

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja
- Warnhinweis für Lampenfehler: ja
- Warnhinweis für Systemfehler: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Nutzung im verdeckten Einsatz
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm: ja
  - > Vibration (optional): ja
- Remotefähigkeit: nein

### Eigenschaften der externen Software

Messwert-Interpretation	x
Kosten	Im Beschaffungspreis enthalten
Nutzung gängiger Dateiformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	Einteilung in Zonen
Intuitive Bedienstruktur	–
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	In Form von Momentaufnahmen

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Gesundheitsgefahren: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Detektion:
  - > Detektionsgrenze: Die Probe muss gasförmig und organisch sein
  - > Selektivität: gering; das Messgerät detektiert leichtflüchtige organische Verbindungen, für eine Quantifizierung muss das Gas bekannt und vorab ausgewählt worden sein; bei Gemischen erhält man ein Summensignal
  - > Querempfindlichkeit: alle gasförmigen, flüchtigen, organischen Substanzen, die mit einer Energie von 10,6 (bzw. 9,8/11,7) eV ionisierbar sind
- Stoffliche Zugänglichkeit:
  - > Kurze Erläuterung: flüchtige organische Verbindungen über starre oder flexible Sonde
- Aggregatzustände: gasförmig

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Lampenenergie: 10,6 und optional 11,7 eV oder 9,8 eV
- Durchflussrate: > 220 ml/min
- Messbereich: es gibt 2 Ausführungen des Gerätes:
  - > ppm: 0,1 ... 10.000 ppm, bis 20.000 bei bestimmten Gasen
  - > ppb: 1 ppb ... 20.000 ppm
- Reinigung: Patentierte Feuchtkompensation (FENCEtec) und Verschmutzungsresistenz (CLEANtec)
- Nullwertabgleich:
  - > Nullabgleich beim Einschalten: entweder Nullwert entsprechend der Umgebungsluft oder Verwendung des festen Kalibrierungsnullwertes
  - > (Auswahl) Fester Nullwert: Kalibrierungsnullwert
  - > (Auswahl) Nullabgleich beim Einschalten und zusätzlich (Auswahl) fester Nullwert: Gerät führt beim Einschalten einen Nullabgleich durch und bleibt auf diesem Niveau
  - > (Auswahl) Nullwert-Nachverfolgung: Das Nullniveau verschiebt sich in den negativen Bereich, wenn reinere Umgebungsluft erkannt wird
- Probenahme: über Partikelfilteraufsatz
- Kommunikation: USB zum Laptop
- Automatische Erkennung des Lampentyps: nein
- Hinterlegung von Kalibrierungsdatensätzen: nein

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	Mit Option Datenlogger: 120.000 Messwerte (33 h bei 1 s Intervall)
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	Selbst wählbar, Gerät misst auch weiter, ohne zu speichern
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Kein GPS
Art der Schnittstellen	x	USB 2.0
Mehrere Pakete zur Datensicherung buchbar	x	Aufpreis

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration : ja
- Einheit: ja
- Anzeige von Durchschnitts- und Maximalwerten während einer Messung am Messgerät: ja, Durchschnittswerte; Zeitspanne: 10 sec
- Es gibt die Möglichkeit, über die externe Software 128 Zonen (Orte) einzurichten. Am Gerät kann die jeweilige Zone vor einer Messung ausgewählt werden. Anschließend werden in der externen Software die Messwerte unter Angabe der jeweiligen Zone tabellarisch wie auch grafisch dargestellt.
- Anzeige der Messwerte in der Software:
  - > Signaturen
  - > Mess- und Geräteparameter (Summary)
  - > Anzahl der Messwerte
  - > Tabellarisch und grafisch

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener\*<sup>1</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

\*1 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	nach Sensor katalytisch, infrarot, elektrochemisch
<b>Gerätebezeichnung:</b>	X-am 2500/5000/5600
<b>Firma:</b>	Dräger
<b>Anwendung:</b>	Messen der Sensorgase

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto Stand 2015/2016	Bemerkungen
Beschaffung	750 1.650 1.450	Ohne Sensoren
Sensoren	Sensorabhängig	Jeweils 4 Steckplätze pro Gerätetyp möglich
Sonderzubehör	150	Akku und Ladetechnik-Set
Pumpenadapter	270	Für 5000 und 5600
Module Station	600	Ladestation

<b>Art</b>	<b>Kosten, € netto Stand 2015/2016</b>	<b>Bemerkungen</b>
Zubehör Ventile	760	Nötig für Kalibrierstation
Kalibrierstation (ohne Gas)	1.400	Mit einer Kalibrierstation können mehrere Geräte dieses Typs kalibriert werden
Kalibrier-/Prüfgase	150–300	Für die Kalibration mehrerer Geräte dieses Typs
Kalibrierung (Benutzer)	Nicht genau definierbar	Durch Mitarbeiter mittels Kalibrierstation, Kalibrierintervalle abhängig vom Sensor
Sensorjustage	K. A.	Durch Mitarbeiter mittels Anleitung, Prüfgas und evt. externer Software
Softwareanbindung	1.500	Für nachträgliche Auswertung und Datensicherung
Wartung (Hersteller)	K. A.	1 x jährlich empfohlen, Preise auf Anfrage
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	1.800	Für alle drei Gerätetypen (max. 15 Mitarbeiter)
Gerätepflege (Benutzer)	Gering	–
Entsorgung	–	Gerät: kostenlose Rücknahme dr. Dräger Batterien/Akku: separat

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 220 bis 250 g
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

<b>Möglichkeiten</b>	<b>x</b>	<b>Bemerkungen</b>
Akku	x	NiMHy
Netzteil	(x)	Ladestation
Li-Batterien	x	Bis 9 h (5600), 12 h (5000)
Laufleistung im Akkubetrieb	x	Bis 9 h (5600), 12 h (5000)
Akku extern aufladbar	x	Ladestation (Zubehör)
Ersatzakku	x	Optional erhältlich

**Erreichen der Messbereitschaft**

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Das Erreichen der Messbereitschaft kann zwischen 30 Sek. und 5 Min. in Anspruch nehmen. Dies ist modell-, sensor- und temperaturabhängig.

**Laufzeitnachweis**

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): Administrator über Software
  - > Warum: Überwachung der Sensoren-Laufzeit

**Robustheit****Reinigung**

- Immersion: nein
- Außenhülle: chemikalienbeständig

**Transport und Erschütterungsfestigkeit**

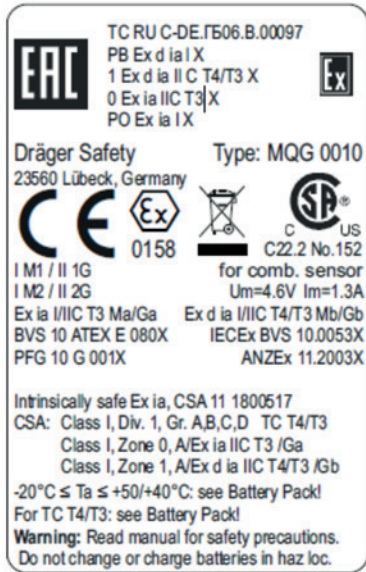
- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja, jedoch keine genauen Angaben

**Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich**

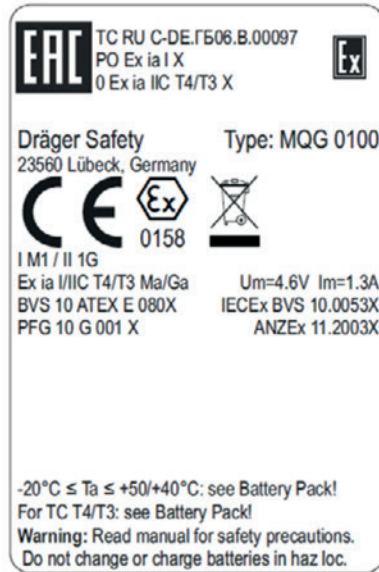
- Temperaturbeständigkeit (Betrieb und Lagerung):
  - > 20 bis +50 °C bei NiMH-Versorgungseinheiten, Typ: HBT 0000 und HBT 0100
  - > 20 bis +40 °C bei Alkali-Einzelnzellen, Typ: Duracell Procell MN 15002)
  - > 0 bis +40 °C bei NiMH-Einzelnzellen, Typ: GP 180AAHC2) und bei Alkali-Einzelnzellen, Typ: Panasonic LR6 Powerline und bei Alkali-Einzelnzellen, Typ: Varta 40062)
- Feuchtebeständigkeit: Varta 41062), 700 bis 1300 hPa 10 bis 90 % (bis 95 % kurzzeitig) r. F.

- Gerät zertifiziert für:

5000



5600



- Sensoren haben eigene Zertifizierung

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Kurze Beschreibung: Das Gerät besitzt 2 Knöpfe, die je nach Menü eine unterschiedliche Belegung haben. Man wird mit Hilfe von Piktogrammen und Text durch das Menü geführt. Die Menüführung ist logisch und intuitiv. Es sind drei Menüs vorhanden, Info-Menü (Standard beim Einschalten), Quick-Menü (Begasungstest, Spitzenwerte) und Justage-Menü (Frischlufjustierung)
  - Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
  - Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
- Hinweis: Ich kann mir die Informationen am Gerät ansehen, Veränderungen oder Anpassungen müssen über externe Software erfolgen



## Eigenschaften der externen Software

Messwert-Interpretation	x
Kosten	Nicht ermittelbar
Nutzung gängiger Dateiformate	Ja
Transformation in andere Dateiformate	PDF/Excel
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	Ja
Intuitive Bedienstruktur	Ja
Deutschsprachige Menüführung	Ja
Abbilden der Firmware	Ja
Sichern der Messdaten	Ja

## Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nein
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Sensorwechsel: nein, aber über externe Software auslesbar
- Warnhinweis für Störung: ja, dreistelliger numerischer Fehlercode (Weiterbetrieb möglich)
- Warnhinweis für Allgemein: ja (Weiterbetrieb nicht möglich)
- (Warnhinweis für) Anzeige Spitzenwert: ja
- Warnhinweis für Frischluftjustierung: Während der Durchführung ja, die Entscheidung für eine Frischluftjustierung jedoch liegt beim Nutzer
- Warnhinweis für Grenzwertüberschreitung: ja, 2 Alarmschwellen (Vor- (quittierbar) und Hauptalarm)
- Warnhinweis für Alarme: nein, da Standardsicherheitswarnvorrichtung zum Eigenschutz, Expositionsalarm STEL/TWA: ja, über externe Software einstellbar

## Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja, ablesen von Messwerten
- Alarmoptionen: ja
  - > Akustisch
  - > Optisch
  - > Vibration

- Verdeckter Einsatz: ja, wenn die Sicherheitswarnvorrichtung unter Auflagen vom Hersteller abgeschaltet wurde. Der Eigenschutz ist ab Überschreitung des Hauptalarmes nicht mehr gewährleistet.
  - > Alarm quittierbar: ja, Hauptalarm nur unter Auflagen

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

Gesundheitsgefahren: nein

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Detektion: nur bedingt, auf Einzelgas
- Stoffliche Zugänglichkeit: sensorabhängig
- Aggregatzustände: gasförmig

#### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

Messbereich: je nach Sensor, ausführliches Tabellenwerk vom Hersteller verfügbar

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	1 s bis 10 min einstellbar
Probenwiederholfrequenz	x	1 s
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	-
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	-

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	Je nach Intervall
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	GPS optional
Art der Schnittstellen	x	Infrarot

## Darstellung der Messwerte:

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja
- Einheit: ppm/Vol.-%

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	T 021/23
Spezielle Ausbildung	x	

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Reine Anwendung und Hinweise auf Besonderheiten
< 8		
> 8		

<b>Messverfahren:</b>	<b>Photoionisation, elektrochemische Reaktion, katalytische Wärmetönung, IR-Absorption</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Multi Rae PGM6228, Firma RAE-Systems</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Nachweis leichtflüchtiger organischer Gase</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € zzgl. MwSt.	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	Stand 2016 5.000	MiniRae 3000, Modell PGM 7320; Messbereich 0–15.000 ppm, Funkmodul: Bluetooth, RF-Modul, ProRAE Studio Software für externen Rechner, Li-Ionen-Akku, Ladegerät, Ladeadapter, UV-Lampe (10,6 eV mit 3 Jahren Garantie), Flex-I-Sonde, externer Filter, Gummihülle, Adapter f. Alkalibatterien, Lampenreinigungs-Kit, Werkzeug-Kit, CD-ROM, Betriebs- und Wartungshandbuch, weiche Transportledertasche
<b>Sonderzubehör</b>	370 780 250/300	Wireless-Version Zubehör- und Kalibrier-Kit* <sup>1</sup> 9,8/11,7-eV-PID-Lampe PID-Sensor je nach Lampenart
<b>Garantieverlängerung</b>	Auf Anfrage	4 Jahre Austausch- und Reparaturgewährleistung
<b>Wartung (Hersteller)</b>	Auf Anfrage	Jährlicher Wartungsservice
<b>Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller</b>	–	Nötige Arbeiten werden detailliert im Handbuch beschrieben
<b>Gerätepflege (Benutzer)</b>	35 45 190 150	Filterwechsel Lampenreinigungs-Kit 10,6-eV-PID-Lampe PID-Sensor, 10,6 eV
<b>Kalibrierung (Benutzer)</b>	~ 120 €	100 ppm Isobuten in 34-l-Druckgasflasche, ausreichend für mehrere 2- und 3-Punkt-Kalibrierungen
<b>Entsorgung</b>	–	Elektroschrott (Gerät) Sondermüll (Akkus und Batterien)

\*1 **Zubehör-Kit:** Transportbehälter, Ladeadapter, 5 Metallfilter und O-Ringe, Kit für Nullpunktjustage, Gasauslassadapter und Schläuche

**Kalibrier-Kit:** 34 l Kalibriergas (100 ppm Isobuten), Druckminderer und Kalibrieradapter

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht inkl. Akku: 982 g
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	12 h
Laufleistung im Akkubetrieb		16 h
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

### Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft lag im Bereich 10 bis 25 °C und 40 bis 60 rF bei ~ 2 bis 3 Minuten.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): nur bedingt, man sieht die letzte Laufzeit. Fachpersonal kann im Diagnosemodus den Betriebsstundenzähler auslesen

### Robustheit

#### Dekontaminierbarkeit

- Schutzart IP:
  - > IP67 im Standby-Modus, ohne Sonde
  - > IP65 im Messmodus aktiviert
- Immersion: Schutz gegen zeitweiliges (1 m Tiefe, 30 Minuten) Untertauchen
- Reinigung und Dekontamination mit und in Wasser, Gehäuse (Polycarbonat) wird zusätzlich von einer zusätzlichen Gummihülle geschützt

## **Transport und Erschütterungsfestigkeit sowie EMV-Verträglichkeit**

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: nein
  - > Transportschock (in Transporteinheit): –
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): –
- EMV-Normen:
  - > EMV-Richtlinie 89/336/EWG

## **Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich:**

- Temperaturbeständigkeit: –20 °C bis 50 °C
- Feuchtebeständigkeit: 0 % bis 95 % rF, nicht kondensierend
- Zertifiziert für: k. A.
- Thermischer Schock: k. A.
- Zertifizierung: ATEX (II 1G EEx ia IIC T4)

## **Hersteller-Support**

Garantierter Hersteller-Support: 10 Jahre

Einschicken notwendig: problemabhängig

## **Handhabung**

### **Firmware und Menüführung**

- Menüführung der Firmware: umständlich, da mit Tastenkombinationen gearbeitet wird und viele Einstellungen direkt am Gerät und zusätzlich über die Software verändert werden, mit Piktogrammen
- Trennung von Bedien- und Diagnosemenü: ja/nein, durch Passwortabfrage
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Hygienemodus (Grundeinstellung): automatische Messungen, kontinuierlicher Betrieb, fortlaufende Datenaufzeichnung sowie Berechnung zusätzlicher Belastungswerte
  - > Hygienemodus (erweitert): zusätzlich zu den oben genannten Aktionen können das Referenzgas zur Kalibrierung und das Messgas geändert werden
  - > Suchmodus: manuelles Starten und Stoppen der Messungen und Anzeige bestimmter Belastungswerte, zusätzlich erfolgt eine grafische Darstellung der Messwerte
  - > Diagnosemodus: für die Wartung und Herstellung – nicht für Benutzer

- Substanzbibliotheken:
  - > Umfang: ~ 200, basierend auf dem technischen Hinweis TN-106 von RAE-Systems
- Weitere Substanzbibliotheken: ja  
Wenn ja, kurze Erklärung:
  - > „Eigene Liste“: individuelle Auswahl der Gase, max. 10, kann nur über PC und ProRAE Studio erstellt werden
  - > „Letzte Zehn“: die letzten 10 vom Gerät verwendeten Gase, wird automatisch aktualisiert
  - > „Individuelle Gase“: Über die PC-Software können alle Definitionsparameter eines Gases verändert werden

### **Warnhinweise im Display**

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nein, Alarmierung erfolgt erst, wenn die Speicherkapazität erschöpft ist
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja
- Warnhinweis für Lampenfehler: ja
- Warnhinweis bei fehlgeschlagener/nötiger Kalibrierung: ja
- Warnhinweise für verschiedene Grenzwertüberschreitungen: ja

### **Eignung für Sondernutzungen**

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja, jedoch nur das reine Messen
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: Beleuchtung ja, Einstellungen müssen vor der Messung in Schutzkleidung vorgenommen werden
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: schwerer Druckpunkt der Tasten, Abstand akzeptabel, keine Beleuchtung
  - > Akustischer Alarm: ja
- Verdeckten Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Remotefähigkeit: Mit der ProRAE Remote-Software können Messwerte von bis zu 64 Einheiten gleichzeitig gesteuert und angezeigt werden (Preis und Leistungen auf Anfrage)

## Eigenschaften der externen Software

Messwert-Interpretation	x
Kosten	Im Beschaffungspreis enthalten
Nutzung gängiger Dateiformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x

## Besonderheiten zum Arbeitsschutz

Gesundheitsgefahren: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Detektion:
  - > Detektionsgrenze: Die Probe muss gasförmig und organisch sein
  - > Selektivität: gering; das Messgerät detektiert leichtflüchtige organische Verbindungen, für eine Quantifizierung muss das Gas bekannt und vorab ausgewählt worden sein; bei Gemischen erhält man ein Summensignal
  - > Querempfindlichkeit: alle gasförmigen, flüchtigen, organischen Substanzen, die mit einer Energie von 10,6 (bzw. 9,8/11,7) eV ionisierbar sind
- Stoffliche Zugänglichkeit:
  - > Kurze Erläuterung: flüchtige organische Verbindungen
- Aggregatzustände:
  - > Kurze Erläuterung: gasförmig

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Lampenenergie: 10,6 und optional 11,7 eV oder 9,8 eV
- Pumpe: Membranpumpe mit einer Flussrate von 450 bis 550 cm<sup>3</sup>
- Messbereich:
  - > Lampe 10,6 eV: 0,1 bis 15.000 ppm
  - > Lampe 9,8 eV: 0,1 bis 5.000 ppm



- > Lampe 11,7 eV: 0,1 bis 2.000 ppm
- Probenahme: In Verbindung mit einer Teflon- oder Metalleitung mit einem Innendurchmesser von 1/8" am Gaseinlass des Geräts kann diese Pumpe Luftproben aus einer Entfernung von 61 m (horizontal) bzw. 27,5 m (vertikal) mit einer Geschwindigkeit von 0,9 m/s ansaugen.
- Kommunikation:
  - > Lizenzfreie ISM-Band-Radiofrequenzübertragung mit einer Kommunikationsreichweite von bis zu 150 Metern (3 km mit dem optionalen RAELink3-Modem) (kostenpflichtig)
  - > Das optionale RAELink3-Modem bietet GPS-Funktionalität zur Nachverfolgung und Anzeige von Messwerten von entfernten Systemen sowie Langstreckenübertragung von bis zu 3 km (kostenpflichtig)
- Automatische Erkennung des Lampentyps
- Automatische Duty-Cycling™-Selbstreinigungstechnologie für Lampen und Sensoren
- Kalibrierungsreferenz:
  - > Es gibt die Möglichkeit, 8 Referenzgas-Datensätze für die Kalibrierung zu speichern

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	
Probenwiederholfrequenz	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	260.000 Punkte (6 Monate Kapazität bei Intervall von 1 Min.) Diese Daten werden in Form von „Gruppen“ oder „Ereignissen“ gespeichert. Der maximale Umfang eines Ereignisses beträgt 24 Stunden oder 28.800 Punkte. Dauert ein Ereignis länger als 24 Stunden, wird automatisch ein neues Ereignis erstellt. Informationen wie Startzeit, Benutzer-ID, Standort-ID, Gasname, Seriennummer, letztes Kalibrierdatum und Alarmgrenzwerte werden aufgezeichnet.
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	GPS bei Remote-Software als Option
Art der Schnittstellen	x	USB, kabellos

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja
- Einheit: ja
- Anzeige von Grenzwerten (TWA und STEL) und des aktuellen Messwerts, wobei der Maximalwert unter „Peak“ erscheint
- Im „Suchmodus“ wird zusätzlich zum Messwert eine grafische Messwertanzeige eingeblendet
- Anzeige der Messwerte in der Software:
  - > Signaturen
  - > Mess- und Geräteparameter (Summary)
  - > Anzahl der Messwerte
  - > Tabellarisch und grafisch

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

<b>Messverfahren:</b>	Ionenmobilitätsspektrometrie CWA
<b>Gerätebezeichnung:</b>	RAID-M <sup>*1</sup>
<b>Firma:</b>	Bruker
<b>Anwendung:</b>	CWAs, TICs

\*1 Modell mit NH<sub>3</sub>-Dopant

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € brutto (Stand: 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	14.890	Standardmäßiger Lieferumfang
Sonderzubehör	3.200	Fahrzeuginstallation + Probenahme
Garantieverlängerung	600/a	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	1.680	Nach 1 Jahr

Art	Kosten, € brutto (Stand: 2016)	Bemerkungen
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	2.752	Falls gewünscht
Instandhaltung (Benutzer)	675	Trockenfilter, Rückspülfilter, Staubfilter, Dotierpatrone
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Kostenpflichtig Anfrage Entsorgungsunternehmen	Ni-63-β-Strahler, 100 MBq, Dual-use-Gerät* <sup>2</sup>

\*2 Güter mit doppeltem Verwendungszweck (militärische wie auch zivile Nutzung möglich)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 2,9 kg ohne Akku
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: ja
  - > Akku: 0,6 kg
  - > Netzteil: 0,7 kg

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	13,6 V DC
Netzteil	x	12–32 V DC, ~35 W, RS232, optional 412 €
Li-Batterien	-	-
Laufleistung im Akkubetrieb	x	~ 7 h <sup>*3</sup>
Akku extern aufladbar	x	-
Fahrzeugadapter	-	Sonderzubehör
Ersatzakku	x	-

\*3 abhängig von der Temperatur, dem Alter und dem Zustand des Akkus

### **Erreichen der Messbereitschaft**

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Bei Temperaturen zwischen 10 bis 25 °C und relativen Feuchten zwischen 40 und 80 %, ergab sich eine Messbereitschaft von ca. 1 min. Die Messbereitschaft ist die Zeit vom Einschalten bis zum Starten einer Messung.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

### **Laufzeitnachweis**

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: Überprüfung fälliger Serviceintervalle
  - > Serviceintervalle: Spätestens nach ~ 500 Betriebsstunden Austausch der Filter und Dotierpatrone

### **Robustheit**

#### **Reinigung**

- Immersion (Tauchbad): nein
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

#### **Transport und Erschütterungsfestigkeit**

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja, optional
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: ja, optional
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja (DEF STAN 00-35, UK)
  - > Transportschock (in Transporteinheit): Angaben nicht verfügbar
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): Angaben nicht verfügbar

#### **Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich**

- Schutzart: IP67
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb): -30 bis +50 °C, 5 bis 95 % rel. LF
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung): -30 bis +50 °C, 5 bis 95 % rel. LF
- Thermischer Schock: Angaben nicht verfügbar
- Unterdruck: 400 hPa, 45 min

#### **Hersteller-Support**

- Garantie: 1 Jahr
- Einschicken notwendig: ja

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Sprache: Deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Hintergrundbeleuchtung, Filterstandzeit, Nutzerprofil
- Substanzbibliothek: ja (CWA04)
  - > Umfang: 10
- Weitere Substanzbibliotheken: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: ITOX04 (Umfang 5)

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: ja
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung: ja
- Zusätzliche Ergebnisinterpretation: Fehlerhafte Parameter oder Bibliothek
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: unter CUSTOM02 speicherbar
- Automatisierte Überwachung: ja
- Messung aus Bewegung: ja
- Nachtmessung: ja
- Freihandspüren: ja, durch Tragegurt

## Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften der Auswertesoftware</b>	<b>x</b>
Kosten	4.864 €
Darstellung der Driftzeiten	x
Nutzung gängiger Dateiformate	-
Transformation in andere Dateiformate	-
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Driftzeiten in die Suche	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x
Remote-Service	-

## Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutzbeauftragter erforderlich: nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: nein
  - > Gesundheitsgefahren: ja
    - Sicherheitsanforderungen: Handschuhe bei Anwendung der Prüfsubstanzen

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Quantifizierung in Form von Balken (1–8)
  - > Identifizierungsgrenze: ppb bis ppm (substanzspezifisch)
  - > Querempfindlichkeit:
    - Gegenüber Brandgasen: Abgase Raketentriebwerke, Munitionsdämpfe
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: Aromatische Dämpfe, Reinigungsmittel, gechlorte Materialien, Gefahrstoffsimili
- Aggregatzustände: Gase, Feststoffe, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: Feststoffe und Flüssigkeiten mit ausreichend hohem Dampfdruck

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: innen und außen
- Formen der Messung: Punktdetektion
- Flussrate: ~ 40 l/h
- Durchführung Funktionstest: mit Probesimulanzien
- Optionale Geräteausführung: Das RAID-M 100 ist auch undotiert (auf Wasserbasis) erhältlich. Diese Version kann jedoch nur auf Anfrage bei Bruker beschafft werden und ist individuell auf den Kunden angepasst (Bibliotheken). Genaue Vorstellungen bezüglich des Messeinsatzes sowie erweiterte Kenntnisse der Messtechnik sind zwingend notwendig

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Übersicht Responsezeiten (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses): Die Prüfungen erfolgten im Zeitraum 7.9. bis 9.10.2015 durch das WIS in Munster. Sarin, Soman und Tabun wurden jeweils mittels Permeation über Kampfstoffgeneratoren erzeugt. S-Lost-Konzentrationen wurden mit der Blasenbeladungsmethode erzeugt. VX-Luftgemische erzeugte ein speziell temperierbarer Kapillarofen. Alle Kampfstoffkonzentrationen wurden dem RAID-M in Luft zugeführt.

Substanz	Mindest-Ansprechkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ideale Ansprechkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ermittelte Konz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
Sarin	0,08	0,05	0,04	31	7	1 Balken GB
S-Lost	0,40	0,20	0,40	8	8	1 Balken HD
VX	0,03	0,02	0,03	37	6	1 Balken VX
Tabun	0,20	0,10	0,13	43	7	1 Balken GA
Soman	0,05	0,03	0,05	58	4	1 Balken GD

Bedingungen: T: 22 °C + 2 °C; rF: 70–75 %; Grenzwertfestlegung: BBK

Zusammenfassung: Das Raid-M 100 erfüllte die Leistungskriterien bezüglich der Mindest-Ansprechkonzentration in allen Fällen. Bei Sarin wurde die ideale Ansprechkonzentration sogar unterschritten. Bei allen Kampfstoffen erfolgte die Anzeige innerhalb von 60 Sekunden mit jeweils einem Balken.



## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	-
Messrate	-	-
Einzelmessung	x	-
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	-
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	-

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	Nicht bei kontinuierlicher Messung
Hohe Speicherkapazität	x	3.000 Events, 30 Spektren
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	-	-
Signaturen (Datum, Uhrzeit)	x	-
Art der Schnittstellen	x	RS232

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja, Balkenanzeige am Gerät, genaue Angabe am PC (externe Software)
- Einheit: ja, am PC (externe Software)
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Glättung, Basislinienkorrektur, Entfaltung, Strukturvergleich
- Daten ergänzend zum Messwert: ja; Datum, Uhrzeit, Parameter, Peaktabelle

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener\*<sup>4</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

\*4 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>μRAID</b>
<b>Firma:</b>	<b>Bruker</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Nachweis gasförmiger Stoffe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € (zzgl. MwSt.) Stand: 2017	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	8.000	Grundgerät, Batterieeinheit STD, LR6-Batterien, Trage- und Service- und Schutztasche, Tragegurt, Handbuch Deu. + Eng., Prüfsubstanzen G+ H, Trockenfilter/Dopant, Dummyfilter, Bibliotheken: 2 x CWA, 1 x ITOX
<b>Sonderzubehör</b>	Auf Anfrage 1.600	Vibrationsalarm, Ohrhörer, Bluetoothmodul, Akku + Ladegerät Li-Ion, weitere Schnittstelleneinheiten: z. B. RS, USB, diverse Kabel, Transport- und Lagerbehälter, Software-CD + Lizenz

Art	Kosten, € (zzgl. MwSt.) Stand: 2017	Bemerkungen
Garantieverlängerung	€/a	Auf Anfrage
Wartung/Instandhaltung (Benutzer)	K. A.	Ausführlich im Handbuch beschrieben
Verbrauchsmaterial	60 75 90 185 20 720 je 60	Spülfilter Staubfilter Dummyfilter Trockenfilter/Dopant Batterien (handelsübliche) Akku Prüfsubstanz H/G
Kalibrierung		Nach Auslieferung keine Kalibrierung notwendig
Entsorgung		Gerät: Atommüll (radioaktive Quelle) Batterien/Akkumulatoren: Sondermüll Kontaminierte Filter: Sondermüll

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 1,2 kg
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	Sonderzubehör (Li-Ionen)
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h/Akkus 1.600 mAh
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	Sonderzubehör

### **Erreichen der Messbereitschaft**

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft lag im Bereich: 10 bis 25 °C und 40 bis 60 rF bei ~ 1 Minute.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

### **Laufzeitnachweis**

- Betriebsstundenzähler: nein

### **Robustheit**

#### **Dekontaminierbarkeit**

- Schutzart: IP65
- Gerät geprüft nach: MIL-STD 810F
- Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln: MIL-STD810F

#### **Transport und Erschütterungsfestigkeit**

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja

#### **Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich**

- Temperaturbeständigkeit (Betrieb): -32 °C bis 53 °C
- Temperaturbeständigkeit (Lagerung): -33 °C bis 71 °C
- Feuchtebeständigkeit: bis zu 95 % r. H., nicht kondensierend
- EMV-Normen: MIL-STD 461F, EN61000, EN61326-1, IEC60529, IEC61010-1

#### **Hersteller-Support**

- Garantierter Hersteller-Support: 10 Jahre
- Einschicken notwendig: problemabhängig

### **Handhabung**

#### **Firmware und Menüführung**

- Menüführung der Firmware: englisch, Tastenkombinationen
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja/nein
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja/nein

- > Wenn ja, kurze Erklärung:
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: individualisierbar

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: ja
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: nein, keine Rückspülfunktion vorhanden
- Zusätzliche Ergebnisinterpretation: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: ja
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: nein
- Warnhinweis Alarm: Substanzalarm oder Verunreinigungsalarm, wobei Substanzalarm höher priorisiert ist

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckten Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): ja
- Nachteinsatz:
  - > Nachtmodus: ja
  - > Infrarot-LED (Alarm für Nachtsichtgeräte): ja

### Eigenschaften der externen Software

Eigenschaften	x
Kosten	1.600 € zzgl. MwSt.
Darstellung der Driftzeiten	
Nutzung gängiger Dateiformate	
Transformation in andere Dateiformate	
Bibliotheksänderung durch Nutzer	
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
intuitive Bedienstruktur	

**Eigenschaften**

x

---

 Einbeziehung eigener Driftzeiten in die Suche
 

---



---

 Deutschsprachige Menüführung
 

---



---

 Abbilden der Firmware
 

---



---

 Sichern der Messdaten
 

---

**Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Strahlenschutz erforderlich: (Strahler: Ni-63, 100 MBq): nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: nein
  - > Gesundheitsgefahren: nein

**Messtechnische Leistungsfähigkeit****Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung:
  - > Identifizierungsgrenzen: Die Probe muss gasförmig und in der Bibliothek hinterlegt sein.
  - > Selektivität: relativ hoch; beim gleichzeitigen Auftreten mehrerer hinterlegter Stoffe werden die beiden Stoffe mit der höchsten Toxizität angezeigt, sofern sich die Reaktantionen gegenseitig nicht negativ beeinflussen
  - > Querempfindlichkeit:
    - Gegenüber Brandgasen: hoch. Beim gleichzeitigen Auftreten vieler Gefahrstoffe kann es zu Problemen bei der Identifizierung kommen. Zudem beeinflussen einige toxische Gase die Konzentration der Reaktantionen negativ.
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: gering. Die Ionenmobilitätsspektren sind substanzspezifisch. Das Gerät kann 2 Stoffe gleichzeitig anzeigen. Wenn sich die Spektren gut voneinander unterscheiden, dürfte das Vorhandensein von max. 2 Stoffen keine Probleme bereiten
    - Zusätzlich wurden die Stoffe in unterschiedlichen Bibliotheken gespeichert, dies verringert die Querempfindlichkeit, verringert jedoch auch die Identifizierungswahrscheinlichkeit
- Stoffliche Zugänglichkeit:
  - > Kurze Erläuterung: toxische Industriechemikalien und chemische Kampfstoffe
- Aggregatzustände:
  - > Kurze Erläuterung: gasförmig

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Bei 2 vorhandenen Stoffen wird der giftigere angezeigt
- Mehrere Bibliotheken zur Auswahl (können für einen Aufpreis speziell für den Kunden zusammengestellt werden)
- Grad der Verschmutzung: Anzeige von L/M/H bei Verschmutzungsalarm
- Unterschiedliche Probenahme-Möglichkeiten:
  - > Kontinuierlich
  - > Periodisch 1 (kurze Energiesparphase = Probenahme: häufig) oder 2 (lange Energiesparphase = Probenahme: selten)
  - > Einzelprobe

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	siehe 6.2
Probenwiederholfrequenz	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

#### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität		bis zu 4.800 Alarmer* <sup>1</sup> oder Ereignisse* <sup>2</sup>
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	Ringspeicher
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Datum, Uhrzeit
Art der Schnittstellen	x	Bluetooth, RS232, USB

\*1 Alarmer: Substanz- oder Verunreinigungsalarm

\*2 Ereignisse: Ein- und Ausschalten, Änderung Betriebsmodus oder Bibliotheken, Fehlercodes

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: nein
  - > Einteilung in Substanzklassen:
    - Rot: Nervenkampfst. (GB)
    - Gelb: Haut- und Blutkampfst. (CG)
    - Blau: Lungenkampfst. + ITOX und andere
- Konzentration: über Balkenanzeige (max. 8): ja
- Einheit: nein
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Polarität: +/-
- Daten ergänzend zum Messwert: ja
  - > Datum
  - > Zeit

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*4</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		
< 8	x	
> 8		

\*4 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten



<b>Messverfahren:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometrie CWA</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>LCD 3.3*<sup>1</sup></b>
<b>Firma:</b>	<b>SmithsDetection</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>CWAs (TICs möglich)</b>

\*1 Ammoniak-dotiert

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € brutto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	10.750	Standardmäßiger Lieferumfang
Sonderzubehör	4.730	PCA, Dock, Fahrzeughalterung
Garantieverlängerung	278/a	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	-	Nicht bekannt
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	-	Nicht notwendig
Instandhaltung (Benutzer)	446	10 Trockenfilter (mit Ammoniak-dotiertem Molekularfilter), Aktivkohlefilter, Test-Kit, Spüradapter
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Anfrage bei entsprechendem Entsorgungsunternehmen	Trockenfilter (Sondermüll) Dual-use-Gerät* <sup>2</sup>

\*2 Güter mit doppeltem Verwendungszweck (militärische wie auch zivile Nutzung möglich)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 0,58 kg, inkl. Batterien
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: ja
- Paketsatz im Transportkoffer: 6 kg (ohne Batterien)
- Schraubendreher: 3,0 x 100 mm
- Auto Inlet Modul (AIM): 0,77 kg

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	-	-
Netzteil	x	110/240 VAC bis 9 VDC
Li-Batterien	x	4 Typ AA (1.600 mAh, 1,2 V, Ni-MH)
Laufleistung im Akkubetrieb	x	~ 30 h (20 °C)* <sup>3</sup>
Akku extern aufladbar	-	-
Fahrzeugadapter	x	8/24 V
Ersatzakku	-	-

\*3 abhängig von der Temperatur, dem Alter und dem Zustand des Akkus

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Bei Temperaturen zwischen 10 und 25 °C und relativen Feuchten zwischen 40 und 80 % ergab sich eine Messbereitschaft von ca. 1 min. Die Messbereitschaft ist die Zeit vom Einschalten bis zum Starten einer Messung.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: Überprüfung fälliger Serviceintervalle
  - > Serviceintervalle: Wechsel von Trocken- und Aktivkohlefilter nach ~ 250 h

## Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: nein
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

**Transport und Erschütterungsfestigkeit:**

- Transportbehälter: ja, Transportkoffer (Pelicase 1520 mit Inlet)
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja, optional
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Transportschock (in Transporteinheit): Angaben nicht verfügbar
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): Angaben nicht verfügbar

**Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich:**

- Temperaturbeständigkeit (Betrieb):  $-32\text{ °C}$  bis  $+49\text{ °C}$
- Feuchtebeständigkeit (Betrieb): bis 100 % rel. LF
- Temperaturbeständigkeit (Lagerung):  $-39\text{ °C}$  bis  $+70\text{ °C}$
- Feuchtebeständigkeit (Lagerung): 100 % rel. LF
- Thermischer Schock: Angaben nicht verfügbar
- Schutzart: IP67

**Hersteller-Support**

- Garantie: 1 Jahr
- Einschicken notwendig: nein

**Handhabung****Firmware und Menüführung**

- Menüführung der Firmware: deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > kurze Erklärung: Filterstandzeit, Beleuchtung, Lautstärke, Betriebsstundenzähler, Detektionsmodus, Kontrast, Zeit/Datum, Sprache
- Substanzbibliothek: ja
  - > Umfang: 8
- Weitere Substanzbibliotheken: bedingt (zivile Version zusätzlich ITOX-Bib.)
  - > Erläuterung: Bei dem militärischen Modell kann nur eine Bibliothek auf dem Gerät gespeichert werden. Über die externe Software können jeweils andere Bibliotheken auf das LCD 3.3 geladen werden, die vorherige Bibliothek auf dem Gerät wird bei der Änderung gelöscht

**Warnhinweise im Display**

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt

- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: ja
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: nein
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für Störung: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja (nur Austausch, keine Erweiterung)
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: speicherbar über Software; spezielle Kenntnisse notwendig
- Automatisierte Überwachung: ja
- Messung aus Bewegung: ja
- Nachtmessung: ja
- Freihandspüren: ja

### Eigenschaften der externen Software

Eigenschaften der Auswertesoftware	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Darstellung der Driftzeiten	x
Nutzung gängiger Dateiformate	-
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	Nur durch erfahrenen Benutzer möglich; keine Erweiterung, nur Austausch
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Driftzeiten in die Suche	Nur durch erfahrenen Benutzer möglich
Deutschsprachige Menüführung	-
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x

Eigenschaften der Auswertesoftware	x
Remote-Service	x
Kosten	37.900 €
Fernsteuerung des Handgerätes	x (bis zu 4 gesamt)
Art der Fernsteuerung	RS232, WLAN
Sichern der Messdaten	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Abbilden der Firmware	x

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutzbeauftragter erforderlich: nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: nein
  - > Gesundheitsgefahren: nein
    - Sicherheitsanforderungen: von Zündquellen und explosiver Atmosphäre fernhalten

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, bis zu 3 Komponenten gleichzeitig, Quantifizierung in Form von Balken (1–8)
- Querempfindlichkeit:
  - > Gegenüber Brandgasen: Abgase Raketentriebwerke, Munitionsdämpfe
  - > Gegenüber einzelnen Chemikalien: Aromatische Dämpfe, Reinigungsmittel, gechlorte Materialien, Gefahrstoffsimili
- Aggregatzustände: Gase, Feststoffe, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: Feststoffe und Flüssigkeiten mit ausreichend hohem Dampfdruck

#### Geräteabhängige Leistungsmerkmale:

- Einsatzbereich: innen und außen
- Formen der Messung: Punktdetektion
- Durchführung Funktionstest: mit Probesimulanzen

#### Sonstige Leistungsmerkmale:

- Übersicht Responsezeiten (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses): Die Prüfungen erfolgten im Zeitraum 2006/2007 durch das WIS in Munster

Sarin, Soman und Tabun wurden jeweils mittels Permeation über Kampfstoffgeneratoren erzeugt. S-Lost-Konzentrationen wurden mit der Blasenbeladungsmethode erzeugt. Alle Kampfstoffkonzentrationen wurden dem LCD 3.3 in Luft zugeführt.

Substanz	Mindest-Ansprechkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ideale Ansprechkonz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ermittelte Konz. [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Anzeige
Sarin	0,05	0,02	0,03	10	1 Balken GB
Soman	0,04	0,02	0,03	5	1 Balken GD
Tabun	0,06	0,02	0,06	10	1–2 Balken GA
S-Lost	0,5	0,30	0,40	10	1–2 Balken HD

Bedingungen: T: Raumtemperatur, rF:60 %; Grenzwertfestlegung: BBK

Zusammenfassung: Das LCD 3.3 konnte das Leistungskriterium bezüglich der Mindest-Ansprechkonzentraion bei allen getesteten Kampfstoffen erreichen. Im Fall von Sarin, Tabun und S-Lost konnte die ermittelte Konzentration die Mindest-Ansprechkonzentration sogar unterschreiten.

Die Ansprechzeiten befanden sich bei allen getesteten Kampfstoffen innerhalb von 10 Sekunden.

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich	x	–
Messrate	x	2 s (Spürmodus)/5 s (Normalmodus)
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	–
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	–

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	–
Hohe Speicherkapazität	x	75 Stunden
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	Nach 75 Stunden
Signaturen (Datum, Uhrzeit)	x	–
Art der Schnittstellen	x	RS232

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja
- Einheit: ja (am PC mit externer Software)
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: K0-Werte, Peakintensitäten, Peakkombinationen
- Daten ergänzend zum Messwert: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Datum, Uhrzeit

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse		Bemerkungen
Einweisung	x	Üben des Spürens notwendig
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener\*4

Dauer [h]		Bemerkungen
< 4	x	Üben des Spürens notwendig
< 8		
> 8		

\*4 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Mobile Trace</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	ca. 34.000 €	(Normaler MobileTrace)
Sonstiges Zubehör		Inklusive
Garantieverlängerung	K. A.	Optional
Wartung (Hersteller)	jährlich, ca. 5 % Anschaffungskosten	Abhängig von Gerätezahl
Instandhaltung (Benutzer)		Lediglich Wartungs- und Pflegematerial < 500 € jährlich
Kalibrierung	1,25 € pro Kalibrierung	Durch Kalibrierungstreifen alle 8 Stunden

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 4,3 kg inkl. Akku, 5,44 kg bei Hardened MobileTrace
- Mit einer Hand tragbar: ja/nein

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	(2 Stck. im Lieferumfang)
Netzteil, ersatzweise	x	
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	4 h	
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	Hotswap-fähig



### Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: mind. 10 Jahre

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min]
Kfz/ alle: T: 16 °C, rF: 60 %	30 Minuten
Sommer: T: 25 °C, rF: 40 %	30 Minuten
Winter: T: 5 °C, rF: 80 %	30 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja/nein
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

### Robustheit

#### Schutzart

- IP20 (IP54 und MIL-STD-810-G bei Hardened MobileTrace)

#### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln:

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein (nur bei „Hardened MobileTrace“)

#### Transport und Erschütterungsfestigkeit:

- Transportbehälter: ja, Hartschalenkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein

- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt;  
bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810-G
  - > Transportschock: unbekannt;  
bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810-G

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich:

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0–50 °C	–20 bis 60 °C	Raumtemperatur
Für Hardened MobileTrace:	–20 bis 55 °C	–20 bis 60 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	Bis 95 %	Bis 95 %	

Thermischer Schock: unbekannt;  
bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810-G

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Tasten und Stifteingabe
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: ja
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Sprengstoffe und Drogen
- Weitere Substanzbibliotheken:
  - Bei Hardened MobileTrace: (C-Kampfstoffe und TICs)
    - > C-Kampfstoffe: Blut-, Haut-, Nervenkampfstoffe
    - > TICs: Chloride, Zyanide, Säuren und Ammoniakverbindungen

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: beleuchtet (Hardened MobileTrace: 800 NIT Helligkeit), aber relativ kleine Schrift
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja, große gummierte Tasten, unbeleuchtet
  - > Akustischer Alarm: ja, deaktivierbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja (im Display)

- > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: ja
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbildern der Firmware	
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	
Art der Fernsteuerung	

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: ja/nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: ja (Ni-63, 370 MBq)
  - > Gesundheitsgefahren
    - Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: ja

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel oder Gase
- Aggregatzustände: fest oder gasförmig

#### Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 230 °C
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit

(Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ppm]	Dauer [Min]
Partikelförmig		8 Sekunden
Gasförmig		bis 12 Sekunden

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Zurücksetzen

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität		1 GB
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

## Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8	x	
> 8		

**Messverfahren:** Ionenmobilitätsspektrometrie  
**Gerätebezeichnung:** SABRE 5000, TriMode FR, Smiths Detection, Handgerät  
**Anwendung:** Explosivstoffe, CWAs, TICs, Drogen

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	25.000 €	Standardmäßiger Lieferumfang; andere Modis abweichend
Sonderzubehör	K. A.	Zusatzsoftware optional
Garantieverlängerung	K. A.	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	-	Nicht bekannt
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	-	Nicht notwendig
Instandhaltung (Benutzer)	900 €	Trockenfilter, Membran, Probestreifen, Standard, Kalibranten
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Kostenpflichtig	Ni-63-β-Strahler, 555 MBq

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 3,2 kg, mit Akku
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > Paketsatz im Transportkoffer: 4 kg

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h <sup>*1</sup>
Akku extern aufladbar	x	Optional bestellbar
Fahrzeugadapter		
Ersatzakku		

\*1 abhängig von der Temperatur, dem Alter des Gerätes und dem Zustand des Akkus

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [min]
T: 20 °C, rF: 25 %	15

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: Überprüfung fälliger Serviceintervalle bei ~ 30 Wochenstunden Einsatz
  - > Serviceintervalle: Austausch Trockenfilter (14 Tage), Membran ersetzen (1 Jahr)

## **Robustheit**

### **Reinigung:**

- Schutzart: IP: keine Angabe
- Immersion: nein
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### **Transport und Erschütterungsfestigkeit:**

- Transportbehälter: ja, Transportkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja
  - > Transportschock (in Transporteinheit): k. A.
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): k. A.

### **Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich:**

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb): 0 °C bis +40 °C, < 70 % rel. LF
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung): -20 °C bis +55 °C, < 95 % rel. LF
- Thermischer Schock: nicht bekannt
- Höhenbereich: < 2.000 m

### **Hersteller-Support**

- Garantie: 2 Jahre
- Einschicken notwendig: nein

## **Handhabung**

### **Firmware und Menüführung**

- Menüführung der Firmware: logisch, deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja (Passwortschutz)
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Betriebsart, Deaktivierung ausgewählter Bibliothekssubstanzen, Amplituden-Schwellwert, Variabilität, Wartung, Lautstärke, Uhrzeit, Sprache, Beleuchtung, Steuerparameter
- Substanzbibliothek: ja
  - > Umfang: 19
- Weitere Substanzbibliotheken: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Drogen (11), CW/TIC (26), ASV (19)



### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttest bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: ja
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja (Reinigung)
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für Störung: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja (nicht beleuchtet)
  - > Akustischer Alarm: ja
- Verdeckter Einsatz: k. A.
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: nur über Software speicherbar
- Automatisierte Überwachung: ja (nur für CW/TIC)
- Messung aus Bewegung: ja
- Nachtmessung: ja
- Freihandspüren: nein

### Eigenschaften der externen Software

#### Eigenschaften

---

Kosten

---

Darstellung der Driftzeiten x

---

Nutzung gängiger Dateiformate

---

Transformation in andere Dateiformate

---

Bibliotheksänderung durch Nutzer x

---

Benutzerdefinierte Auswerteparameter x

---

Intuitive Bedienstruktur

---

**Eigenschaften**

Einbeziehung eigener Driftzeiten in die Suche	x
Deutschsprachige Menüführung	
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x
Remote-Service	
Fernsteuerung des Handgerätes	
Art der Fernsteuerung	

**Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Strahlenschutz erforderlich: nein (jährliche Überprüfung notwendig)
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: nein
  - > Gesundheitsgefahren: nein

**Messtechnische Leistungsfähigkeit****Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Quantifizierung in Form von Balken (1–10)
  - > Querempfindlichkeit: Überlagerung/Fehlinterpretation der Driftzeiten, Reaktionen zwischen Produktionen
- Stoffliche Zugänglichkeit: Gase einsaugen, Flüssigkeiten und Feststoffe auf Probestreifen ins Gerät einführen
  - > Kurze Erläuterung: Substanzen müssen genügend hohen Dampfdruck haben, Lösungsmittel muss abdampfen
- Aggregatzustände: Gase, Feststoffe, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: Feststoffe auf Probestreifen, Gase einsaugen, Flüssigkeiten trocknen lassen

**Leistungsmerkmale**

- Einsatzbereich: innen und außen
- Detektor: Faraday-Platte
- Formen der Messung: Punktdetektion (max. 30 cm<sup>2</sup>)
- Messrate: alle 15 bis 480 min je nach Reinigungszeitraum bei Alarm; kontinuierlich für CW/TIC, 2 min bei keinem Alarm
- Durchführung Funktionstest: Leeranalyse mit sauberem Probestreifen, Verifikation

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften		Bemerkungen
Kontinuierlich	x	Nur CW/TIC möglich
Probenwiederholfrequenz	x	5–15 min
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften		Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	300 Messungen
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	
Art der Schnittstellen	x	USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja (Balkenanzeige)
- Einheit: ja (am PC)
- Angabe der Ergebnisgüte: ja (Amplitude, Segmente, Deltawert)
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: K0-Werte, Peakintensitäten, Peakkombinationen
- Daten ergänzend zum Messwert: ja
  - > Datum
  - > Zeit
  - > Probennummer

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Analytikerfahrung wünschenswert
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Grundbetrieb
< 8	x	
> 8		

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Itemiser 4DX</b>
<b>Firma:</b>	
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, €	Bemerkungen
Beschaffung	43.850	
Sonstiges Zubehör	-	Inklusive
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Hersteller)	ca. 1.250	Jährlich, abhängig von Gerätezahl
Instandhaltung (Benutzer)	< 500	Jährlich, lediglich Wartungs- und Pflegematerial
Kalibrierung	580	Internes Kalibrat, 5 Jahre einsetzbar

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 12,93 kg,
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	Puffer für den Transport und für Netzausfälle
Netzteil, ersatzweise	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		Optional
Laufleistung im Akkubetrieb	1 h	
Akku extern aufladbar	x	Optional, Dauer: 4 Stunden
Ersatzakku	x	Zukaufbar

### Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: min. 10 Jahre

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min]
Kfz/Halle: T: 16 °C, rF: 60 %	30 Minuten
Sommer: T: 25 °C, rF: 40 %	30 Minuten
Winter: T: 5 °C, rF: 80 %	30 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

## Robustheit

### Schutzart

- IP20

### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

### Transport und Erschütterungsfestigkeit:

- Transportbehälter: wahlweise Hartschalenkoffer oder Softbag
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt
  - > Transportschock: unbekannt

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0–40 °C	0–50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	0–95 %		

- Thermischer Schock: unbekannt

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Touchscreen und optionale Tastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Sprengstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: verfügbar, erweiterbar

## Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, 10,4-Zoll-Bildschirm mit Touchscreen
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja
  - > Akustischer Alarm: ja, Lautstärke einstellbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

## Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: ja
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

## Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	<b>x</b>
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbildern der Firmware	

<b>Eigenschaften</b>	x
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: entfällt
  - > Gesundheitsgefahren
    - Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: unbekannt, wie regulärer Elektromüll

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, eingeschränkt in Flüssigkeit)
- Aggregatzustände: fest (Partikelanalyse)

#### Sonstige Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 230 °C
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit  
(Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ppm]	Dauer [Min]
Partikel		8 Sekunden



## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Rücksetzen

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>IONSCAN 600</b>
<b>Firma:</b>	
<b>Anwendung:</b>	<b>Detektion von anhaftenden Spuren von Betäubungsmitteln, neuen psychoaktiven Substanzen und Explosivstoffen</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	ca. 55.000 €	Zzgl. Verbrauchsmaterial: Probenstreifen, VS-Prüfmittel
Sonstiges Zubehör		
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Anwender + Hersteller)	Jährlich, ca. 5 bis 10 % Anschaffungskosten	

Art	Kosten	Bemerkungen
Instandhaltung (Benutzer)		Wartungs- und Pflegematerial
Kalibrierung		Interne Kalibratoren Positiv (Nicotinamid)/negativ (4-Nitrobenzonnitril)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 10,43 kg,
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	2 x NC2040-Li-Ionen-Akkus
Netzteil	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	Ca. 1 h
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku		Extra beziehbar

### Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: min. 10 Jahre

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min]
Labor: T: 20 °C, rF: 40 %	10 Minuten
Außenbetrieb: T: 10 °C, rF: 60 %	45–60 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

**Laufzeitnachweis**

- Betriebsstundenzähler: ja

**Robustheit****Schutzart**

- Sicherheits- und Gesetzesbestimmungen:  
IEEE C95.1; IEEE C95.6; IEC 60529, FCC Teil 15, Unterabschnitt B, Klasse A;  
ACGIH TVL und BEI; UL61010-1:2012; IEC 61010-1:2010, CAN/CSA 22.2, No  
61010-1: 2012;

**Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln**

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

**Transport und Erschütterungsfestigkeit**

- Transportbehälter: Transportkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt
  - > Transportschock: unbekannt

**Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich**

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	-20 °C bis +50 °C	-20 °C bis +50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	< 95 %, nicht kondensierend		

- Thermischer Schock: unbekannt

## Handhabung

### Bedieneroberfläche und Menüführung

- Menüführung der Bedienoberfläche: Touchscreen und optionale Folientastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Explosivstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: für nutzereigene Bibliotheken erweiterbar

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, Bildschirm mit Touchscreen
  - > Touchscreenfelder mittelgroß, mit Abstand: bedingt bedienbar mit PSA
  - > Akustischer Alarm: ja, abschaltbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: entfällt
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: nein, bei Kontamination manuell Ausheizprogramm aufrufen
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein

## Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	x
Plasmaagrammdarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	Entfällt
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Gerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

## Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: ja/nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Aggregatzustand des Probenmaterials: fest, (flüssig s. u.)
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, auf Probenträger verdampfbare Flüssigkeiten)
- Identifizierung: via Datenbankabgleich

### Leistungsmerkmale

- Response- und Abklingzeit für Analyte in einem Intensität-Zeit-Diagramm darstellbar
- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 250 °C  
LOD: ng – unterer µg-Bereich (substanz- und matrixabhängig)
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: entfällt
    - Gegenüber Chemikalien mit annähernd gleichem m/z-Verhältnis Co-Migration (gleiche K0-Werte/Driftzeiten) falsch positiver Alarm möglich

- Substanzidentifikation über Vergleich der K0-Werte

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch		Manuell
Hohe Speicherkapazität	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: laut Datenbankeintrag (Klarname oder maskiert)
- Konzentration: keine
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden (ist über Driftzeitabweichung, Halbwertsbreite und Intensitäts-Zeit-Verlauf abschätzbar)
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		

**Messtyp:** Ionenmobilitätsspektrometer  
**Gerätebezeichnung:** DE-tector von Bruker  
**Anwendung:** Explosivstoff- und Betäubungsmitteldetektion

### Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. 45.000 €	
Sonstiges Zubehör	K. A.	Akku (optional)
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Hersteller)	K. A.	
Instandhaltung (Benutzer)	K. A.	
Kalibrierung	K. A.	



## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 12,7 kg,
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	x	Puffer für Netzausfälle
Netzteil	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	1 h	
Akku extern aufladbar	x	Optional, Dauer: 4 Stunden
Ersatzakku	x	Zukaufbar

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Die Dauer der Einsatzbereitschaft liegt bei ca. 30 Minuten.

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

### Robustheit

#### Schutzart

- IP30

### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: wahlweise Hartschalenkoffer oder Softbag
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt
  - > Transportschock: unbekannt

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0–40 °C	0–50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	0–95 %		

- Thermischer Schock: unbekannt

### Handhabung

#### Bedienoberfläche und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Touchscreen und optionale Tastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Sprengstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: verfügbar, erweiterbar

#### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, 12,1-Zoll-Bildschirm mit Touchscreen
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja
  - > Akustischer Alarm: ja, Lautstärke einstellbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden (löschen)
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: ja
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: k. A.
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	<b>x</b>
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektriformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: nein
- Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: entfällt
- Gesundheitsgefahren
  - > Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: nach behördlichen Vorschriften

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, eingeschränkt in Flüssigkeit)
- Aggregatzustände: fest (Partikelanalyse)

### Leistungsmerkmale:

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 250 °C
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit  
(Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ ppm]	Dauer [Min]
Partikel		20 Sekunden

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Zurücksetzen

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	Doppelt

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

#### Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		

<b>Messverfahren:</b>	<b>Flammenphotometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>UC AP4C</b>
<b>Firma:</b>	<b>PROENGIN</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Nachweis flüchtiger Gase</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € brutto Stand 2016	Bemerkungen
Beschaffung	19.320	Messgerät, Vor-Ort-Schulung für Bediener, 2 Wasserstoffkartuschen, Batteriehalterung + Batterien, Probenahmezubehör sowie Transportkoffer
Sonstiges Zubehör	33.600	Software
Garantieverlängerung	485/a	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	843	Nach 1 Jahr
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	-	Nicht notwendig
Instandhaltung (Benutzer)	1.300	Batterien, H <sub>2</sub> -Patrone, Scrapers, Probenröhrchen + Spüradapter
Kalibrierung	-	Nicht notwendig
Entsorgung	Anfrage bei entsprechendem Entsorgungsunternehmen	Dual-use-Gerät <sup>*2</sup>

\*2 Güter mit doppeltem Verwendungszweck (militärische wie auch zivile Nutzung möglich)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 2,5 kg mit Batterien + H<sub>2</sub>-Patrone
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > S4PE-Batteriehalterung für SH20, spezielle Batterie für extreme Bedingungen: 4,2 kg

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	-	-
Netzteil	-	-
Li-Batterien,	x	4 LSH20 12-28 V DC, aufladbar
Laufleistung im Akkubetrieb	x	12 h (> 0 °C)* <sup>3</sup>
Akku extern aufladbar	x	700 € Extrakosten
Ersatzakku	-	-

\*3 Abhängig von der Temperatur, dem Alter des Gerätes und dem Zustand des Akkus

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft lag im Bereich: 10 bis 25 °C und 40 bis 60 rF bei ~ 1,5 bis 2 Minuten.

Anmerkung: Die Tests wurden in der Klimakammer KPK 600 der Firma Feutron durchgeführt.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): über Computer
  - > Warum: Überprüfung fälliger Serviceintervalle
- Serviceintervalle (~ 1.000 h): nach ~ 12 h Austausch von Batterien und H<sub>2</sub>-Kartusche

## Robustheit

### Reinigung

- Immersion (Tauchbad): nein
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Koffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein

- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja
  - > Transportschock (in Transporteinheit): 1 bis 16 Hz:  $D^{*4} = 1 \text{ mm}$ ,  
16 bis 55 Hz:  $A = 10 \text{ m/s}^2$
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): 20 bis 40 g: 11 ms

\*4 D = Schwingweg

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Schutzart: IP56
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb):  $-32 \text{ °C}$  bis  $+50 \text{ °C}$ , 93 % rel. LF
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung):  $-39 \text{ °C}$  bis  $+71 \text{ °C}$ ,  
 $-93 \text{ % rel. LF}$
- Thermischer Schock: Angaben nicht bekannt

### Hersteller-Support

- Garantie: 1 Jahr
- Einschicken notwendig: ja

### Handhabung

#### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: keine Einstellungen möglich, kein Display und keine Tasten vorhanden
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: nein

#### Warnhinweise

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung: nein
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis bei Störung: ja
- Warnhinweis bei Fehler im Wasserstoffkreislauf: ja
- Warnhinweis bei zu hoher Konzentration (Übersättigung): ja

#### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja



- Verdeckter Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm vorhanden: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: nein
- Automatisierte Überwachung: ja
- Messung aus Bewegung: ja
  - > Nachtmessungen: ja

### Eigenschaften der externen Software

<b>Messwert-Interpretation</b>	x
Kosten	33.600 €
Nutzung gängiger Dateiformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	-
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	-
Intuitive Bedienstruktur	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	x
Sichern der Messdaten	x
Trennung von Bedien- und Servicemenü	x
<b>Remote-Software</b>	x
Kosten	9.660 €
Fernsteuerung des Handgerätes	Auslesen der Messergebnisse
Art der Fernsteuerung	WLAN
Sichern der Messdaten	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Abbilden der Firmware	x

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Gesundheitsgefahren: nein
  - > Sicherheitsanforderungen: nein

- Zündgefahren: ja (H<sub>2</sub>)
- Giftige Betriebsstoffe: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: reine Stoffe, Gemische, Lösungen, Quantifizierung in Form von 1 bis 5 LED-Lampen
  - > Querempfindlichkeit: Brandgase, andere Stoffe die P, S, As, HNO enthalten
- Aggregatzustände: Gase, Aerosole, Feststoffe, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: für Feststoffe und Flüssigkeiten das S4PE verwenden (im Lieferumfang enthalten)

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale:

- Einsatzbereich: innen und außen
- Messbereich: bis 3000 m Höhe bei Gasen/Aerosolen, 10 x 10 cm bei Feststoffen/Flüssigkeiten
- Formen der Messung: Gase/Aerosole einsaugen, Feststoffe/Flüssigkeiten mit S4PE aufnehmen und ausheizen
- Identifikationslimit bei Raumtemperatur: nicht bekannt

### Sonstige Leistungsmerkmale:

- Übersicht Responsezeiten (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses): bei Raumtemperatur:  
Die Prüfungen erfolgten im Jahr 2016 durch das WIS in Munster. Die Gaskonzentrationen der einzelnen Flüssigkeiten wurden jeweils mittels Permeation über Kampfstoffgeneratoren erzeugt. Diese Konzentrationen konnten anschließend durch Temperatur- und Luftstromregelung variiert werden.

Substanz	Mindest-Ansprechkonzentration <sup>7</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	Ermittelte Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ]	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
TEP	0,005 Phosphor	0,007 Phosphor rF Umgebung 50 %	10	9	1 Lämpchen Phosphor
TEP	0,005 Phosphor	0,059 Phosphor rF Umgebung 53 %	4	14	2 Lämpchen Phosphor
DMMP	0,005 Phosphor	0,019 Phosphor rF Umgebung 28 %	1	7	1 Lämpchen Phosphor

Substanz	Mindest-Ansprechkonzentration <sup>*7</sup> [mg/m <sup>3</sup> ]	Ermittelte Konzentration [mg/m <sup>3</sup> ] rF Umgebung	Ansprechzeit [s]	Abklingzeit [s]	Anzeige
DMMP	0,005 Phosphor	0,024 Phosphor rF Umgebung 20 %	3	23	2 Lämpchen Phosphor
DBS	0,300 Schwefel	0,217 Schwefel rF Umgebung 28 %	–	–	kein Signal
DBS	0,300 Schwefel	0,318 Schwefel rF Umgebung 21 %	5	14	1 Lämpchen Schwefel

\*7 Mindestansprechkonzentrationen: In Anlehnung an Handbuch AP4C, Kapitel 2.2.2 Use of the AP4C.  
Ansprech- und Abklingzeiten: Mittelwert aus 5 Messungen  
rF: relative Feuchte

Zusammenfassung: Mit den ermittelten Konzentrationen konnten durch die Elemente Schwefel und Phosphor, gebunden in unterschiedlichen Verbindungen, im unteren Konzentrationsbereich Signale erzeugt werden. Die Ansprechzeiten lagen innerhalb von 10 Sekunden.

Die Ansprechzeiten sind nicht nur konzentrationsabhängig, sondern werden auch von dem Aufbau und der Struktur der Verbindung beeinflusst.

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	–	–
Messrate	–	–
Kontinuierliche Messung	x	–
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	–
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	–

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	-
hohe Speicherkapazität	x	120 h
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	> 480 Stunden Betrieb
Signaturen (Datum, Uhrzeit)	x	-
Art der Schnittstellen	x	RS422

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: nein
- Konzentration: ja
- Einheit: ja (am PC, externe Software)
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener\*<sup>8</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	
< 8		
> 8		

\*<sup>8</sup> Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>Raman-Spektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>FirstDefender RM und RMX*<sup>1</sup>. Mobiles Gerät, handgeführt</b>
<b>Firma:</b>	<b>Thermo Fisher Scientific Inc., USA</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TIC, CWA, Drogen, Explosivstoffe</b>

\*1 Geräteversion unterscheidet sich in Form der Außenmessung: RM: starrer Sondenkopf mit Fokus in 3 mm Abstand; RMX: flexible Lichtleitersonde

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, brutto (Stand: 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	50–70 T€	Messgerät mit Betriebssoftware und Spektrenbibliotheken, Netzteil, Ersatzakku, Prüfkörper, SD-Kartenleser, Vials (Probengläschen), Pipetten, Mikrospatel, Alkohol-Pads
Sonderzubehör	20 T€	Externe Spektroskopie-Software, größere Datenbanken
Garantieverlängerung	2,5 T€/a	Möglich
Einweisung (Hersteller)	–	Nicht erforderlich
Gerätepflege (Benutzer)	gering	Spülmittel, Zellstoff, Alkohol-Pads
Wartung (Hersteller)	ca. 10 %	Nach ca. 6 Jahren Laser-Tausch
Software-Update	2,5 T€	Inkl. Datenbank-Update
Kalibrierung	Inkl.	Nur im Rahmen von Reparaturen bzw. Wartungen
Entsorgung	K. A.	Rücksprache mit Hersteller

%-Angaben beziehen sich auf Brutto-Anschaffungskosten

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 0,8 kg (RM), 0,92 kg (RMX)
- Handgehalten einsetzbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: nein

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	> 4 h (bei 25 °C)
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft beträgt ca. 2 Minuten.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): nein

## Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: ja
- Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln: spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja
  - > Transportschock (im Transportbehälter):
- 1,2 m auf Beton (US MIL-STD-810G)
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): bis 40 g in 11 ms (US MIL-STD-810G)

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (in Betrieb):
  - 20 °C (1 Tag) bzw. +35 °C (3 Tage) nach US MIL-STD-810G

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung):  
–30 °C (1 Tag) bzw. +60 (7 Tage) nach US MIL-STD-810G;  
bei 60 °C u. 95 % rel. Luftfeuchte über 5 \* 2 Tage
- Thermischer Schock: –30 bis +60 °C in < 1 min (US MIL-STD-810G)
- Schutzart IP: > IP67 (6: staubdicht und vollständiger Schutz gegen Berührung;  
7: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: intuitiv/logisch; wenige Tasten mit klarer Funktion (mit aus der PC-Technik entlehnten Piktogrammen bzw. im Display darüber angezeigten Funktionen); deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Erläuterung: Anpassung der Laserleistung (3-stufig: 75/125/250 mW bzw. gering/mittel/hoch) sowie bei manuellem Scan zusätzlich der Belichtungszeit (5 bis 10.000 mSek) zur Schonung thermolabiler Proben, zeitverzögerte Laserauslösung: ja
- Spektrenbibliothek(en):
  - > Umfang: > 12.000, in Pakete unterteilt, wahlweise in alphabetischer bzw. anwendungsbezogener Sortierung
- Gefahrstoff-Datenbank:
  - > Umfang: > 11.000
  - > Sprache: deutsch
  - > Informationstiefe: wechselnd, z. T. hoch
- Möglichkeit zur Einbindung größerer Spektren-Datenbanken: ja
  - > Erläuterung: Datenexport im Rohdatenformat erlaubt Auswertung mit externer Spektroskopie-Software mit anderen Auswerteooptionen und Nutzung größerer Spektrenbibliotheken

### Eigenschaften externer Software

Spektreninterpretationssoftware	x
Kosten, brutto (inkl. größerer Datenbank)	Ab 15 T€
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/Verunreinigungen)	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektreninterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	-
Abbilden der Firmware	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
<b>Remote-Software</b> (Version RM)	-
<b>Remote-Software</b> (Version RMX)	x
Kosten Remote-Fähigkeit der RMX-Software	Inkl.
Kosten Manipulator-Software (extern)	Individuell konzipierbar
Fernsteuerung des Handgerätes	x
Art der Fernsteuerung	RS 232
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	Abhängig von konzipierter Software
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
Abbilden der Firmware	x
<b>Reach-Back-Service</b>	x
Kosten (inkl. Software- und Datenbank-Update)	4 T€/a
Buchung notwendig	x
Antwortzeit	1 h bis 1 Tag
Sprache	Englisch



**Warnhinweise im Display**

- Einstellbare Laserfreigabe: ja
  - > Erläuterung: Laser-Freigabe erfolgt über einen mehrstufigen Abfrage- und Warnalgorithmus mit Passwort-Schutz
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Musterprobe): ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unzureichender/befriedigender Signalqualität: ja
- Warnhinweis bei fehlender Spektrenübereinstimmung: ja
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: indirekt, durch Nichtbeenden des automatischen Selbsttests
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: ja  
im Sinne einer Gefahrendiamant-Anzeige bzw. Gefahrstoff-Datenbank-Angebot, d. h. bei Identifizierung

**Eignung für Sondernutzungen**

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: nein

**Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Laserschutz erforderlich: ja
- Laserleistung: < 250 mW (Laserschutzklasse 3B nach OStrV)
  - > Gesundheitsgefahren: ja
    - Sicherheitsanforderungen: Während Nutzung Laserschutzbrille tragen, Gefährdungsbeurteilung erstellen und Unterweisung der Beschäftigten durch Laserschutzbeauftragten
  - > Zündgefahren: ja
    - Sicherheitsanforderungen: Arbeiten mit verminderter Laserleistung und Belichtungszeit, Verwendung kleinster Menge, Außenmessung bzw. im offenen Vial. Empfehlenswert im Verdachtsfall: vorherige Brennprobe (kleinste Menge). Besondere Vorsicht bei festen, dunklen Proben.

**Messtechnische Leistungsfähigkeit****Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung:  
Basis der Identifizierung erfolgt über den Vergleich von Proben- und

Bibliotheksspektrum. Die Software unterstützt darüber hinaus die Aufklärung potenzieller Gemische und Lösungen auf der Grundlage von Reinstoff-Spektren, die Identifizierung ist abhängig von:

- > der Raman-Aktivität des nachzuweisenden Stoffes,
- > gerätetechnischen Faktoren (spektrale Auflösung, Laserleistung, optische Durchlässigkeit der verwendeten Materialien),
- > der Software, wie Aufnahmeparameter, Auswertalgorithmus u. a.,
- > dem Umfang der Bibliothek,
- > der Messoption (Innenmessung bevorzugen) und
- > durch Optimierung der äußeren Messbedingungen beeinflussbar.
- Selektivität: Die Nachweisbarkeit von Stoffen in Gemischen bzw. neben Störstoffen, Verunreinigungen, Lösungsmitteln u. Ä. ist abhängig:
  - > vom Vorliegen der Stoffe (im Gemisch oder Einzelstoff),
  - > der Konzentration,
  - > der Identifizierungsgrenze,
  - > einer möglichst geringen Überlagerung der Banden von Ziel- und Störstoff(en)
    - Querempfindlichkeit: zum Teil hoch, Reduzierung durch Spektrenbibliotheken, die sich auf wichtige, häufig transportierte, besonders gefährliche bzw. zu überwachende Stoffe sowie Zubereitungen beschränken
- Aggregatzustände: fest und flüssig
  - > Kurze Erläuterung: im Vial oder mit Lichtleitersonde (RMX), auch die Messung direkt durch Vorratsflasche (farbloses oder braunes Glas) ist möglich

### Leistungsmerkmale

- Spektrale Auflösung: 7 bis  $10,5 \text{ cm}^{-1}$
- Spektralbereich: 250 bis  $2.875 \text{ cm}^{-1}$
- Laserleistung und Frequenz: 350 mW Laser
  - > Abgabeleistung einstellbar: 75 mW, 125 mW bzw. max. 250 mW
  - > Laserfrequenz: 785 nm
- Spektrenakkumulation und Messzeit:
  - > Automatisch: Mit sinkender Raman-Aktivität wird die Zahl der akkumulierten (Aufnahme konstanter Zahl an Spektren und mittelt darüber – Akkumulation) Spektren automatisch angepasst. Weitere Einstellungen bzgl. Spektrenakkumulation:
    - Laserleistung (gering, mittel, hoch – Standard): zur ergänzenden Anpassung an die Raman-Aktivität der Probe,
    - Maximale Messzeit (sog. Zeitüberschreitung): Verzögerung bzw. Auslöseverzögerung: führt zu einer um 15 bis 120 Sekunden zeitversetzten Laserauslösung bzw. Messbeginn als Personenschutzmaßnahme (vgl. auch manuelle Messung)

- > Manuell – besonderer Messmodus, bei dem zusätzlich zu den Einstellmöglichkeiten des Automatikmodus die Belichtungszeit pro Spektrum wählbar ist (zwischen 5 und 2.000 ms) → Erzielung milderer Messbedingungen. Achtung: Mit geringerer Belichtungszeit sinkt parallel die Identifizierungssicherheit
- > Bibliotheksscan – die Zahl der akkumulierten Spektren ist im Unterschied zur automatischen Messung standardisiert bzw. fest
- Formen der Messung:
  - > Innenmessung, d. h. Messung im Probenschacht mit Vial (Probengläschen)
  - > Außenmessung, d. h. Messung mit Hilfe des Sondenkopfes direkt an/in der Probe sowie auch durch durchscheinende Verpackungsvarianten:
    - Version RM: eintauchen des Sondenkopfes oder Messen mit  $\leq 3$  mm Abstand vor Schutzfenster; bei dickeren Verpackungen unter Abnahme des Schutzfensters
    - Version RMX: vermittelt durch Lichtleitersonde zur Messung an schwer zugänglichen Stellen

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	Ca. 2 min	Inkl. äußere Reinigung
Kontinuierliche Messung	–	
Datenaufnahme nach Probenaufgabe automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datentransfer

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	
Signaturen (Datum, Uhrzeit, GPS)	x	Datum, Uhrzeit
Art der Schnittstellen	x	SD-Karten für Daten; Mini-USB für Service; RMX verfügt zusätzlich über RS 232 zur Fernsteuerung

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe als Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte durch Korrelationswert oder andere Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste: nein
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode (sichere/unsichere Identifizierung): nein
  - > Form: mehrere Treffer in Reihenfolge der Übereinstimmung mit zusätzlicher Erläuterung
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Darstellung von Proben- und Bibliotheksspektrum zur visuellen Prüfung der Übereinstimmung – unterstützt durch Zoom- bzw. Skalierungsfunktionen
- Überlagern mit Spektrum eines Verdachtsstoffes und/oder eines anderen Laufes bzw. Probe
- Abgleich der Stoffdaten der Gefahrstoffdatenbank mit dem Probencharakter
- Spektren-Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertelgorithmus: nein
  - > Restsuche manuell auslösbar: nein
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Einfache Handhabung, Gerät erfordert keine speziellen Vorkenntnisse für die Bedienung
Spezielle Ausbildung		Laserschutzschulung notwendig

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*2</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bereits nach einer Kurzeinweisung von wenigen Minuten sind die zur Datenaufnahme wesentlichen Funktionen nutzbar
< 8		
> 8		

\*2 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>Raman-Spektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>IDRaman mini, 1.0</b>
<b>Firma:</b>	<b>Ocean Optics</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TIC, CWA, Drogen, Explosivstoffe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € brutto (Stand: 2014)	Bemerkungen
Beschaffung	ca. 21.000	Messgerät inkl. Transportkoffer, Schutzbrille, Vials, Point-and-Shoot-Adapter, USB-Kabel, USB-Stick, Kalibrierstandard
Sonderzubehör	–	Sonderzubehör (Point-and-shoot-Adapter) im Preis inbegriffen
Garantieverlängerung	K. A.	K. A.
Einweisung (Hersteller)	–	Nicht erforderlich
Gerätepflege (Benutzer)	Gering	Kein direkter Probenkontakt notwendig, Abwischen mit Zellstoff genügt
Wartung (Hersteller)	K. A.	K. A.
Software-Update	K. A.	K. A.
Kalibrierung	Inkl.	Kalibrierstandard (TiO <sub>2</sub> in ABS-Kunststoff) liegt bei
Entsorgung	K. A.	Rücksprache mit Hersteller

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 0,33 kg
- Handgehalten einsetzbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: nein

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku		
Netzteil	x	Über USB-Anschluss

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Li-Batterien	x	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	Mit Alkaline 6 h, mit Li-Batterien 11 h
Akku extern aufladbar		
Ersatzakku		

### Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Die Messbereitschaft beträgt ca. 1 Minute.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: nein
  - > Zugänglich (Benutzer): nein

### Robustheit

#### Reinigung

- Tauchbad: nein
- Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln: spezielle Anfragen an den Hersteller richten

#### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein

#### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb): Betrieb -20 bis +40 °C
- Schutzart IP: IP40 (4: geschützt gegen feste Fremdkörper mit D: > 1 mm und geschützt gegen den Zugang mit einem Draht, 0: kein Schutz gegen Wasser)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Menüführung über Symbole, ohne Erklärung teilweise nicht eindeutig zuzuordnen, da keine zusätzliche Beschreibung/Text
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Erläuterung: Anpassung der Laserleistung: 3 Stufen (low, medium, high) bis 100 mW/70 mW an der Probe, Einstellung der Belichtungszeit: 10 ms bis 8 s, beides nur über Remote-Software, zeitverzögerte Laserauslösung: nein, erst bei Modell 2.0
- Spektrenbibliothek:
  - > Umfang: selbst erstellbar; bei Nachfolge-Modell (IDRaman mini 2.0) auch käuflich zu erwerben, gesamt über 8.000 Einträge (in Pakete unterteilt)
- Gefahrstoff-Bibliothek: keine Information, ob es sich bei einem Bibliotheksstoff um einen Gefahrstoff handelt
- Möglichkeit zur Einbindung größerer Spektren-Datenbanken: ja, über Software

### Eigenschaften externer Software

Spektreninterpretationssoftware (OceanView)	x
Kosten, brutto	Inkl.
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	x, .txt
Transformation in andere Dateiformate	x, .spec
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	-
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/ Verunreinigungen)	-
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	-
Unterstützung bei der Spektreninterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	-
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	-
Abbilden der Firmware	-
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	-

<b>Spektreninterpretationssoftware (OceanView)</b>	x
<b>Remote-Software (OceanView)</b>	x
Kosten	Inkl.
Fernsteuerung des Handgerätes	x
Art der Fernsteuerung	USB
Deutschsprachige Menüführung	-
Sichern der Messdaten	x
anwenderfreundliche Bedienstruktur	-
Abbildern der Firmware	-
<b>Reach-Back-Service</b>	-

### Warnhinweise im Display

- Einstellbare Laserfreigabe: ja
  - > wenn ja, kurze Erläuterung: mehrstufige Abfrage, bevor Laser scharf ist, Gerät PIN-geschützt
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: nein
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Musterprobe): k. A.
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: k. A.
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: k. A.
- Warnhinweis für fehlende Spektren- oder Musterübereinstimmung: ja („not found“)
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: nein, aber Angabe der Korrelation mit dem Bibliotheksspektrum
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: nein

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: nein

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Laserschutzbeauftragter erforderlich: ja
  - > Laserleistung: 100 mW, an Probe 70 mW, Schutzklasse 1, mit Point-and-Shoot-Adapter Klasse 3B nach OStrV
  - > Gesundheitsgefahren: ja
    - Sicherheitsanforderungen: während Nutzung Laserschutzbrille tragen,



Gefährdungsbeurteilung erstellen und Unterweisung der Beschäftigten durch Laserschutzbeauftragten

- > Zündgefahren: ja, durch Scan-Modus (Raster Orbital Scanning/ROS) werden Zündgefahren minimiert
  - Sicherheitsanforderungen: Arbeiten mit verminderter Laserleistung und Belichtungszeit, Verwendung kleinster Menge, Außenmessung bzw. im offenen Vial. Empfehlenswert im Verdachtsfall: vorherige Brennprobe (kleinste Menge). Besondere Vorsicht bei festen, dunklen Proben

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Identifizierung erfolgt über Vergleich von Proben- mit Bibliotheksspektren, Identifizierung von Gemischen nicht möglich, die Identifizierung ist abhängig von:
  - > der Raman-Aktivität des nachzuweisenden Stoffes,
  - > gerätetechnischen Faktoren (spektrale Auflösung, Laserleistung, optische Durchlässigkeit der verwendeten Materialien),
  - > der Software, wie Aufnahmeparameter, Auswertalgorithmus u. a.,
  - > dem Umfang der Bibliothek,
  - > der Messoption (Innenmessung bevorzugen) und
  - > durch Optimierung der äußeren Messbedingungen beeinflussbar
- Selektivität: Die Nachweisbarkeit von Stoffen in Gemischen bzw. neben Störstoffen, Verunreinigungen, Lösungsmitteln u. Ä. ist abhängig:
  - > vom Vorliegen der Stoffe (im Gemisch oder Einzelstoff),
  - > der Konzentration,
  - > der Identifizierungsgrenze,
  - > einer möglichst geringen Überlagerung der Banden von Ziel- und Störstoff(en).
- Querempfindlichkeit: zum Teil hoch, Reduzierung durch Spektrenbibliotheken, die sich auf wichtige, häufig transportierte, besonders gefährliche bzw. zu überwachende Stoffe sowie Zubereitungen beschränken
- Aggregatzustände: flüssig und fest
  - > Kurze Erläuterung: im Vial oder mit Point-and-Shoot-Adapter, auch die Messung direkt durch Vorratsflasche (farbloses oder braunes Glas) ist möglich

### Leistungsmerkmale

- Spektrale Auflösung: 18 bis 20  $\text{cm}^{-1}$
- Spektralbereich: 400 bis 2.300  $\text{cm}^{-1}$
- Laserleistung und Frequenz: 100 mW, 70 mW an der Probe

- > Abgabeleistung einstellbar: im Stand-alone-Betrieb nicht, bei Remote-Betrieb in 3 Stufen: low, medium, high; keine Angabe der Wattzahl
- > Laserfrequenz: 785 nm
- Spektrenakkumulation und Messzeit: einige Sekunden, je nach Raman-Aktivität des Stoffes, im Remote-Betrieb Laserleistung, Integrationszeit (10 ms bis 8 s) und Anzahl der zu mittelnden Spektren einstellbar
- Formen der Messung:
  - > Innenmessung, d. h. Messung im Probenschacht mit Vial (Probengläschen)
  - > Außenmessung, d. h. Messung mit Hilfe des Point-and-Shoot-Adapters (Laser tritt aus Gerät aus, z. B. für Messungen in Vorratsgefäßen oder bei Stoffen, die nicht in ein Vial überführt werden können)

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	< 1 Min	Inkl. äußere Reinigung
Kontinuierliche Messung	x	Nur über Software (z. B. für Prozesskontrolle)
Datenaufnahme nach Probenaufgabe automatisch ausgelöst	-	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datentransfer

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	-	Ab Modell 2.0 automatisch einstellbar
Hohe Speicherkapazität	x	Ca. 8 GB (ca. 200.000 Messungen)
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		K. A.
Signaturen (Datum, Uhrzeit, GPS)	x	Uhrzeit
Art der Schnittstellen	x	USB

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe als Trefferliste: nein, nur ein Treffer wird angegeben
- Angabe der Ergebnisgüte durch Korrelationswert oder anderen Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste: ja, aber nur bei erstem Treffer
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode (sichere/unsichere Identifizierung): nein
- Skalierung der Signalintensitäten der Raman-Spektren: relativ
- Darstellung von Proben- und Bibliotheksspektrum zur visuellen Prüfung der Übereinstimmung (nur über externe Software)
- Überlagerungen mit einem Spektrum eines Verdachtsstoffes und/oder eines anderen Laufes bzw. einer Probe sind im Handheld-Modus nicht möglich
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: nein
  - > Automatische Gemisch-Suche: nein
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja, am Gerät selbst nur eingeschränkt (kleines Display, kein Zoom), über Remote-Software Zoom, Anzeige der Peak-Intensitäten, Überlagerungen etc. möglich

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Einfache Handhabung des Gerätes, externe Software erfordert Einarbeitung.
Spezielle Ausbildung	-	Laserschutzschulung notwendig

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*1</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bereits nach einer Kurzeinweisung von wenigen Minuten sind die zur Datenaufnahme wesentlichen Funktionen nutzbar.
< 8		
> 8		

\*1 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>ATR-FT-IR-Spektroskopie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>HazMatID 360/ HazMatID*<sup>1</sup>, mobil</b>
<b>Firma:</b>	<b>Smiths Detection, UK</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TIC, CWA, Drogen, Explosivstoffe</b>

\*1 Das Modell ID 360 verfügt im Vergleich zum ID-Modell über eine Gemischerkennungsroutine und über eine stark erhöhte Gefahrstoffinformation in Form der International Chemical Safety Cards (ICSC)

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	~ 49.000 bis 57.000	Messgerät, Betriebssoftware, Spektrenbibliotheken, Netzteil, Ladegerät, Ersatzakku, Prüfkörper, SD-Kartenleser, Pipetten, Mikrospatel, Alkohol-Pads
Sonderzubehör	~ 20.000 bis 25.000	Command-Laptop mit RF-Modul zur Überwachung und Fernsteuerung (ab 360er Upgrade über Bluetooth), externe Software, größere Datenbanken;
Garantieverlängerung	~ 2.600/a	Ja
Wartung (Hersteller)	~ 5–10 %* <sup>2</sup>	Nach > 3 Jahren (nutzungsabhängig)
Einweisung von Wartungspersonal (Hersteller)	–	Nicht erforderlich
Gerätepflege (Benutzer)	Gering	Spülmittel, Zellstoff, Alkohol-Pads
Software-Update	~ 2.400	Inkl. Datenbank-Update
Kalibrierung	Inkl.	Nur im Rahmen von Reparaturen bzw. Wartungen
Entsorgung	Gering	Elektronikschrott

\*2 %-Angaben beziehen sich auf Netto-Anschaffungskosten

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 10,43 kg
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: nein

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	2 h <sup>*3</sup>
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

\*3 Herstellerangaben

## Klimatische Einflüsse auf die Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Starke Temperaturschwankungen zwischen Lagerung und Betrieb des Gerätes, können zu Unterschieden von mehreren Minuten in der Messbereitschaft führen. Erfahrungsgemäß ist das Gerät in 5 bis 10 Minuten einsatzbereit.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja (für Servicezwecke)
  - > Zugänglich (Benutzer): nein

## Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: ja, jedoch ist die Eintauchtiefe gering („Dekontamination im Wasserbad“, schwimmt)
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock (Messgerät/aus): keine Daten verfügbar
  - > Transportschock (im Transportkoffer): keine Daten verfügbar

## Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (in Betrieb): bei 0 bis 100 % Feuchtigkeit bei -7 °C bis +50 °C
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung): bei 0 bis 100 % Feuchtigkeit bei -7 °C bis +50 °C
- Thermischer Schock: keine Daten verfügbar
- Schutzart IP67 (6: staubdicht sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 7: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: nach Start (on/off) selbst hochfahrend, danach Menüführung über Touchscreen, intuitiv/logisch, deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja, zusätzlicher Passwort-Schutz für Mess- und Methodeneinstellungen möglich
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja,
  - > Methodenentwicklung: Suchbibliotheken, spektrale Auflösung, Zahl zu akkumulierender Spektren, Mindestgüte für anzuzeigende Treffer
- Spektrenbibliotheken:
  - > Umfang: BT-Auswahl nutzer- und versionsspezifisch
  - > Standardbibliotheken für Gefahrenabwehr (modulare Struktur; Spektren-Gesamtzahl einschließlich Wiederholungen)
    - HazMatID 360: (aktueller Stand): 10.000
    - HazMatID: 4.500
  - > Größter nutzbarer Bibliotheksumfang (mit Aufpreis): 35.000
- Gefahrstoff-Bibliothek:
  - > CAS-Angaben: zu identifizierten Einzelstoffen
  - > Stoffumfang NIOSH-Pocket Guide mit Internal Chemical Safety Cards – ICSC – mit Gefahrendiamant
    - HazMatID 360: einige Tausend
    - HazMatID (alte Softwareversion): 100
  - > Sprache (Gefahrstoffdatenbank): Englisch
  - > Informationstiefe: hoch
- Einbindung weiterer Bibliotheken: ja
  - > Erläuterung: mit externer Spektroskopie-Software/externen Spektrenbibliotheken
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

- > Erläuterung: Man kann eigene Spektren aufnehmen, die in einer separaten Bibliothek (User-BT) abgelegt und in die Suche eingebunden werden können

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Musterprobe): ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unzureichender/befriedigender Signalqualität: nein
- Warnhinweis bei fehlender Spektrenübereinstimmung: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: ja
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: indirekt, durch Nichtbeenden des automatischen Selbsttests
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: ja,
  - > HazmatID 360: zusätzlich bei Identifizierung: Warnung vor hoher Toxizität, Brand- und Explosionsgefahr sowie Reaktionsgefahr mit Graduierung zwischen 0 und 4 entsprechend Gefahrendiamant-Nomenklatur (NFPA Hazard Diamond)
  - > HazMatID: Bio-Warnung bei Vorliegen von Absorptionen in relevanten Spektralbereichen (hohe Querempfindlichkeit)

### Eigenschaften externer Software

Spektreninterpretationssoftware	x
Kosten, netto (inkl. größerer Datenbank)	ab 16.000 €
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektreninterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/ Verunreinigungen)	x
Spektren- und Gefahrstoffbibliothek	x

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
<b>Remote-Software</b>	x
<b>Datenübertragung</b> (WLAN, beim HazMatID 360 optional über Bluetooth)	x
Scans bzw. Läufe im Report-, Reach-Back- und Spektroskopieformat vom Gerät auf internen/externe Speicher ladbar sowie über RF-Modul an Command-Rechner mit entsprechender Software übermittelbar	x
<b>Reach-Back-Service</b>	x
Kosten	~ 1.600 €/a
Buchung notwendig	x
Antwortzeit	1 h bis 1 Tag (Zeitverschiebung zu den USA beachten)
Sprache	Englisch

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja
  - > Große Touchscreen-Felder: ja, Touchscreen mit Stift
  - > Akustischer Alarm: nein
  - > Optischer Alarm: ja
- Verdeckter Einsatz: nein

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Zündgefahren: ja
  - > Erläuterung: Zündgefahren bestehen nur für sehr wenige sog. hochenergetische Feststoffe (Sprengstoffe mit dem Charakter von Initialsprengstoffen, wie z. B. Bleiazid, TATP u. Ä.), die bereits durch Erwärmung (< 60 °C) oder Druck (Andruckstempel bei Pulveruntersuchungen) zur Zersetzung gelangen



- > Sicherheitsanforderungen bei Verdacht auf derartige Feststoffe:  
kleinste Menge, sicherer Abstand, Schutzkleidung (mind. Augen- und Handschutz), empfehlenswert im Verdachtsfall: vorherige Brennprobe (kleinste Menge)

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Reinstoffe und (Gemische)
  - > Identifizierungsgrenze (IG):  
Abhängig von:
    - der IR-Aktivität des nachzuweisenden Stoffes,
    - gerätetechnische Faktoren,
    - Software.
    - Die IG ist durch Optimierung der äußeren Messbedingungen vom Nutzer beeinflussbar (z. B. Mörsern fester Proben und Nutzung des Andruckstempels).
- Selektivität:  
Die Nachweisbarkeit von Stoffen in Gemischen bzw. neben Störstoffen, Verunreinigungen, Lösungsmitteln u. Ä. ist abhängig von:
  - > der Identifizierungsgrenze der Einzelstoffe (hohe und charakteristische Absorptionen),
  - > einer möglichst geringen Überlagerung der Absorptionsbanden von Ziel- und Störstoff(en),
  - > der Konzentration.
- Querempfindlichkeit:  
Aufgrund der erhöhten Querempfindlichkeit beschränken sich die implementierten Spektrenbibliotheken auf wichtige, häufig transportierte, besonders gefährliche bzw. zu überwachende Stoffe und Zubereitungen.
- Aggregatzustände:
  - > Fest
  - > Flüssig
  - > Pastös

### Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Spektrale Auflösung:  $4 \text{ cm}^{-1}$
- Spektralbereich:  $4000 \text{ bis } 650 \text{ cm}^{-1}$
- Scanrate: nicht bekannt
- Messvorgang:

- > Probenscan – das Gerät nimmt eine konstante Zahl an Spektren auf und mittelt hierüber (Akkumulation). Die Messzeit ist entsprechend gleichbleibend.
- > Bibliotheksscan – die Anzahl akkumulierter Spektren ist zur Erzielung rauschfreier Spektren deutlich erhöht. Die Spektren-Aufnahmezeit für Stoffe mittlerer IR-Aktivität beträgt daher einige Minuten.
- Probeninterface: ATR-Kristall (breitstrahlig)
- Formen der Messung (angepasst an den Probencharakter):
  - > Auf ATR-Probentisch:
    - offen – wenig flüchtige Flüssigkeiten – als Tropfen auf dem ATR-Kristall
    - abgedeckt – flüchtige Flüssigkeiten auf dem Probenteller mit Verdunstungsschutz abdecken (z. B. Uhrgläschen)
    - Feststoffe – gemörsert in trichterförmigen Verdichter auf Probentisch geben und mit Andruckstempel verdichten und andrücken
- IR-Quellentyp: Keramikkörper (Glühwendel-Heizung)

### **Sonstige Leistungsmerkmale**

- Messung verschiedener Stoffe unter Laborbedingungen:
  - > Organische Stoffe
  - > Anorganische Stoffe
  - > Weiße Pulver/Biologisches Material
  - > Wässrige Lösungen/Technische Produkte
  - > Mischungen organischer Stoffe (Ethanol/Wasser)
- Messbedingungen am Gerät:
  - > Einzelstoff- bzw. Gemischalgorithmus (siehe Legende)
  - > Andruckstempel bei Feststoffen
- Gerätespezifikation:
  - > HazMatID 360 (FTIR-Spektrometer)
  - > Messungen: März 2017; Gerätekonfiguration aus 2010; Lampenenergie ca. 21.000; Reinstoffe mit Einzelstoffalgorithmus gemessen; Wertung als Treffer ab Korrelation von > 0,95

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein-deutig	Trefferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>						
Aceton	x					0,968
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x					0,97
Benzol	x					0,985
Chloroform	x					0,969
Diesel			x			Kerosin (0,994), Mineralöl (0,988), leichtes Mineralöl (0,988), Nonan (0,956), Petroleum (0,955)
Diethylether	x					0,824
Ephedrin-Hydrochlorid					x	
Essigsäureanhydrid	x					0,984
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					0,965
Methanol	x					0,964
Phenylacetone (1-Phenyl-2-propanon)	x					0,963
Phenyllessigsäure	x					0,978
Piperidin					x	Oleylamin (0,444)
Piperonal	x					Piperonal
Siedegrenzenbenzol 70/110			x			Kerosin (0,980), ... n-Heptan, Naphtha (LDF), Heptan, leichtes Mineralöl, ...
Toluol	x					0,975
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	x					0,991
Kaliumchlorat	x					Kaliumchlorat (0,996), Natriumchlorat (0,937)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein-deutig	Trefferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Kaliumnitrat	x					Kaliumnitrat (0,993), Natriumnitrat (0,823)
Kaliumpermanganat				x		Kaliumchromat (0,987), Kaliumpermanganat (0,913)
Natriumhydroxid					x	
Natriumnitrat	x					Natriumnitrat (0,996), Kaliumnitrat (0,919)
Natriumperchlorat *1 H2O					(x)	Calciumphosphat (0,47), Cobaltperchlorat x 6 H <sub>2</sub> O (0,43), Bariumperchlorat (0,427)
<b>Weißer Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis-Zubereitung (gefriergetrocknet, 54 M % biologischer Anteil)					x	Biowarning; Trefferliste mit NaSi-Aluminat, Aluminiumphosphat
Filterpapier (Cellulose)	x					Cellulose (0,974)
Mehl (Weizen)		x				Weizen-Cerealien (0,991), gebleichtes Mehl (0,988), Kornstärke (0,966), Reis-Cerealien (0,966), Stärke (0,96)
Stärke (Weizen)			x			Dextrin – ein Trisaccharid, typisch als Spaltprodukt von Stärke (0,480), Glycogen - wie Stärke ein Polysaccharid (0,927), Reis-Cerealien (0,898)
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig					(x)	Wasser (0,90)
Salzsäure, 37%ig	(x)					Salzsäure, konz. (0,856)
Salzsäure, 30%ig					(x)	Wasser (0,86)
Salzsäure, 15%ig					(x)	Wasser (0,85)
Salpetersäure, 65%ig	x					Salpetersäure (0,952)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein-deutig	Trefferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Salpetersäure, 33%ig					x	Salzsäure 28%ig (0,553)
Salpetersäure, 22%ig					x	Kein Treffer
Salpetersäure, 11%ig					(x)	Wasser (0,913)
Schwefelsäure, 95%ig					x	Sand (0,608), diverse Alumo-silikate (< 0,6)
Schwefelsäure, 48%ig					x	Kein Treffer
Schwefelsäure, 24%ig					x	Chromsulfat (0,549), Magnesiumsilikat (0,477), Bleisulfat (0,448),
Schwefelsäure, 12%ig					(x)	Wasser (0,91)
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser (0,95)
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen (Vol.-%)</b>						
20%ig				x		Wasser (0,998)
30%ig				x		Wasser (0,982)
40%ig				x		Wasser (0,959)
50%ig	(x)					Ethanol (0,924)
60%ig	(x)					Ethanol (0,873)
<b>Nachmessungen mit Gemischalgorithmus</b>						
<b>Mischungen org. Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen**</b>						
20%ig				x		Ethanol nicht gefunden/ Wasser (0,994)
30%ig	(x)					Ethanol (0,747)/Wasser (0,981)
40%ig	(x)					Ethanol (0,803)/Wasser (0,960)
50%ig	(x)					Ethanol (0,827)/Wasser 0,917)
60%ig	(x)					Ethanol (0,874)/Wasser (0,861)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein-deutig	Trefferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Weitere Auswahl**</b>						
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser (0,90)
Ammoniak-Wasser, 25%ig				x		Wasser (0,90)
Salzsäure, 37%ig	(x)					Salzsäure 27,9 % (0,85)
Salzsäure, 30%ig				(x)		Wasser (0,859)/ Natriumsulfat (0,322) ff.
Schwefelsäure, 48%ig				(x)		Perchlorathexahydrat (0,332) ff.

**Legende:**

\*\* – Ergebnisse der Nachmessung ausgewählter Lösungen bzw. Verdünnungen mit Gemischalgorithmus

x – zutreffend

(x) – zutreffend, jedoch falsche Konzentration

kursiv – bei Einzelstoffalgorithmus nicht als belastbares Ergebnis zu werten, da Korrelation < 0,95

**Datenmanagement****Datenaufnahme**

Eigenschaften		Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	Ca. 3 Min.	Inkl. äußere Reinigung
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektren bei Messstart	x	

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	–	Wie groß
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	–	
Signaturen	–	Uhrzeit, Datum
Art der Schnittstellen	x	USB-Stick sowie WLAN- (100 m) bzw. Bluetooth-Modul (1 km) für Datenaustausch und Fernzugriff; LAN-Schnittstelle; Tastatur/Maus über PS/2; Stromanschluss

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe als Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte durch Korrelationswert oder anderer Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: ja (relativ/absolut)
- Spektrenauswertelogik vorhanden: ja
- Anmerkung: Der Anwender kann zwischen Einzelstoff- und Gemischerkennungsmodus wählen, wobei sich im ersten Schuss bei unbekannter Probe grundsätzlich der Einzelstoff-Suchalgorithmus empfiehlt.
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
- Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
  - > Darstellung von Proben- und Bibliotheksspektrum zur visuellen Prüfung der Übereinstimmung – unterstützt durch:
    - Zoom- bzw. Skalierungsfunktionen
    - Überlagern mit Spektrum eines Verdachtsstoffes („Textsuche“) und/oder eines anderen Laufes bzw. einer Probe
    - Abgleich der Stoffdaten der Gefahrstoffdatenbank mit dem Probencharakter
    - Charakterisierung einer unbekanntenen Probe über die Zuordnung ihrer Absorptionsbanden zu ausgewählten chemischen Stoffklassen („Gruppieren“)

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*4</sup>

Dauer [h]	X	Bemerkungen
< 4	X	Bereits nach einer Kurzeinweisung von wenigen Minuten sind die zur Datenaufnahme wesentlichen Funktionen nutzbar.
< 8		Für die Ausschöpfung der messtechnischen Möglichkeiten (Optimierung der Messbedingungen, Anpassung an Probe) einschließlich visuellen Spektrenabgleichs sowie Auslesen der Anzeigen und Datenbanken sind 4 Stunden
> 8		Erstausbildung durch eine versierte Kraft ausreichend.

\*4 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten



<b>Messverfahren:</b>	<b>ATR-FT-IR-Spektroskopie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>HazMatID Elite, handgeführt</b>
<b>Firma:</b>	<b>Smiths Detection, UK</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TIC, CWA, Drogen, Explosivstoffe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	~ 49.000	Messgerät, Betriebssoftware, Command-Software, Spektrenbibliotheken, RF-Modul, Netzteil, Fahrzeugnetzteil/Ladegerät, Ersatzakku, Adapter (Einwegbatterie-kompatibel), Prüfkörper, SD-Kartenleser, Pipetten, Mikrospatel, Alkohol-Pads
Sonderzubehör	~ 20.000 bis 25.000	Command-Laptop mit RF-Modul zur Überwachung und Fernsteuerung; externe Software, größere Datenbanken
Garantieverlängerung	~ 4.000/a	ja
Wartung (Hersteller)	~ 5–10 % <sup>*1</sup>	Nach > 3 Jahren (nutzungsabhängig)
Einweisung von Wartungspersonal durch Hersteller	–	Nicht erforderlich
Gerätepflege (Benutzer)	Gering	Spülmittel, Zellstoff, Alkohol-Pads
Software-Update	~ 2.400	Inkl. Datenbank-Update
Kalibrierung	Inkl.	Nur im Rahmen von Reparaturen bzw. Wartungen
Entsorgung	Gering	Elektronikschrott

\* 1-%-Angaben beziehen sich auf Netto-Anschaffungskosten

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht (nur Messgerät): 2,29 kg
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: ja  
Erläuterung: Zur Nachauswertung ist das Senden der Messdatei an den externen Command-Laptop erforderlich. Der externe Laptop ist auch für Methoden-erstellung und Datenbank-Änderungen notwendig

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	-
Netzteil	x	-
Li-Batterien	x	-
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h*2
Akku extern aufladbar	x	-
Ersatzakku	x	-

\*2 Herstellerangaben

### Klimatische Einflüsse auf die Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Starke Temperaturschwankungen zwischen Lagerung und Betrieb des Gerätes, können zu Unterschieden von mehreren Minuten in der Messbereitschaft führen. Erfahrungsgemäß ist das Gerät in 1 bis 3 Minuten einsatzbereit.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja (für Servicezwecke)
  - > Zugänglich (Benutzer): nein

### Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: bis 1 m Wassertiefe (nach US MIL-STD-810G)
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

## Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Transportschock (im Transportbehälter):  
1,2 m auf Sperrholz/Beton, 26 Mal (US MIL-STD-810G)
  - > Mechanischer Schock (Messgerät):  
bis 40 g in 11 ms (US MIL-STD-810G)

## Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (in Betrieb):  
bei  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  und 0 bis 100 % rel. Feuchtigkeit bzw.  
 $-20\text{ °C}$  (1 Tag) bzw.  $+35\text{ °C}$  (3 Tage) nach US MIL-STD-810G
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung):  
bei  $-20\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$  und 0 bis 100 % rel. Feuchtigkeit bzw.  
 $-30\text{ °C}$  (1 Tag) bzw.  $+60\text{ °C}$  (7 Tage) bei 95 % rel. Luftfeuchte über  $5 * 2$  Tage (nach US MIL-STD-810G)
- Thermischer Schock:  $-30\text{ °C}$  bis  $+60\text{ °C}$  in  $< 1$  min (US MIL-STD-810G)
- Schutzart: IP67 (6: staubdicht sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 7: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: nach Start (on/off) selbst hochfahrend, mit Display-gestützter Menüführung, intuitiv/logisch, deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: über externen Command-Laptop möglich
  - > Methodenentwicklung: Suchbibliotheken, spektrale Auflösung, Zahl zu akkumulierender Spektren, Mindestgüte für anzuzeigende Treffer
- Spektrenbibliotheken:
  - > Umfang: BT-Auswahl nutzer- und versionsspezifisch
    - Standard-Bibliotheken für Gefahrenabwehr: ca. 10.000
  - > Größter nutzbarer BT-Umfang (mit Laptop und Smiths Standardsoftware, Spektrenbibliothek gegen Aufpreis): ca. 35.000 €
- Gefahrstoffbibliothek:
  - > CAS-Angabe: zu identifizierten Einzelstoffen
  - > Gefahrstoff-DB (NIOSH-Pocket Guide mit Internal Chemical Safety Cards (ICSC) – mit Gefahrendiamant: einige Tausend

- > Sprache (Gefahrstoffdatenbank): Englisch
- > Informationstiefe: hoch
- Einbindung weiterer Bibliotheken: ja
  - > Erläuterung: mit externer Spektroskopie-Software/externen Spektrenbibliotheken
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja, nach Export in Command-Software des Command-Laptops

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests
- bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Musterprobe): ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unzureichender/befriedigender Signalqualität: ja
- Warnhinweis bei fehlender Spektren-Übereinstimmung: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: ja
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: indirekt, durch Nichtbeenden des automatischen Selbsttests
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: ja, zweistufig:
  - > Bereits vor der tiefgründigen Bibliothekssuche liefert die Spektreninterpretations-Software Warnungen:
    - („Priority Alert“) bei möglichem Vorliegen von CWA, Explosivstoffen, Drogen/BTM, biologischem Material und sonstiger chemischer Gefahren, wie leichte Entzündbarkeit, Giftigkeit u. a. – und dies meist sogar unter Angabe des/von Stoffes/en. Ergänzend werden entsprechende Gefahrensymbole dargestellt. Zusätzlich wichtet eine 5-stufige Balkenanzeige die Gefährlichkeit.  
Achtung: Da der für den Priority Alert genutzte Suchalgorithmus vergleichsweise einfach ist, ergeben sich bei schlechterer Spektrenübereinstimmung verstärkt falsch positive Gefahren- und Stoffhinweise.
  - > Für den Erhalt der Ergebnisse der Spektreninterpretation ist ein erneuter Tastendruck erforderlich:
    - Diese eigentliche Spektren-Interpretation („full library search“) arbeitet mit einem komplexen Gemischerkennungs-Algorithmus. Sie liefert im Falle der Stoff- bzw. Gemisch-Identifizierung neben dem/n Stoffnamen des/r identifizierten Stoffe/s und der CAS-Nummer Hinweise auf die Teilbibliothek in der die Substanz enthalten ist (z. B. Drogen, Gefahrstoffe) sowie ggf. Risikoinformationen, wie industrielle Nutzung, giftig, leicht entzündbar, Protein u. Ä. Im Falle einer Gemischidentifizierung werden darüber hinaus die Anteile der Einzelstoffe am Gesamtspektrum durch eine 5-segmentige Kreisscheibe dargestellt.

## Eigenschaften externer Software

<b>Spektrinterpretationssoftware</b>	x
Kosten, netto (inkl. größerer Datenbank)	ab 16.000 €
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/Verunreinigungen)	x
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Sichern der Messdaten	x
deutschsprachige Menüführung	-
<b>Intuitive Bedienstruktur</b>	-
<b>Remote-Software</b>	x
Datenübertragung (RF-Modul)	x
Scans bzw. Läufe im Spektroskopie-Format vom Gerät auf Command-Laptop ladbar mit Auswertesoftware ladbar	x
<b>Reach-Back-Service</b>	x
Kosten	~ 1.600 €/a
Buchung notwendig	x
Antwortzeit	1 h bis 1 Tag (Zeitverschiebung zu den USA beachten)
Sprache	Englisch

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja, mit Unterstützung bei der Tastenwahl über das Display, in Form von Piktogrammen und Text
  - > Akustischer Alarm: nein
  - > Optischer Alarm: ja
- Verdeckter Einsatz: nein

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Zündgefahren: ja
  - > Erläuterung: Zündgefahren bestehen nur für sehr wenige sog. hochenergetische Feststoffe (Sprengstoffe mit dem Charakter von Initialsprengstoffen, wie z. B. Bleiazid, TATP u. Ä.), die bereits durch Erwärmung (< 60 °C) oder Druck (Andruckstempel bei Pulveruntersuchungen) zur Zersetzung gelangen
  - > Sicherheitsanforderungen bei Verdacht auf derartige Feststoffe: kleinste Menge, sicherer Abstand, Schutzkleidung (mind. Augen- und Handschutz), empfehlenswert im Verdachtsfall: vorherige Brennpote (kleinste Menge)

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Reinstoffe und (Gemische)
  - > Identifizierungsgrenze (IG):  
Abhängig von:
    - der IR-Aktivität des nachzuweisenden Stoffes,
    - gerätetechnische Faktoren,
    - Software.
    - Die IG ist durch Optimierung der äußeren Messbedingungen vom Nutzer beeinflussbar (z. B. Mörsern fester Proben und Nutzung des Andruckstempels)
- Selektivität:  
Die Nachweisbarkeit von Stoffen in Gemischen bzw. neben Störstoffen, Verunreinigungen, Lösungsmitteln u. Ä. ist abhängig von:
  - > der Identifizierungsgrenze der Einzelstoffe (hohe und charakteristische Absorptionen),
  - > einer möglichst geringen Überlagerung der Absorptionsbanden von Ziel- und Störstoff(en),

- > der Konzentration.
- Querempfindlichkeit:  
Aufgrund der erhöhten Querempfindlichkeit beschränken sich die implementierten Spektrenbibliotheken auf wichtige, häufig transportierte, besonders gefährliche bzw. zu überwachende Stoffe und Zubereitungen.
- Aggregatzustände:
  - > Fest
  - > Flüssig
  - > Pastös

### **Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale**

- Spektrale Auflösung:  $4 \text{ cm}^{-1}$
- Spektralbereich:  $4000\text{--}650 \text{ cm}^{-1}$
- Scan-Rate: nicht bekannt
- Messvorgang:
  - > Probenscan – Aufnahme konstanter Zahl an Spektren und mittelt darüber (Akkumulation). Die Messzeit ist entsprechend gleichbleibend.
  - > Bibliotheksscan – Die Anzahl akkumulierter Spektren ist zur Erzielung rauschfreier Spektren deutlich erhöht.  
Achtung: Wird von der Gerätesoftware des Elite nicht unterstützt. Jedoch können aufgenommene Standard-Probenspektren nach Export zum Command-Laptop in einer User-Bibliothek gespeichert und in die Suchmethode eingebunden werden.
- Probeninterface:
  - > Diamant-ATR-Sensor mit integrierter Feststoffpressvorrichtung und Flüssigkeitsmulde
  - > Zweiter Touch-to-Sample-Diamant-ATR-Sensor für direkte Probenaufnahme
- Formen der Messung (angepasst an Probencharakter und -bedingungen):
  - > Auf ATR-Probentisch:
    - Offen – wenig flüchtige Flüssigkeiten – als Tropfen auf dem ATR-Kristall
    - Abgedeckt – flüchtige Flüssigkeiten auf dem Probentisch mit Verdunstungsschutz abdecken (z. B. Uhrgläschen)
    - Feststoffe – möglichst fein gemörsert auf Probentisch geben und mit Andruckstempel verdichten und andrücken
  - > Mit Touch-to-sample-Interface: durch Eintauchen oder Aufsetzen auf die Probe  
Achtung: Messung wird bei ausreichender Signalqualität automatisch gestartet. Das Vorgehen ist entsprechend fehlerträchtig sowie bei Feststoffen auch analytisch weniger leistungsfähig.
- IR-Quellentyp: Quarz-Halogen-Lampe

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Messung verschiedener Stoffe unter Laborbedingungen:
  - > Organische Stoffe
  - > Anorganische Stoffe
  - > Weiße Pulver/Biologisches Material
  - > Wässrige Lösungen/Technische Produkte
  - > Mischungen organischer Stoffe (Ethanol/Wasser)
- Messbedingungen am Gerät:
  - > Ausschließlich Gemischalgorithmus
  - > Andruckstempel bei Feststoffen
- Gerätspezifikation:
  - > HazMatID Elite (FTIR-Spektrometer)
  - > Messungen: 2017, Gerätekonfiguration aus 2013, Lampenenergie:

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>						
Aceton	x					
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x					
Benzol	x					
Chloroform	x					
Diesel			x			Kerosin
Diethylether				x		Gemisch: 4/5 Diethylether, 1/5 3-Ethoxypropylamin, 0/5 3-Ethoxy-1-propanon u. a. Varianten
Ephedrin-Hydrochlorid				x		Gemisch: 1/5 Dimethyla- min*HCl, 1/5 sec. Butylamin, 0/5 Diisobutylamin*HCl u. a. Varianten
Essigsäureanhydrid	x					
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					
Methanol	x					
Phenylacetone	x					



Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Phenyllessigsäure	x					
Piperidin				x		Gemisch: 3-Methylpiperidin, 1,2,3,4-Tetrahydroisoquinolin, Tridecylamin
Piperonal	x					
Siedegrenzenbenzin 70/110			x			n-Heptan
Toluol	x					
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	x					
Kaliumchlorat	x					
Kaliumnitrat	x					
Kaliumpermanganat	x					
Natriumhydroxid					x	
Natriumnitrat	x					
Natriumperchlorat* <sup>1</sup> H <sub>2</sub> O				x		Gemisch: 3/5 Kaliumsulfat/ 2/5 Kobaltchlorat*6 H <sub>2</sub> O
<b>Weißes Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis- Zubereitung (gefrier- getrocknet, 54 M % biologischer Anteil)				x		Biowarnung; Gemisch: 3/5 Aluminiumphosphat, 1/5 2,4-Dimethylpiperidin, 1/5 Hexachlordisiloxan
Filterpapier (Cellulose)	x					
Mehl (Weizen)			x			Weizen-Cerealien
Stärke (Weizen)			x			Dextrin
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig				x		Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 3-Methoxy-3-methylbuta- nol, 1/5 Hexachlordisiloxan

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Salzsäure, 37%ig			(x)			Gemisch: 3/5 27,9%ige HCl, 1/5 3-Phenylpropylamin, 0/5 Ammoniumdichromat
Salzsäure, 30%ig			(x)			Gemisch: 3/5 27,9%ige HCl, 2/5 Wasser
Salzsäure, 15%ig				x		Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Natriummetabisulfit
Salpetersäure, 65%ig	x					Salpetersäure
Salpetersäure, 33%ig				x		Gemisch: 2/5 Ammoniumjodid, 1/5 Phosphoroxchlorid, 1/5 2-(Diethylamino)ethylmethacrylat
Salpetersäure, 22%ig				x		Gemisch: 3/5 Wasser, 1/5 Ammoniumjodid, 1/5 Formamid
Salpetersäure, 11%ig				x		Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 Kaliumnitrat, 0/5 Phosphoroxchlorid
Schwefelsäure, 95%ig				x		Gemisch: 2/5 6-Bromnicotinsäure, 1/5 4-(Hydroxyamino)quinolin, 1/5 4-Brompyridin
Schwefelsäure, 48%ig					x	Kein Treffer
Schwefelsäure, 24%ig				x		Chromsulfat u. v. a. Varianten
Schwefelsäure, 12%ig				x		Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 PTFE
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen (Vol.-%)</b>						
20%ig	(x)					Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 Ethanol
30%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol
40%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol, 0/5 Cyanursäure
50%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol, 0/5 Methanol u. a. Varianten

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
60%ig	(x)					Gemisch: 3/5 Wasser, 2/5 Ethanol, 0/5 3,5-Dibrom-4-pyridazolin-2-oxid u. a. Varianten

**Legende:**

\*\* – Trefferliste ohne Angaben zum Grad der Übereinstimmung (optional externe Nachinterpretation mit HazMatID-Gesamtsoftware)

x – zutreffend

(x) – zutreffend, jedoch falsche Konzentration

P – Listenplatz in Trefferliste

**Datenmanagement****Datenaufnahme**

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	–
Probenwiederholfrequenz	2–3 Min.	Inkl. äußere Reinigung
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	–
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektren bei Messstart	x	–

**Datensicherung/Datenlogger**

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	–
Hohe Speicherkapazität	–	Jedoch externe Datenspeicherung möglich
Überschreibung der ältesten Mess- werte bei vollem Speicher	–	–
Signaturen	x	Uhrzeit, Datum
Art der Schnittstellen	x	USB-Stick sowie RF-Modul für Datenaustausch und Fernzugriff (1 km bei direkter Sicht); Stromanschluss

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe als Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte durch Korrelationswert oder anderen Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste:
  - > Im Elite: nein
  - > Nach Export auf Command-Laptop: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode:
  - > Im Elite: ja
  - > Nach Export auf Command-Laptop: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: ja
- Spektrenauswertelogik vorhanden: ja
 

Anmerkung: Das Elite verfügt als einfaches Vor-Ort-System nur über einen Gemischerkennungssuchalgorithmus. Nach Export der Daten zum optionalen Command-Laptop und Reprozessierung der Läufe sind die Messfiles mit dem Einzelstoffsuchalgorithmus auswertbar.

  - > Einzelstoff-Auswertung: nachträglich, ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: nachträglich, ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: nachträglich, ja
    - Darstellung von Proben- und Bibliotheksspektrum zur visuellen Prüfung der Übereinstimmung: ja

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*3</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bereits nach einer Kurzeinweisung von wenigen Minuten sind die zur Datenaufnahme wesentlichen Funktionen nutzbar.
< 8		Für die Ausschöpfung der messtechnischen Möglichkeiten (Optimierung der Messbedingungen, Anpassung an Probe) einschließlich visuellen Spektrenabgleichs sowie Auslesen der Anzeigen und Datenbanken sind 4 Stunden Erstausbildung durch eine versierte Kraft ausreichend.
> 8		

\*3 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>ATR-FT-IR-Spektroskopie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>TruDefender FTX und FTXi*<sup>1</sup>, handgeführt</b>
<b>Firma:</b>	<b>Thermo Fisher Scientific Inc., USA</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TIC, CWA, Drogen, Explosivstoffe</b>

\*1 WLAN-fähig

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	~ 40.500 bis 57.000	Messgerät, Betriebssoftware, Spektrenbibliotheken, Netzteil, Ersatzakku, Prüfkörper, SD-Kartenleser, Pipetten, Mikrospatel, Alkohol-Pads
Sonstiges Zubehör	~ 16.000	Externe Spektroskopie-Software, größere Datenbanken; WLAN-Fähigkeit zur Reportübertragung (FTXi)
Garantieverlängerung	~ 2.000/a	Ja
Wartung (Hersteller)	~ 5–10 %* <sup>2</sup>	Nach > 6 Jahren (nutzungsabhängig)
Einweisung von Wartungspersonal (Hersteller)	–	Nicht erforderlich
Gerätepflege (Benutzer)	Gering	Spülmittel, Zellstoff, Alkohol-Pads
Software-Update	~ 2.000	Inkl. Datenbank-Update
Kalibrierung	Inkl.	nur im Rahmen von Reparaturen bzw. Wartungen
Entsorgung	Gering	Elektronikschrott

\*2 %-Angaben beziehen sich auf Netto-Anschaffungskosten

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 1,41 kg (FTX)
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung: nein

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien	x	
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h (bei 25 °C)*3
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

\*3 Herstellerangaben

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

Starke Temperaturschwankungen zwischen Lagerung und Betrieb des Gerätes, können zu Unterschieden von mehreren Minuten in der Messbereitschaft führen. Erfahrungsgemäß ist das Gerät in 2 Minuten einsatzbereit.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja (für Servicezwecke)
  - > Zugänglich (Benutzer): nein

## Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: bis 1 m Wassertiefe (nach US MIL-STD-810G)
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja
  - > Transportschock (im Transportbehälter):  
1,2 m auf Sperrholz/Beton, 26 Mal (US MIL-STD-810G)
  - > Mechanischer Schock (Messgerät):  
bis 40 g in 11 ms (US MIL-STD-810G)

## Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (in Betrieb):  
–20 °C (1 Tag) bzw. +35 °C (3 Tage) nach US MIL-STD-810G
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung):  
–30 °C (1 Tag) bzw. +60 °C (7 Tage) nach US MIL-STD-810G;  
bei 60 °C und 95 % rel. Luftfeuchte über 5 \* 2 Tage
- Thermischer Schock: –30 °C bis +60 °C in < 1 min (US MIL-STD-810G)
- Schutzart IP67 (6: staubdicht sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 7: Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware:
  - > Intuitiv/logisch; wenige Tasten mit klarer Funktion (mit aus der PC-Technik entlehnten Piktogrammen bzw. im Display darüber angezeigten Funktionen); deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: nein
- Spektren- und Gefahrstoffbibliothek:
  - > Umfang: 11.000
  - > Sprache: Deutsch
  - > Informationstiefe: hoch
- Einbindung weiterer Bibliotheken: ja
  - > Erläuterung: Datenexport im Rohdatenformat erlaubt, Auswertung mit externer Spektroskopie-Software mit anderen Auswerteoptionen sowie Nutzung größerer Spektrenbibliotheken
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
  - > Erläuterung: Man kann eigene Spektren aufnehmen, die auf einem separaten Speicher abgelegt werden, jedoch integraler Bestandteil der Suchalgorithmen und Bibliothekdokumentation (mit Kennzeichnung User) werden.

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei Nichtbestehen des erweiterten Selbsttests (mit Musterprobe): ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unzureichender/befriedigender Signalqualität: ja

- Warnhinweis bei fehlender Spektren-Übereinstimmung: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: ja
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: indirekt, durch Nichtbeenden des automatischen Selbsttests
- Warnhinweis bei möglichem Vorliegen besonderer Gefahren: ja, jedoch nur im Sinne einer Gefahrendiamant-Anzeige bzw. Gefahrstoff-Datenbank-Angebot, d. h. bei Identifizierung

## Eigenschaften externer Software

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Kosten, brutto (inkl. größerer Datenbank)	ab 15.000 €
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Unterstützung bei der Spektreninterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/ Verunreinigungen)	x
Spektren- und Gefahrstoffbibliothek	x
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	-
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	-
<b>Remote-Software</b>	-
<b>Datenübertragung</b> (bei Version FTXi über WLAN-Modul E-Mail/SMS sendbar)	x
Scans bzw. Läufe im Report-, Reach-Back- und Spektroskopieformat (spc-Datenformat) vom Gerät über WLAN als E-Mail oder SMS übermittelbar (zur Übernahme in marktübliche externe Auswerte-Software)	x
<b>Reach-Back-Service</b>	x
Kosten	4.000 €/a
Buchung notwendig	x



<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Antwortzeit	1 h bis 1 Tag (Zeitverschiebung zu den USA beachten)
Sprache	Englisch

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja.  
Die nachstehenden Testkriterien wurden unter Laborbedingungen (ohne CSA) und anschließend unter „Realbedingungen“ (mit CSA) bewertet.

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	ohne CSA		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>1. Gewicht/Handlichkeit</b>				
1.1 Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	4	4	4	4
1.2 Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	4	5	5
<b>2. Zubehör</b>				
2.1 In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
2.2 Leicht zugänglich?	5	5	5	5
<b>3. Display/Ablesbarkeit</b>				
3.1 Schriftgröße?	5	4	4	4
3.2 Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
3.3 Helligkeit?	5	4	5	4
<b>4. Tastatur</b>				
4.1 Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	4	5	4
4.2 Tastengröße?	5	5	5	3
4.3 Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	5	4	4
<b>5. Sonstiges/Übergreifendes</b>				
5.1 Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	ohne CSA		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
5.2 Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	3	3
5.3 Probenaufgabe?	4	3	4	3
5.4 Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	4	4	2
5.5 Bedienung der Menüführung?	5	5	5	5
5.6 Erstausswertung unter CSA realistisch?	–	–	5	3
5.7 Akustische Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?	–	–	–	–
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme	73	67	73	64
Durchschnittswert		70		69
Mögliche Punkte		80		85
Anteil in %		88		81
Gesamtpunktzahl			139	
Mögliche Punkte			165	
Anteil in %			84	
Gesamturteil			gut	

> Grundsätze der Bewertungsmatrix:

Note	Punktzahl je Test	Gesamtpunktzahl	Erfüllung in %
Ungenügend	0–1	0–2	0–25
Genügend	2	3–4	26–45
Befriedigend	3	5–6	46–65
Gut	4	7–8	66–89
Sehr gut	5	9–10	90–100

> Anmerkung zu den rot markierten Ergebnissen:

Die Reinigung von Probesteller und -stempel unter CSA-Handschuhen gelingt nur geübten Personen schnell und effektiv. Ein verändertes Ergebnis

der folgenden Blindmessung könnte den Verbleib der vorherigen Probe am Probeteller bzw. -stempel signalisieren.

- Verdeckter Einsatz: nein

### **Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Zündgefahren: ja
  - > Erläuterung: Zündgefahren bestehen nur für sehr wenige sog. hochenergetische Feststoffe (Sprengstoffe mit dem Charakter von Initialsprengstoffen, wie z. B. Bleiazid, TATP u. Ä.), die bereits durch Erwärmung ( $< 60\text{ °C}$ ) oder Druck (Andruckstempel bei Pulveruntersuchungen) zur Zersetzung gelangen
  - > Sicherheitsanforderungen bei Verdacht auf derartige Feststoffe: kleinste Menge, sicherer Abstand, Schutzkleidung (mind. Augen- und Handschutz), empfehlenswert im Verdachtsfall: vorherige Brennprobe (kleinste Menge)

### **Messtechnische Leistungsfähigkeit**

#### **Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung: Reinstoffe und (Gemische)
  - > Identifizierungsgrenze (IG):  
Abhängig von:
    - der IR-Aktivität des nachzuweisenden Stoffes,
    - gerätetechnischer Faktoren,
    - Software.
- Selektivität:  
Die Nachweisbarkeit von Stoffen in Gemischen bzw. neben Störstoffen, Verunreinigungen, Lösungsmitteln u. Ä. ist abhängig von:
  - > der Identifizierungsgrenze der Einzelstoffe (hohe und charakteristische Absorptionen),
  - > einer möglichst geringen Überlagerung der Absorptions-Banden von Ziel- und Störstoff(en),
  - > der Konzentration.
- Querempfindlichkeit:  
Aufgrund der erhöhten Querempfindlichkeit beschränken sich die implementierten Spektrenbibliotheken auf wichtige, häufig transportierte, besonders gefährliche bzw. zu überwachende Stoffe und Zubereitungen.
- Aggregatzustände:
  - > Fest
  - > Flüssig
  - > Pastös

### Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Spektrale Auflösung:  $4 \text{ cm}^{-1}$
- Spektralbereich: 4.000 bis  $650 \text{ cm}^{-1}$
- Scan-Rate: 20 Spektren/Minute
- Messvorgang:
  - > Probenscan: automatisch – das Gerät versucht ein gutes Spektrum zu erzielen, d. h. ein ausreichendes Signal-Rausch-Verhältnis (SRV). Bei mittlerer IR-Aktivität der Probe reicht hierfür  $< 1 \text{ Min.}$  Mit sinkender IR-Aktivität wird die Zahl erforderlicher Spektrenaufnahmen automatisch angepasst. Nach 5 Minuten, was etwa 100 Spektrenaufnahmen entspricht, bricht das System die Messung ab. Falls bis dahin kein ausreichendes SRV erreicht wurde, wird kein Probenspektrum angezeigt und es erfolgt keine Identifizierung (vgl. manuelle Messung).
  - > Probenscan: manuell – ergänzend steht ein sog. manueller Messmodus zur Verfügung, bei dem wahlweise zwischen 1 und 100 Spiegelbewegungen bzw. Spektrenaufnahmen gemittelt wird. Der Messmodus erlaubt ein Spektrum bei Proben zu erhalten, die eine sehr lange Messzeit erfordern bzw. bei denen der automatische Messmodus, der auf ein zur Identifizierung hinreichendes Signal-Rausch-Verhältnis zielt, die Messung ohne Spektrenanzeige/Identifizierung abbrechen würde. Entsprechend sind Identifizierungen hier grundsätzlich nicht belastbar. Der Charakter der Proben lässt sich jedoch durch Überlagern mit Spektren vermuteter Stoffe, Bewertung der Bandenlage u. Ä. von Experten bewerten.
  - > Bibliotheksscan – Die Zahl der Spektrenakkumulationsdurchläufe ist im Unterschied zur automatischen Messung standardisiert bzw. fest. Die Messzeiten sind zur Erzielung hochwertiger Spektren sehr lang.
- Probeninterface: ATR-Kristall (doppelreflektierend)
- Formen der Messung:
  - > Auf ATR-Probentisch (angepasst an den Probencharakter):
    - Offen – wenig flüchtige Flüssigkeiten – als Tropfen auf dem ATR-Kristall
    - Abgedeckt – flüchtige Flüssigkeiten als Lache auf dem Probenteller, abgedeckt mit Verdunstungsschutz (und eingeführtem Stempel)
    - Feststoffe – gemörsert in trichterförmigen Verdichter auf Probentisch geben und mit Andruckstempel verdichten
- IR-Quellentyp: Quarz-Halogen-Lampen

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Messung verschiedener Stoffe unter Laborbedingungen:
  - > Organische Stoffe
  - > Anorganische Stoffe
  - > Weiße Pulver/Biologisches Material
  - > Wässrige Lösungen/Technische Produkte

- > Mischungen organischer Stoffe (Ethanol/Wasser)
- Messbedingungen am Gerät:
  - > Ausschließlich Gemischalgorithmus
  - > Andruckstempel bei Feststoffen
- Gerätespezifikation:
  - > TruDefender FTX (ATR-FTIR Spektrometer)
  - > Messungen 2017, Gerätekonfiguration 2016, Lampenenergie

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>						
Aceton	x					Grün
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x					Grün
Benzol	x					Grün
Chloroform	x					Grün
Diesel		x				Grün: 11 Ü. mit 6 Diesel/1.-4. P.
Diethylether	x					
Ephedrin-Hydrochlorid					x	Keine Ü., Molekülsignal zu schwach
Essigsäureanhydrid	x					Grün
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					Grün
Methanol	x					Grün
Phenylacetone	x					Grün
Phenylelessigsäure		(x)				Grün: Phenylelessigsäure, Phenylacetylchlorid
Piperidin	x					Grün
Piperonal	x					Grün
Siedegrenzenbenzin 70/110		x				Grün: 15 Ü. (Kerosin, Octan, 3-Methylheptan, 2-Methylheptan, Nonan, Diesel, Heptan, ...)/ 2.-4. P

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Toluol	x					Grün
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	(x)					Gelb
Kaliumchlorat	x					Grün: Kaliumchlorat, Natriumchlorat
Kaliumnitrat	x					Grün: Kaliumchlorat, Natriumchlorat
Kaliumpermanganat					x	Keine Übereinstimmung, obwohl in BT
Natriumhydroxid					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Natriumnitrat	x					Grün: Natriumnitrat, Lithiumnitrat
Natriumperchlorat <sup>*1</sup> H <sub>2</sub> O (x)						Gemisch: Natriumperchlorat (62 %) / Natriumperchlorat + H <sub>2</sub> O (4 %)
<b>Weißer Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis- Zubereitung (gefrier- getrocknet, 54 M % biologischer Anteil)					x	Keine Übereinstimmung
Filterpapier (Cellulose)	x					Grün
Mehl (Weizen)	x					Grün: Mehl, ungebleicht
Stärke (Weizen)		x				Grün: Weizenstärke, Dextrin aus Maisstärke, Babypuder, Maisstärke, ...
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig	x					Grün: Ammoniumhydroxid
Salzsäure, 37%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Salzsäure, 30%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
Salzsäure, 15%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Salpetersäure, 65%ig	x					Grün: Salpetersäure, rauchend/ Salpetersäure, 52 %ig, Salpeter- säure
Salpetersäure, 33%ig	x					Grün: Salpetersäure, 35 %ig
Salpetersäure, 22%ig	x					Grün: Salpetersäure, 18 %ig
Salpetersäure, 11%ig	(x)					Grün: Salpetersäure, 18 %ig
Schwefelsäure, 95%ig			(x)			Grün: Schwefelsäure, 50 %ig
Schwefelsäure, 48%ig			(x)			Grün: Schwefelsäure, 25 %ig
Schwefelsäure, 24%ig	x					Gelb: Schwefelsäure, 25 %ig
Schwefelsäure, 12%ig	x					Grün: Schwefelsäure, 10 %ig
Wasserstoffperoxid, 30%ig	(x)					Grün: Wasserstoffperoxid-Lsg.
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen</b>						
20%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (39 %), Wasser (53 %)
30%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (54 %), Wasser (36 %)
40%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (72 %), Wasser (18 %)
50%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (82 %), Wasser (11 %)
60%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (88 %), Wasser (5 %)

**Legende:**

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

Grün – Einzelstoff identifiziert, gute Übereinstimmung

Gelb – Übereinstimmung unsicher

Blau – Gemisch, gute Übereinstimmung

(x) – zutreffend, jedoch falsche Konzentration

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	ca. 2 Min.	Inkl. äußere Reinigung
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektren bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	
Signatur		Datum, Uhrzeit
Art der Schnittstellen	x	SD-Karten für Daten; Mini-USB für Service; FTXi hat zusätzlich WLAN-Modul für SMS/E-Mail/Reach-back-Meldung

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname bzw. Namensliste identifizierter Stoffe als Trefferliste: ja
- Angabe der Ergebnisgüte durch Korrelationswert oder anderer Ähnlichkeitsparameter innerhalb der Trefferliste: nein
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode (sichere/unsichere Identifizierung): ja
  - > Form: Mehrere Treffer in Reihenfolge der Übereinstimmung mit zusätzlicher Erläuterung
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
  - > Ursache: variable Spektrenakkumulation
- Spektrenauswertelogik vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: nein
  - > Restsuche manuell auslösbar: nein
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
    - Darstellung von Proben- und Bibliotheksspektrum zur visuellen Prüfung



der Übereinstimmung – unterstützt durch:

- Zoom- bzw. Skalierungsfunktionen
- Überlagern mit Spektrum eines Verdachtstoffes und/oder eines anderen Laufes bzw. einer Probe
- Abgleich der Stoffdaten der Gefahrstoffdatenbank mit dem Probencharakter

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener<sup>\*4</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bereits nach einer Kurzeinweisung von wenigen Minuten sind die zur Datenaufnahme wesentlichen Funktionen nutzbar.
< 8		Für die Ausschöpfung der messtechnischen Möglichkeiten (Optimierung der Messbedingungen, Anpassung an Probe) einschließlich visueller Spektrenableichs sowie Auslesen der Anzeigen und Datenbanken sind 4 Stunden
> 8		Erstausbildung durch eine versierte Kraft ausreichend.

\*4 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	<b>FTIR-Ferndetektion</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>SIGIS 2, mobil</b>
<b>Firma:</b>	<b>Bruker</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>TICs, CWAs, VOCs</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	270.000	Hard- und Softwarelösungen individuell auf Benutzer abstimbar
Sonderzubehör	7.600	Dauerüberwachung, CWA Bibliothek
Garantieverlängerung	8.300/a	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	20.000/a	Nach 1,5 Jahren
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal (Hersteller)	2.300	Optional
Gerätepflege (Benutzer)	-	Nicht notwendig
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Rücksprache mit dem Hersteller	Je nach Ausführung evtl. Sondermüll

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 65 kg
- Ausrüstung tragbar mit: 2 Personen
- Notwendige Zusatzausrüstung: ja
  - > Steuerrechner: 1 kg

## Stromversorgung

Möglichkeiten		Bemerkungen
Akku	x	Optional
Netzteil	x	< 2 kg, 110/230 V, < 100 W
Li-Batterien		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	> 4 h <sup>*1</sup>
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku		

\*1 Herstellerangaben

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben. Bei einer Temperatur von 26 °C und einer relativen Luftfeuchte von 45 % beträgt die Messbereitschaft 7 Minuten. Die Zeitan- gabe unterliegt Schwankungen, die von den Umgebungsbedingungen (T und rF) abhängig sind.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja (nach Einweisung)
  - > Warum: Serviceintervalle (Empfehlungen des Herstellers) einhalten

## Robustheit

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Aluminiumrollkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja, gefederter Alurahmen
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: ja
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: k. A.

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperaturbeständigkeit (Betrieb): 0 °C bis +49 °C (bis -20 °C, abhängig von Geräteausführung)
- Temperaturbeständigkeit (Lagerung): -30 °C bis +70 °C
- Feuchtebeständigkeit: k. A.

- Schutzart IP54 (5: geschützt gegen Staub in schädigender Menge, gegen Berührung sowie 4: gegen allseitiges Spritzwasser), optional IP64 mit Druckluftspülung, 6: staubdicht)

## Handhabung

### Eigenschaften externer Software

Das Gerät wird ausschließlich über PC und eine externe Software bedient.

<b>Spektrinterpretationssoftware</b>	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Trennung von Bedien- und Servicemenü	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/ Verunreinigungen)	x
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	x, > 400
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	-
<b>Remote-Software</b>	<b>x</b>
Kosten	920 €
Fernsteuerung	x
Art der Fernsteuerung	RJ45 (LAN)
Deutschsprachige Menüführung	x

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Sichern der Messdaten	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	–
<b>Reach-back-Service</b>	x
Kosten	Im Servicevertrag enthalten
Buchung notwendig	x
Antwortzeit	48 h
Sprache	Deutsch

### Warnhinweise

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja, Spektrum
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja, Wahrscheinlichkeitsanzeige
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: ja, automatisch falls notwendig

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: nicht notwendig, da Messungen aus Entfernung erfolgen
- Verdeckter Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm vorhanden: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
- Automatisierte Überwachung: ja (Netzbetrieb)
- Messung aus Bewegung: eingeschränkt
- Nachtsichtfähigkeit: ja

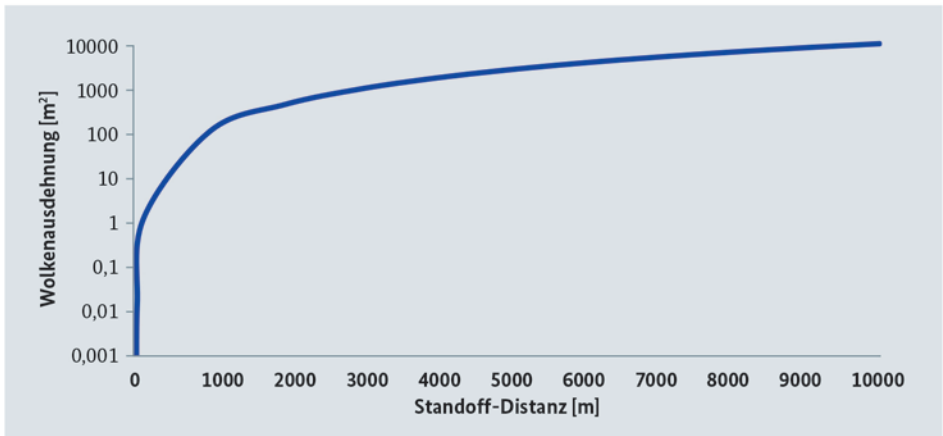
### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz erforderlich: nein
- Zündgefahren: nein
- Giftige Betriebsstoffe: nein
- Sonstiges: Zinkselenid-Fenster (Optik) und  $\alpha$ -Strahler in der Beschichtung der Zinkselenid-Fenster

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung reiner Stoffe und Gemische durch Bibliotheksvergleich
    - > Identifizierungsgrenze: ppm-Bereich bei 2 K Temperaturdifferenz, 10 m Wolke, 1 km Entfernung
    - > Selektivität: Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz) (siehe Abbildung 46)
- Beispiele aus Abbildung 46:  
 Bei einer Distanz von 100 m (Messgerät zur Wolke) muss die Wolke mindestens  $1 \text{ m}^2$  groß sein, um aussagekräftige Werte zu erhalten.  
 Bei einer Distanz von 1 km (Messgerät zur Wolke) muss die Wolke schon mindestens  $100 \text{ m}^2$  groß sein, um aussagekräftige Werte zu erhalten.



**Abbildung 46:** Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz)  
 Quelle: Eigene Darstellung

- Einsatzgrenzen: dichte IR-absorbierende Wolken
- Stoffliche Zugänglichkeit: IR-aktive gasförmige Stoffe
  - > Kurze Erläuterung: Änderung des Dipolmomentes
- Aggregatzustände: Gase, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: Flüssigkeiten mit ausreichend hohem Dampfdruck
- Programmierbare Scanalgorithmen: ja
- Entfernungsmessung: nein (jedoch möglich durch Nutzung eines 2. Ferndetektionsgerätes über Triangulation)

**Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale:**

- Einsatzbereich: innen und außen
- Detektor: Single Spot (Punktmessung)
- Interferometer: Michelson, Würfelspiegel
- Spektrale Auflösung:  $4 \text{ cm}^{-1}$  (max.  $0,5 \text{ cm}^{-1}$ )
- Spektralbereich:  $680 \text{ bis } 1500 \text{ cm}^{-1}$  ( $600 \text{ bis } 6.000 \text{ cm}^{-1}$  max.)
- Scan-Rate: 16 Spektren/s
- Spektrenakkumulation und Messzeit: variabel
- Formen der Messung: abstandsfähig
- Beobachtungsbereich:  $360^\circ$  horizontal,  $\pm 30^\circ$  vertikal ( $\pm 60^\circ$  max.)
- Sichtfeld (Teleskop): 10 mrad (10 x 10 m bei 1 km Distanz)
- Möglichkeit zur Änderung der Brennweite (Detektor-Zoom): nein
- Bildverarbeitung: nein

**Messergebnisse der Evaluierung:**

- Messungen vom WIS in Munster, August 2017
  - > Die folgenden Messungen für das SIGIS 2 wurden unter idealen Laborbedingungen durchgeführt.
  - > Messbedingungen: Stand-off-Distanz  $\sim 0,5 \text{ m}$ , Wolkenlänge  $0,3 \text{ m}$ , rel. Luftfeuchte 30 bis 40 %, Datum: August 2017
  - > Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Identifikationslimits:

Substanz	Konzentration [ppm]	Differenztemperatur* <sup>2</sup> [°C]	Güte* <sup>3</sup>
Ammoniak	17	4,5	2
Aceton	79	4,4	2
Methanol	70	5,2	2
Chloroform	28	4,0	2
Phosgen	2,5	17,6	2
Schwefeldioxid	1.008	4,5	2

\*<sup>2</sup> Temperatur zwischen Wolke und Hintergrund

\*<sup>3</sup> 3 = zweifelsfreie Identifizierung, 2 = gute Identifizierung (Werte liegen signifikant über dem Schwellwert), 1 = unsichere Identifizierung (Werte liegen leicht über dem Schwellwert)

- > Die folgenden Außenmessungen für das SIGIS 2 wurden vom WIS in Munster durchgeführt, Datum: August 2017
- > Messbedingungen: Stand-off-Distanz  $\sim 100 \text{ m}$ , Wolkenlänge  $5 \text{ m}$ , rel. Luftfeuchte 50 bis 60 %

> Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Identifikationslimits:

Substanz	Konzentration [ppm]	Differenztemperatur [°C]	Güte
Ammoniak	4	5,0	2
Aceton	57	4,2	2

### Herstellerangaben

- Außenmessungen ausgewählter Kampfstoffe
- Messbedingungen: Stand-off-Distanz max. 10 km, Wolkenlänge 50 m, Transmission > 0,5
- Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich um Identifikationslimits:

Substanz	Konzentration [ppm]	Differenztemperatur [K]
GB	0,5	2
GA	1,7	2
CG	0,6	2
AC	1,5	2

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	Bemerkungen	
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	x	Abh. vom Beobachtungsfenster
Kontinuierliche Messung	x	
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	
Spektrenvorschau (inklusive Bibliothekssuche)	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektren bei Messstart	x	



## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	Bemerkungen	
Automatisch	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		Nicht bekannt
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Alle 3
Art der Schnittstellen	x	RJ45 (LAN)

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: bedingt
- Einheit: Konzentrationsangabe über Meter [ppm/m]
- Angabe der Ergebnisgüte: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
- Visuelle Darstellung: ja
  - > Kurze Erläuterung: ortsaufgelöste Darstellung der Gefahrenwolke, überlagertes Videobild von Wolke und Umgebung
- Spektrum: ja

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	Bemerkungen	
Einweisung		Naturwissenschaftlicher Hintergrund von Vorteil
Spezielle Ausbildung	x	

## Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	Bemerkungen
< 4	
< 8	
> 8	x

<b>Messverfahren:</b>	FTIR-Ferndetektion
<b>Gerätebezeichnung:</b>	HI 90, mobil
<b>Firma:</b>	Bruker
<b>Anwendung:</b>	TICs, CWAs, VOCs

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto (Stand 2016)	Bemerkungen
Beschaffung	ca. 560.000	Hard- und Softwarelösungen individuell auf Benutzer abstimbar
Sonderzubehör	7.600	Dauerüberwachung, CWA-Bibliothek
Garantieverlängerung	8.300/a	Nach 1 Jahr
Wartung (Hersteller)	Im Lieferumfang enthalten	2 Jahre
Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller	2.300	Optional
Gerätepflege (Benutzer)	-	Nicht notwendig
Kalibrierung	-	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Rücksprache mit dem Hersteller	Je nach Ausführung evtl. Sondermüll

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 33 kg
- Ausrüstung tragbar mit: 2 Personen
- Notwendige Zusatzausrüstung: ja
  - > Steuerrechner: 1 kg
  - > Schwenkneigekopf (QPT-90ICMS): 34 kg
  - > Stativ: 10 kg

### Stromversorgung

Möglichkeiten		Bemerkungen
Akku	x	Optional
Netzteil	x	< 2 kg, 110/230 V, < 100 W
Li-Batterien		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h <sup>*1</sup>
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku		

\*1 Herstellerangaben

### Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben. Bei einer Temperatur von 26 °C und einer relativen Luftfeuchte von 45 % beträgt die Messbereitschaft 12 Minuten. Die Zeitangabe unterliegt Schwankungen, die von den Umgebungsbedingungen (T und rF) abhängig sind.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja (nach Einweisung)
  - > Warum: Serviceintervalle (Empfehlungen des Herstellers) einhalten

## Robustheit

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Kunststoffrollkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: k. A.

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperaturbeständigkeit (Betrieb):  
0 bis +40 °C (–20 °C bis +49 °C, abhängig von Geräteausführung)
- Temperaturbeständigkeit (Lagerung):  
0 bis +40 °C (–20 °C bis +49 °C, abhängig von Geräteausführung)
- Feuchtebeständigkeit: k. A.
- Schutzart IP54 (5: geschützt gegen Staub in schädigender Menge, gegen Berührung sowie 4: gegen allseitiges Spritzwasser)

## Handhabung

### Eigenschaften externer Software

Das Gerät wird ausschließlich über PC und eine externe Software bedient.

Spektrinterpretationssoftware	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Trennung von Bedien- und Servicemenü	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	–
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche (Gemisch/gelöste Stoffe/Verunreinigungen)	x
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	x, > 400

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	-
<b>Remote-Software</b>	x
Kosten	920 €
Fernsteuerung	x
Art der Fernsteuerung	RJ45 (LAN)
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	-
<b>Reach-back-Service</b>	x
Kosten	Nach Absprache
Buchung notwendig	x
Antwortzeit	48 h
Sprache	Deutsch

### Warnhinweise

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja, Spektrum
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja, Wahrscheinlichkeitsanzeige
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: ja, automatisch, falls notwendig

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: nicht notwendig, da Messungen aus Entfernung erfolgen
- Verdeckter Einsatz: ja
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm vorhanden: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
- Automatisierte Überwachung: ja (Netzbetrieb)

- Messung aus Bewegung: eingeschränkt
- Nachtsichtfähigkeit: nein

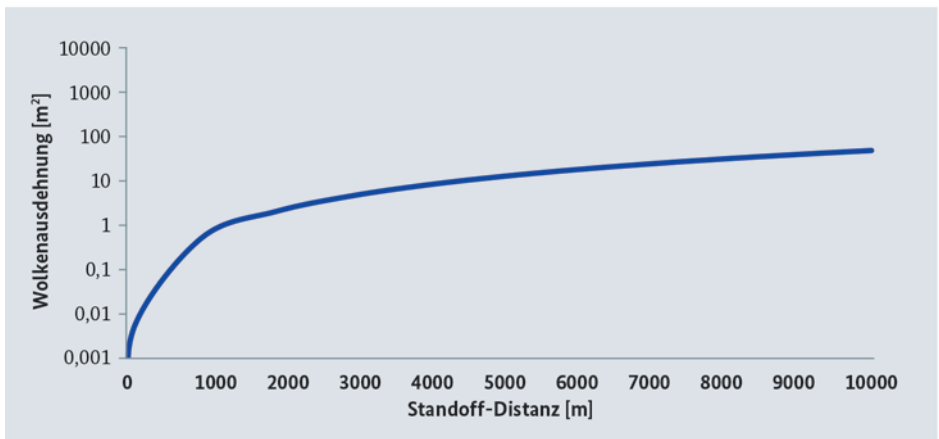
### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz erforderlich: nein
- Zündgefahren: nein
- Giftige Betriebsstoffe: nein
- Sonstiges: Verwendung von Zinkselenid-Fenster (Optik)

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung reiner Stoffe und Gemische durch Bibliotheksvergleich
    - > Identifizierungsgrenze: ppm-Bereich bei 2 K Temperaturdifferenz, 10 m Wolke, 1 km Entfernung
    - > Selektivität: Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz) (siehe Abbildung 47)
- Beispiele aus Abbildung 47:  
 Bei einer Distanz von 1 km (Messgerät zur Wolke) muss die Wolke mindestens  $0,48 \text{ m}^2$  groß sein, um aussagekräftige Werte zu erhalten.  
 Bei einer Distanz von 2 km (Messgerät zur Wolke) muss die Wolke schon mindestens  $1,9 \text{ m}^2$  groß sein, um aussagekräftige Werte zu erhalten.



**Abbildung 47:** Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz)

Quelle: Eigene Darstellung

- Einsatzgrenzen: dichte IR-absorbierende Wolken
- Stoffliche Zugänglichkeit: IR-aktive gasförmige Stoffe  
> Kurze Erläuterung: Änderung des Dipolmomentes
- Aggregatzustände: Gase, Flüssigkeiten  
> Kurze Erläuterung: Flüssigkeiten mit ausreichend hohem Dampfdruck
- Programmierbare Scan-Algorithmen: ja
- Entfernungsmessung: nein (jedoch möglich durch Nutzung eines 2. Ferndetektionsgerätes über Triangulation)

### Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale:

- Einsatzbereich: Innen und außen
- Detektor: Focal Plane Array 256 x 256 px (In-time-Messung)
- Interferometer: Michelson, Planspiegel
- Spektrale Auflösung:  $4 \text{ cm}^{-1}$  (max.  $0,7 \text{ cm}^{-1}$ )
- Spektralbereich: 850 bis  $1.440 \text{ cm}^{-1}$  (optional mehr möglich)
- Scan-Rate: 17.000 Spektren/s
- Videokamera: 177 mrad
- Spektrenakkumulation und Messzeit: variabel
- Formen der Messung: abstandsfähig
- Beobachtungsbereich:  $+180^\circ$  horizontal,  $\pm 90^\circ$  vertikal
- Sichtfeld (Teleskop): 0,69 mrad (0,69 x 0,69 m bei 1 km Distanz)
- Möglichkeit zur Änderung der Brennweite (Detektor-Zoom): ja
- Bildverarbeitung mit Filtern: ja

### Messergebnisse der Evaluierung:

- Messbedingungen: Stand-off-Distanz  $\sim 0,5 \text{ m}$ , Wolkenlänge 0,3 m, rel. Luftfeuchte 30 bis 45 %, Datum: August 2017
- Die Messungen des HI90 wurden während der SIGIS-2-Evaluierung vom WIS in Munster durchgeführt. Somit war dem SIGIS 2 der optimale Standortplatz vorbehalten, für das HI90 galten daher keine idealen Laborbedingungen.
- Bei den Konzentrationsangaben handelt es sich nicht um Identifikationslimits:

Substanz	Konzentration [ppm]	Differenztemperatur* <sup>2</sup> [°C]	Güte* <sup>3</sup>
Ammoniak	110	5,6	2
Aceton	242	5,5	1
Methanol	172	5,3	2
Schwefeldioxid	300	31	2

\*<sup>2</sup> Temperatur zwischen Wolke und Hintergrund

\*<sup>3</sup> 3 = zweifelsfreie Identifizierung, 2 = gute Identifizierung (Werte liegen signifikant über dem Schwellwert), 1 = unsichere Identifizierung (Werte liegen leicht über dem Schwellwert)

- Geräteeinstellungen: spektrale Auflösung  $4 \text{ cm}^{-1}$ , Messbereich  $30^\circ \times 180^\circ$
- Herstellerangaben der Responsezeiten bei unterschiedlicher Messfeldgröße:

Substanzanzahl	Dauer [s]	Messfeldgröße [px]
15	0,7	64 x 64
15	2	128 x 128

Fazit: Mit steigender Messfeldgröße steigen die Responsezeiten.

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften		Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Probenwiederholfrequenz	x	5 s
Kontinuierliche Messung	x	
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	
Spektrenvorschau (inklusive Bibliothekssuche)	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften		Bemerkungen
Automatisch	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		Nicht bekannt
Signaturen (Datum, Uhrzeit, GPS)	x	Alle 3
Art der Schnittstellen	x	RJ45 (LAN)



### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: Bedingt
- Einheit: Konzentrationsangabe über Meter [ppm/m]
- Angabe der Ergebnisgüte: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: ja
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
- Visuelle Darstellung: ja
  - > Kurze Erläuterung: orts aufgelöste Darstellung der Gefahrenwolke, überlagertes Videobild von Wolke und Umgebung
  - > Spektrum: ja

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	Bemerkungen
Einweisung	Naturwissenschaftlicher Hintergrund von Vorteil
Spezielle Ausbildung	x

#### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	Bemerkungen
< 4	
< 8	
> 8	x

<b>Messtyp:</b>	<b>Röntgenfluoreszenzanalyse</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Nitron XL2 air und Nitron XL3t*<sup>1</sup></b>
<b>Firma:</b>	<b>Thermo Fisher Scientific</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Elementanalyse (ab Ordnungszahl 13, Aluminium) anorganischer Substanzen</b>

\*1 Die Unterschiede zum XL2: zusätzliche Modi, kleinerer interner Speicher, klappbares Display mit Spektrenanzeige, zusätzliches optionales Zubehör → erweiterte Anwendungsmöglichkeiten, leistungsfähigere Röntgenröhre → niedrigere Nachweisgrenzen)

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € brutto Stand 2017	Bemerkungen
Beschaffung	45.000	Messgerät mit Firmware und Spektrenbibliotheken, abgeschirmter, verschließbarer Tragekoffer, Akku + Ersatzakku, Netzteil und Ladeschale, abgeschirmtes Holster, SD-Kartenleser, mobiler Messtisch, externe Programme für Remotebetrieb und Auswertung am Computer
Optionales Zubehör	K. A.	Labormesstisch, Bodenprobenschutz (Abschirmung der Streustrahlung)
Garantieverlängerung	2.000/a	Standard 12 Monate
Wartung (Hersteller)	-	Wartungsfrei
Gerätepflege (Benutzer)		Bei Bedarf Wechsel Fensterfolie, TÜV alle 5 Jahre
Verbrauchsmittel	ca. 1/Messung	RFA-Folien, Probenbecher, Fensterfolien
Kalibrierung	-	Automatisch an interner Referenzprobe
Entsorgung	K. A.	Nachfrage beim Hersteller

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 1,3 bis 1,6 kg
- handgehalten einsetzbar: ja

## Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	
Netzteil, ersatzweise	x	Im Tischbetrieb
Li-Batterien, ersatzweise	-	
Laufleistung im Akkubetrieb	> 4 h	Bei 10 Messungen/h (Werksangabe 4–8 h)
Akku extern aufladbar	x	Ladestation
Wechselakku	x	Werkzeuglos schnell wechselbar

## Messbereitschaft

- Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.
- Die Messbereitschaft beträgt 0 bis 2 Minuten.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: nein

## Robustheit

### Reinigung

- Tauchbad: nein
- Dekontamination: Nur Wischdekontamination, Reinigung mit handelsüblichen Reinigern

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: Hartschalenkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: k. A.

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Betriebs- und Lagertemperaturrahmen:  $-5\text{ °C}$  bis  $+50\text{ °C}$
- Herstellerempfehlung: Lagerung an kühlem Ort, kein direktes Sonnenlicht
- Relative Luftfeuchte [%]: k. A.
- Schutzart: IP54 (5: Geschützt gegen Staub in schädigender Menge sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 4: Schutz gegen allseitiges Spritzwasser)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung (direkt im/am Gerät)

- Menüführung der Firmware: logisch, intuitiv zu bedienen, mit Piktogrammen in Anlehnung an PC-Technik, leicht erlernbar, deutschsprachig
- Trennung von Service- und Bedienermenü: ja, das Servicemenü sowie die einzelnen Bedienerprofile sind passwortgeschützt. Die Bedienerprofile können mit unterschiedlichen Rechten versehen werden.
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja, je nach Fragestellung sind verschiedene Modi einstellbar, die Auswahl erfordert jedoch Erfahrung. Die Sicherheitsvorkehrungen (insbesondere auflösen Röntgenquelle) sind individuell einstellbar.
- Spektrenbibliotheken:
  - > Umfang: Alle Elemente von Ordnungszahl 11 Natrium bis 94 Plutonium prinzipiell nachweisbar. Je nach eingesetztem Modus werden jedoch nicht alle Elemente in der Auswertung berücksichtigt.
  - > Stoffnamen deutschsprachig: ja
  - > Stoffdatenbanken: Zusätzlich verfügt das Gerät über Datenbanken über z. B. Legierungen, Kunststoffe ..., die in den entsprechenden Modi erkannt werden können.
- Sonstiges: Mess- und Auswertprogramm greifen auf denselben COM-port zu, man kann entweder nur messen oder auswerten.

### Eigenschaften der externen Software (Laptop)

Messwert-Interpretationssoftware	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Trennung von Bedien- und Servicemenü	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Dateiformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	-
Bibliotheksänderung durch Nutzer	-
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbildern der Firmware	-
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x

<b>Messwert-Interpretationssoftware</b>	x
<b>Remote-Software</b>	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Fernsteuerung des Handgerätes	x
Art der Fernsteuerung	USB
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
Abbilden der Firmware	x

### Warnhinweise

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: unbekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: Spektren am PC auswertbar
- Warnhinweis bei Störung: Angabe Fehlercode im Display

### Eignung für Sondernutzungen

- Unter chemischer Schutzausrüstung: teilweise, Voreinstellungen und Auswertungen können nur schwierig unter CSA durchgeführt werden, der eigentliche Messvorgang kann unter CSA durchgeführt werden
- Verdeckter Einsatz: ja, Strahlenschutz beachten
- Nachtmessungen: ja

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: ja
- Je nach Bundesland muss der Bediener selbst Strahlenschutzbeauftragter nach RÖV sein oder von einem solchen eingewiesen werden
- Dokumentationspflicht: Über die Nutzung des Gerätes ist Buch zu führen.
- TÜV: Das Gerät muss alle 5 Jahre vom TÜV geprüft werden
- Zündgefahren: Gerät emittiert energiereiche Strahlung. Zündung explosiver Gemische nicht ausgeschlossen
- Abschirmung der Röntgenstrahlung: Das Gerät wird am Prüfstand eingespannt und die Probe wird im Messtisch abgeschirmt gemessen – nicht handheld
- Giftige Betriebsstoffe: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung von Elementen:
  - > Identifizierungsgrenze:
    - Die gemessenen Röntgenfluoreszenz-Signale werden mit einer geräte-internen Bibliothek abgeglichen. Dabei sind jedem Element mehrere Energielinien (z. B.:  $K\alpha$ ,  $K\beta$ , ...,  $L\alpha$  ...) zugeordnet
    - Prinzipiell sind alle Elemente zwischen Ordnungszahl 11 (Natrium) und 94 (Plutonium) identifizierbar
    - Je nach Beschaffenheit der Probe und Modi-Wahl können Substanzen bis in den ppm-Bereich nachgewiesen werden
  - > Die gemessenen Spektren werden anschließend vom System interpretiert, wobei es durch verschiedene Modi/Bibliotheken teilweise deutliche Unterschiede gibt
  - > Modi: Bodenproben, Kunststoffe, Legierungen, Minerale, Edelmetalle, Elektronik, einige Modi müssen je nach Bedarf zugekauft werden
- Querempfindlichkeiten: keine – jedoch kann der falsche Modus zu falschen Aussagen führen – Spektren betrachten (Auswertungsprogramm PC)
- Aggregatzustände: Feststoffe, Flüssigkeiten

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: innen und außen
- Messzeit:
  - > 60 bis 120 Sekunden, je nach Betriebsmodus und Filterwahl
  - > Messzeiten in den einzelnen Modi einstellbar
- Leistung:
  - > Anregungsenergie max. 50 keV (Standardfilter (45 keV XL2))
  - > Anregungsenergie max. 15/20 keV (Niedrigfilter (nur XL3t))
  - > Anregungsenergie max. 8 keV (Leichtfilter)
- Probenaufgabe:
  - > Messkammer im Vial/Probenhalter
  - > Direkte Messung der Probe ohne Gefäß
  - > Formen der Messung:
    - Distanzmessung: berührungslos (auch durch Verpackungen, mit Einschränkungen je nach Verpackungsmaterial)
    - Kontaktmessung: aufliegend

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	–
Probenwiederholfrequenz	x	Minimal: 1–2 Min., typisch: 5–10 Min.
Kontinuierliche Messung	–	–
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	Ja
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	Ja

### Datensicherung/Datentransfer

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	Geräteintern
Hohe Speicherkapazität	x	64 MB interner Systemspeicher/128 MB interner anwenderspezifischer Speicher
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	> 10.000 Messungen + Spektren
Signaturen	x	Zeitstempel
Art der Schnittstellen	x	USB

### Darstellung der Messwerte

- Element: ja, als Liste
- Konzentration: ja, in % oder ppm
- Angabe der Ergebnisgüte: Angabe Fehlertoleranz (Standardabweichung)
- Ansicht der Spektren: generell über PC, bei Modell XL3t auch am Display
- Zugriff auf zusätzliche Informationen: nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung		Je nach Bundesland: Grundkenntnisse im Strahlenschutz bis Strahlenschutzlehrgang erforderlich
Spezielle Ausbildung	x	

### Ausbildungsaufwand für Bediener\*<sup>8</sup>

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Unabhängig vom Strahlenschutz ist die Bedienung des Gerätes bereits nach einer Einweisung von wenigen Minuten möglich, wenn Standard-Modi festgelegt werden.
< 8	x	
> 8		

\*8 Beschränkung auf die reine Bedienung, das Ablesen und Weiterleiten von Messdaten

<b>Messverfahren:</b>	Gaschromatographie, Massenspektrometrie
<b>Gerätebezeichnung:</b>	E <sup>2</sup> M, mobiles Gerät
<b>Firma:</b>	Bruker
<b>Anwendung:</b>	Verdampfbare organische Stoffe

### Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto Stand 2016	Bemerkungen
Beschaffung	163.500	Massenspektrometer, 1 Gaschromatograph, Software, Spezialkabel, Energieversorgungseinheit, Transportboxen + Zubehör, Notebook
Sonderzubehör	13.800 4.250 1.800	2. Gaschromatograph Probenahmekoffer CWA-Bibliothek
Zubehör Probenaufgabe	13.100 4.700 1.500	Luft-/Boden-Sonde + Zubehör SPME-Kit Injektor-Kit



Art	Kosten, € netto Stand 2016	Bemerkungen
Einweisung (Hersteller)	12.900	Für 5 Tage und 3 Teilnehmer
Gerätepflege (Benutzer)	K. A. 350 150	Anpumpstand zur Vakuumwiederherstellung nach Lagerung > 3 Monaten Aktivkohlefilter GC-Testmischung
Wartung (Hersteller)	5.500/a 2.800/a 1.300/a	E <sup>2</sup> M-Grundgerät GC Luft-/Boden-Sonde
Kalibrierung (Benutzer)	280	Mit Eichgaspatrone
Reparatur, Einschicken (Hersteller)	7.000 2.000	Austausch Ionengetterpumpe nach ca. 4.000 h Messzeit Austausch der defekten Säule
Entsorgung	Rücksprache mit dem Hersteller	Kontaminierte Aktivkohlefilter und Eichgaspatronen sind Sondermüll

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht:
  - > Grundgerät: 37,7 kg
- Ausrüstung tragbar mit: 2 Personen
  - > Transport- und Lagerbehälter (mit Rollen) für E<sup>2</sup>M: 26,0 kg
  - > Transport- und Lagerbehälter für GC: 3,25 kg
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > Steuerrechner: 3,0 kg
  - > Schaltnetzteil: 6,0 kg
  - > Halterung Grundgerät E<sup>2</sup>M: 4,3 kg
- Notwendige Zusatzausrüstung, je nach benötigter Probenaufgabe:
  - > Luft-/Boden-Sonde (LuBo): 6,0 kg

## Stromversorgung

Möglichkeit	x	Bemerkungen
Akku	x	Optional, Spezialanfertigung externe Firma
Netzteil	x	Schaltnetzteil
Laufleistung im Akkubetrieb		K. A.
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	-	

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

- System ist vom Strom getrennt, komplett ausgeschaltet: bis zu 15 Minuten
  - System befindet sich im Standby-Modus: bis 5 Minuten
  - Bei einer Lagerung über 6 Monate kann der eventuelle Verlust des Vakuums mit Hilfe eines Anpumpstandes wiederhergestellt werden
- Anmerkung: Das Erreichen der Messbereitschaft ist unabhängig von den äußeren Bedingungen, es wird vielmehr von einem adäquaten Startvakuum (mind.  $10^{-4}$  mbar) im Grundgerät beeinflusst.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
 Warum: 2 Betriebsstundenzähler (Standby- und Messzeit), aus Wartungs- und Reparaturgründen (unter Extras → Systemstatus)

## Robustheit

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, mit Halterung für Grundgerät (MS) und LuBo-Sonde
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- GC-MS mit LuBo-Sonde:
  - > Betriebstemperatur: +5 bis +45 °C
  - > Lagerungstemperatur -15 bis +50 °C
  - > Betriebsfeuchte: 0 bis 95 % RH, nicht kondensierend

- > Schutzart IP:
  - E<sup>2</sup>M: IP42, (4: geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser > 1,0 mm sowie geschützt gegen den Zugang mit einem Draht, 2: Schutz gegen fallendes Tropfwasser, wenn das Gehäuse bis zu 15 ° geneigt ist)
  - LuBo: IP44 (4: geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser > 1,0 mm sowie geschützt gegen den Zugang mit einem Draht, 4: Schutz gegen allseitiges Spritzwasser)
- Schaltnetzteil:
  - > Betriebstemperatur: 0 bis 40 °C
  - > Betriebsfeuchte: 5 bis 95 % rF

## Handhabung

### Software

Das Gerät wird ausschließlich über PC und eine externe Software bedient. Es gibt zwei Softwareausführungen: Analysis (Anfänger) und Control (fortgeschrittener Benutzer).

Spektrinterpretationssoftware	Analysis	Control
Kosten	Im Lieferumfang enthalten	Optional, Mehrkosten von ~5.500 €
Trennung von Bedien- und Servicemenü	-	
Spektrendarstellung	x	
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	x	
Transformation in andere Dateiformate	x	
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	-	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	-	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	-	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	-	
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche	x	
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	240.000 Stoffe, davon 2.000 als extra TIC-Bibliothek	
Sichern der Messdaten	x	

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	<b>Analysis</b>	<b>Control</b>
Deutschsprachige Menüführung	x	
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x	
<b>Remote-Software</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
Kosten	5.000	K. A.
Fernsteuerung (Bodensonde)	x	x
Art der Fernsteuerung	LAN-Verbindung	
Deutschsprachige Menüführung	x	x
Sichern der Messdaten	x	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x	x
<b>Reach-back-Service</b>	-	

### Warnhinweise

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: k. A.
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja, Wahrscheinlichkeitsanzeige
- Warnhinweise für aktive Bibliothek: nicht anwendbar
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: ja, automatisch
- Warnhinweise bei Störungen: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: indirekt, Analyse von Spurenproben vom eventuellen Tatort
- Kontinuierliche Luftüberwachung (Luftspüren): ja
- Oberflächenmessungen inkl. Wischproben (Punktspüren): ja
- Radspüren: ja

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Gesundheitsgefahren: ja, kontaminierte Filter
- Zündgefahren: ja, Sondenkopf erreicht Temperaturen bis 260 °C
- Giftige Betriebsstoffe: GC-Testmischungen

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Lösungen
  - > Identifizierungsgrenze:
    - Die Probe muss in die Gasphase überführt werden können ( evtl. Probleme bei thermolabilen Substanzen und Hochsiedern),
    - Die Substanz muss Bestandteil der verwendeten Bibliothek sein
    - Das GC-MS-System ist sensibler als das Monitoringsystem MS
    - Je nach Beschaffenheit der Probe, Methodenwahl und Scan-Modi können Substanzen bis in den pg-Bereich nachgewiesen werden
  - > Selektivität: Bei Gemischen muss eine gaschromatografische Trennung gewährleistet sein
  - > Querempfindlichkeit: Rauchgase, sonst sehr gering
- Aggregatzustände: flüssig, gasförmig
  - > Kurze Erläuterung: möglich mit individueller Probenaufbereitung und spezieller Probenaufgabe (s. Formen der Messung)
- Programmierbare Scan-Algorithmen: ja
- Direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen (z. B. Sicherheitsdatenblatt etc.): nein
- Formen der Messung:
  - > Gasförmige und flüssige Proben über Anreicherung via SPME-Fasern oder Probenahmeröhrchen mit anschließender Desorption und/oder Verdampfung im modifizierten Injektor
  - > Flüssige Proben können mit einer Injektionsspritze unter Verwendung des Injektormoduls auch direkt eingespritzt werden
  - > Feste Proben müssen zunächst in einem geeigneten Lösungsmittel aufgelöst werden, anschließend kann die Lösung mit der Injektionsspritze appliziert werden
  - > Mit dem E<sup>2</sup>M-Spürsystem können gasförmige Proben direkt aus der Luft gemessen werden, zusätzlich können mit der beheizten Sondenmembran Substanzen, deren Dampfdruck hinreichend groß ist, freigesetzt werden
  - > Die Spürbetriebsart Radspüren wird während der mobilen Detektion großflächiger, sesshafter Kontaminationen verwendet. Die Probenahme erfolgt durch die Spürräder, die auf den zu untersuchenden Boden aufgesetzt und anschließend mit dem Sondenkopf in Kontakt gebracht werden. Es wird nur dann ein Alarm ausgelöst, wenn eine Substanzkonzentration ihren Schwellwert innerhalb einer vorgegebenen Anzahl von aufeinander folgenden Messzyklen überschreitet

### Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: Innen- und Außenbereich
- Trägergas: Luft
- Quantifizierung: mit hinterlegter Kalibrierung des jeweiligen Stoffes möglich
- Reinigungsfunktionen (über Software):
  - > Tenax-Röhrchen
  - > Luft-/Boden-Sonde
- Massenspektrometer:
  - > Ionenquelle: 70 eV (Elektronenstoßionisation)
  - > Auftrennungseinheit MS: Quadrupol
  - > Massenbereich: 1 bis 520 Da
  - > Scan-Rate: 7.200 Da/s bei 0,1 Da Auflösung
  - > Vakuumsystem: Ionen-Getterpumpe
  - > Ionendetektor: Elektronenvervielfacher
- Gaschromatograph:
  - > Heizung: bis 260 °C
  - > Trennsäule: 15 m x 0,32 mm ID x 0,5 µm Film (2 Ausführungen: schwer- und leichtflüchtige Substanzen)
  - > Probenaufgabe/-anreicherung: Flüssiginjektion, Tenax-Röhrchen, SPME-Faser
- Luft-/Boden-Sonde:
  - > Länge: 3,5 m
  - > Temperatur: max. 260 °C
  - > Transfersäule: 0,53 mm ID

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	GC-MS-System
Kontinuierliche Messung	x	Spürsystem
Automatischer Abzug des Hintergrundes	-	Bei allen Spürmethoden wird die Intensität mit einem zuvor aufgenommenen Totalhintergrund verglichen
Spektrenvorschau (inklusive Bibliothekssuche)	(x)	Nur bei Expertensoftware E <sup>2</sup> M-Control
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	-
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektren bei Messstart	x	-

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Signaturen	x	Datum, Uhrzeit, GPS
Art der Schnittstellen		Ethernet 100 Mbit/s

## Darstellung der Messwerte

- Massenspektrum für jeden Peak: ja
- Retentionszeit: ja
- Substanzname: ja
- Konzentration: ja, bei Einbindung der entsprechenden Kalibrierung
- CAS-Nummer: ja
- Formel: ja, Summenformel
- Angabe der Ergebnisgüte: ja, in %
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Auswertalgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
- Automatische Gemisch-Suche: entfällt, da Auftrennung im GC erfolgt
- Manuelle Ergebnisinterpretation: ja, setzt Expertenwissen voraus
- Je nach Benutzerlevel unterscheidet sich der Aufwand
- Darstellung der Ergebnisse:
  - > Kurze Erklärung: Prinzipiell stehen 3 Informationsfenster zur Verfügung:
    - Chromatogramm
    - Spektrenanalysenparameter und
    - Ergebnisliste
- Es gibt die Möglichkeit, einen vollständigen Messbericht (pdf file) zu erzeugen, dieser wird automatisch gespeichert

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Je nach Benutzerlevel unterscheidet sich der Aufwand
Spezielle Ausbildung	x	

## Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Im Regelfall sind mehr als 8 h nötig, um sicher mit dem Gerät umgehen zu können
< 8		
> 8	x	

<b>Messverfahren:</b>	<b>Gaschromatographie, Massenspektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>MM2, mobiles Gerät</b>
<b>Firma:</b>	<b>Bruker</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>CWAs, TICs</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto Stand: 2017	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	218.000	Spürsystem (Grundgerät + Luft-/Boden-Sonde + Zubehör + Software)
	246.000	GC-MS-System (Grundgerät + GC-Sonde + Bodensammler + Zubehör + Software)
<b>Sonderzubehör</b>	11.600	Fahrzeughalterung, Zubehör Sonde
	8.600	Fahrzeughalterung, Zubehör Sammler, Zubehör GC-Sonde
<b>Zubehör für alternative Probenaufgabe</b>	2.100	Injektor-Kit + Zubehör
	8.400	Luftsammler + Zubehör
	28.000	Doppelradspürsystem + Zubehör
<b>Einweisung (Hersteller)</b>	9.632	Optional
<b>Gerätepflege (Benutzer)</b>	1.700	Aktivkohlefilter, Sondenmembran + Überwurfmutter, Prüfsubstanz
	280	Aktivkohlefilter
<b>Wartung (Hersteller)</b>	6.160	Spürsystem
	7.560	GC-MS-System



Art	Kosten, € netto Stand: 2017	Bemerkungen
Kalibrierung	254	Eichgaspatrone
Entsorgung	Rücksprache mit Hersteller	Kontaminierte Aktivkohle-filter und Eichgaspatronen sind Sondermüll

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht:
  - > Grundgerät: 37,7 kg
  - > Luft-/Boden-Sonde: befestigt am Fahrzeug (16 kg) oder flexibel (4,5 kg)
- Ausrüstung tragbar mit: 2 Personen
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > Steuerrechner: Rocky IV, RF886EX
  - > Transportplattform: 22,5 kg
  - > GC-Sonde: 7 kg, IP42
  - > Schaltnetzteil: 6 kg
  - > Gurtschloss mit Kupplung: Arretierung der Fahrzeugsonde

### Stromversorgung

Möglichkeit	x	Bemerkungen
Akku	-	-
Netzteil	x	18–32 V DC, 250 W (max. 400 W)
Laufleistung im Akkubetrieb	-	-
Akku extern aufladbar	-	-
Ersatzakku	-	-

### **Erreichen der Messbereitschaft**

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

- System ist vom Strom getrennt, komplett ausgeschaltet: bis zu 15 Minuten
- System befindet sich im Standby-Modus: bis 5 Minuten

Anmerkung: Das Erreichen der Messbereitschaft ist unabhängig von den äußeren Bedingungen, es wird vielmehr von einem adäquaten Startvakuum im Grundgerät beeinflusst

### **Laufzeitnachweis**

- Betriebsstundenzähler: nein

### **Robustheit**

#### **Transport und Erschütterungsfestigkeit**

- Transportbehälter: ja
- Transporthalterung für Fahrzeuge: ja
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: ja

#### **Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich**

- GC-MS und Luft-/Boden-Sonde:
  - > Betriebstemperatur: -32 bis +49 °C
  - > Lagerungstemperatur: -51 bis +71 °C
  - > Betriebsfeuchte: bis 95 % rel. Feuchte
  - > Schutzart: IP44 (4: geschützt gegen feste Fremdkörper mit Durchmesser > 1,0 mm sowie geschützt gegen den Zugang mit einem Draht, 4: Schutz gegen allseitiges Spritzwasser)
- Schaltnetzteil:
  - > Fernsteuerung, digitale LED-Anzeige, Betriebstemperatur: 0 bis +40 °C mit integrierter Kühlung (ab 30 °C)

## Handhabung

### Software

Das Gerät wird ausschließlich über PC und eine externe Software bedient.

<b>Spektrinterpretationssoftware</b>	<b>x</b>
Kosten	36.000 € Controlsoftware + CWA-Bib. (1.600 €)
Trennung von Bedien- und Servicemenü	–
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	–
Transformation in andere Dateiformate	–
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	–
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche	x
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	1.000 Stoffe
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
<b>Remote-Software</b>	<b>x</b>
Kosten	2.800 €
Fernsteuerung (Bodensonde)	x
Art der Fernsteuerung	RS422
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
<b>Reach-back-Service</b>	<b>–</b>

**Warnhinweise**

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: ja
- Warnhinweis bei Störung: ja

**Eignung für Sondernutzungen**

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung möglich: ja
- Verdeckter Einsatz: Indirekt, Analyse von Spurenproben vom evtl. Tatort
- Kontinuierliche Luftüberwachung (Luftspüren): ja
- Oberflächenmessungen inkl. Wischproben (Punktspüren): ja
- Radspüren: ja

**Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Gesundheitsgefahren: ja, kontaminierte Filter
- Zündgefahren: ja, Sondenkopf erreicht Temperaturen bis 260 °C
- Giftige Betriebsstoffe: GC-Testmischungen

**Messtechnische Leistungsfähigkeit****Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Lösungen
  - > Identifizierungsgrenze:
    - Die Probe muss in die Gasphase überführt werden können ( evtl. Probleme bei thermolabilen Substanzen und Hochsiedern)
    - Die Substanz muss Bestandteil der verwendeten Bibliothek sein
    - Das GC-MS-System ist sensibler als das Monitoringsystem MS
    - < 2 bis 5 mg/m<sup>3</sup> Luftspüren, < 5 mg/m<sup>2</sup> Punktdetektion, < 0,1 mg/m<sup>3</sup> Probenahme Luft, < 0,5 mg/m<sup>2</sup> Probenahme Oberfläche
- Querempfindlichkeit: Rauchgase, sonst sehr gering
- Selektivität: Bei Gemischen muss eine GC-Trennung gewährleistet sein
- Aggregatzustände: gasförmig, flüssig
  - > Kurze Erläuterung: möglich mit individueller Probenaufbereitung und spezieller Probenaufgabe (s. Formen der Messung)
- Programmierbare Scan-Algorithmen: ja
- Direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen (z. B. Summenformel, CAS-Nummer etc.): ja

- Formen der Messung:
  - > Flüssige und gasförmige Proben über Anreicherung via SPME oder Probennehmeröhrchen mit anschließender Desorption und Verdampfung im modifizierten Injektor
  - > Gasförmige und flüssige Proben können entweder über Probennehmeröhrchen oder über eine Mikrofaser unter Verwendung des Injektormoduls SMPE in den GC gelangen
  - > Flüssige Proben können mit einer Injektionsspritze unter Verwendung des Injektormoduls auch direkt eingespritzt werden
  - > Feste Proben müssen zunächst in einem geeigneten Lösungsmittel aufgelöst werden, anschließend kann die Lösung mit der Injektionsspritze appliziert werden
  - > Mit dem MM2-Spürsystem (Luft-/Boden-Sonde) können gasförmige Proben direkt aus der Luft gemessen werden
  - > Die Spürbetriebsart Radspüren wird während der mobilen Detektion großflächiger, sesshafter Kontaminationen verwendet. Die Probenahme erfolgt durch die Spürräder, die auf den zu untersuchenden Boden aufgesetzt und anschließend mit dem Sondenkopf in Kontakt gebracht werden. Es wird nur dann ein Alarm ausgelöst, wenn eine Substanzkonzentration ihren Schwellwert innerhalb einer vorgegebenen Anzahl von aufeinanderfolgenden Messzyklen überschreitet

### **Ausgewählte geräteabhängige Leistungsmerkmale**

- Einsatzbereich: Innen- und Außenbereich
- Trägergas: Luft
- Quantifizierung: mit hinterlegter Kalibrierung des jeweiligen Stoffes möglich
- Reinigungsfunktion: ja
- Massenspektrometer:
  - > Ionenquelle: 70 eV (Elektronenstoßionisation)
  - > Auftrennungseinheit MS: Quadrupol
  - > Massenbereich: 1 bis 520 Da
  - > Scan-Rate: 7.200 Da/s bei 0,1 Da Auflösung
  - > Vakuumsystem: Ionen-Getterpumpe
  - > Ionendetektor: Elektronenvervielfacher
- Gaschromatograph:
  - > Heizung: bis 260 °C
  - > Trennsäule: Metallkapillare MXT-1: 15 m oder 20 m x 0,32 mm ID x 5,0 µm Film für leichtflüchtige Substanzen  
Metallkapillare MXT-5: 12 m x 0,32 mm ID x 1,0 µm Film für schwerflüchtige Substanzen  
Glaskapillare HT-5: 15 m x 0,32 mm ID x 0,5 µm Film für schwerflüchtige Substanzen

- Probenaufgabe/-anreicherung:
  - > Spritze
  - > Tenax-Röhrchen
  - > SPME-Faser
  - > Luft-/Boden-Sonde:
    - Länge: 3,5 m
    - Temperatur: max 260 °C (Sondenkopf und Säule getrennt beheizbar)
    - Transfersäule: k. A.

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	GC-MS-System, ~ 30 min Messzeit
Kontinuierliche Messung	x	Spürsystem, 1 bis 3 s Messrate
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	-
Spektrenvorschau	x	Chromatogramm + Massenspektrum
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	-
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	-

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	-
Signaturen	x	Datum, Uhrzeit
Art der Schnittstellen	x	Ethernet 10/100 Base-T

### Darstellung der Messwerte

- Massenspektrum für jeden Peak: ja
- Retentionszeit: ja
- Substanzname: ja
- Konzentration: ja, bei Einbindung der entsprechenden Kalibrierung
- CAS-Nummer: ja
- Formel: Summenformel
- Angabe der Ergebnisgüte: ja, als Reinheit (max. 1.000)

- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Auswertalgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: entfällt, da Auftrennung im GC erfolgt
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
- Darstellung der Ergebnisse:
  - > Kurze Erklärung: Prinzipiell stehen 3 Informationsfenster zur Verfügung:
    - Chromatogramm
    - Spektrenanalysenparameter und
    - Ergebnisliste
  - > Es gibt die Möglichkeit, einen vollständigen Messbericht (pdf file) zu erzeugen, dieser wird automatisch gespeichert

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung		
Spezielle Ausbildung	x	

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]		Bemerkungen
< 4		
< 8		
> 8	x	

<b>Messverfahren:</b>	<b>Gaschromatographie, Massenspektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Hapsite ER, mobil</b>
<b>Firma:</b>	<b>INFICON GmbH</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Verdampfbare organische Stoffe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto Stand 2017	Bemerkungen
Beschaffung	152.800	Grundgerät + Gaskartuschen + Vakuumpumpe + Akku + Ladegerät + Software + Sonde (Hand Control Unit) + alle Kabel und nötiges elektronisches Zubehör
Sonderzubehör	300	Externe N2-Versorgung
Zubehör für alternative Probenaufgabe	47.600	SPME, Headspace, Desorber-Kit
Einweisung (Hersteller)	– (2.300 Training)	Im Lieferumfang enthalten (Training optional)
Gerätepflege (Benutzer)	5.000	Standardgas, Trägergas
Wartung (Hersteller)	14.200	Nach 4 Jahren
Kalibrierung	–	Automatische Selbstkalibrierung
Entsorgung	Rücksprache mit dem Hersteller	

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht:
  - > Grundgerät: 19 kg, inkl. Akku
- Ausrüstung tragbar mit: 1 Person
- notwendige Zusatzausrüstung, je nach benötigter Probenaufgabe:
  - > Headspace: 12 kg inklusive Batterie
  - > Desorber: 15 kg
  - > SPME: 8,5 kg



## Stromversorgung

Möglichkeit	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	Ersatzweise (24 V, 30 W)
Laufleistung im Akkubetrieb	x	2 bis 3 h
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	

## Erreichen der Messbereitschaft

Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben.

- System ist vom Strom getrennt, komplett ausgeschaltet: bis zu 25 Minuten
- System befindet sich im Standby-Modus: bis zu 16 Minuten

Anmerkung: Das Erreichen der Messbereitschaft ist unabhängig von den äußeren Bedingungen, es wird vielmehr von einem adäquaten Startvakuum (mind.  $10^{-4}$  mbar) im Grundgerät beeinflusst

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: Um Betriebszeit bestimmter Komponenten zu prüfen, welche in regelmäßigen Abständen ersetzt werden müssen

## Robustheit

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Koffer und Rucksack
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Betriebs- und Lagerungstemperatur: 0 °C bis 45 °C
- Schutzart IP54 (5: geschützt gegen Staub in schädigender Menge sowie vollständiger Schutz gegen Berührung, 4: Schutz gegen allseitiges Spritzwasser)

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Ein-/Aus-Knopf, englischer Text, Menüführung sowohl durch Tasten als auch am Touchscreen möglich, Tastenfunktionen logisch, Text und Symbole vorhanden
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Wenn ja, kurze Erläuterung: Wahl der Probenaufgabe, Beleuchtung, Methode, Messverfahren, u. v. m.

### Eigenschaften externer Software

<b>Spektrinterpretationssoftware</b>	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Trennung von Bedien- und Servicemenü	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	–
Transformation in andere Dateiformate	–
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche	x
Spektr- und Gefahrstoffbibliothek	x, AMDIS und NIST
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	–
Abbildern der Firmware	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	–
<b>Remote-Software</b>	x
Kosten	Im Lieferumfang enthalten
Fernsteuerung (des Handgerätes)	x

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	x
Art der Fernsteuerung	Laptop oder Sonde bei Gasdetektion
Deutschsprachige Menüführung	–
Sichern der Messdaten	x
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	–
Abbilden der Firmware	x
<b>Reach-back-Service</b>	–

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein, weil immer komplette NIST und AMDIS aktiv
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: automatische Selbstkalibrierung
- Warnhinweis bei Störungen: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Gasstand: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
- Verdeckter Einsatz: Indirekt, Analyse von Spurenproben vom eventuellen Tatort
- Kontinuierliche Luftüberwachung (Luftspüren): ja
- Oberflächenmessungen: ja
- Radspüren: nein

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Gesundheitsgefahren: nein
- Zündgefahren: nein, jedoch Gasversorgung beachten
- Giftige Betriebsstoffe: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Lösungen
  - > Identifizierungsgrenzen:
    - die Probe muss in die Gasphase überführt werden können ( evtl. Probleme bei thermolabilen Substanzen und Hochsiedern),
    - die Substanz muss Bestandteil der verwendeten Bibliothek sein
    - Das GC-MS-System ist sensibler als das Monitoringsystem MS
    - Je nach Beschaffenheit der Probe, Methodenwahl und Scan-Modi können Substanzen bis in den ppt-Bereich nachgewiesen werden
- Querempfindlichkeit: Rauchgase, sonst sehr gering
- Aggregatzustände: flüssig, gasförmig
  - > Kurze Erläuterung: möglich mit individueller Probenaufbereitung und spezieller Probenaufgabe (s. 6.1 Formen der Messung)
- Programmierbare Scan-Algorithmen: ja
- Direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen (z. B. CAS-Nummer etc.): ja
- Formen der Messung:
  - > Gasförmige und flüssige Proben über Anreicherung via SPME-Fasern oder Probenahmeröhrchen mit anschließender Desorption und/oder Verdampfung im modifizierten Injektor
  - > Über das Headspace-System können flüssige und feste Proben in einem Glasröhrchen bis zu 80 °C erhitzt werden, für die Analyse wird anschließend eine Probe vom Gasraum genommen
  - > Mit dem Hapsite-Spürsystem können gasförmige Proben direkt aus der Luft gemessen werden. Zusätzlich können mit der beheizten Sondenmembran Substanzen, deren Dampfdruck hinreichend groß ist, freigesetzt und dem Messgerät zugeführt werden

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: Innen- und Außenbereich
- Trägergas: N<sub>2</sub>
- Quantifizierung: mit hinterlegter Kalibrierung des jeweiligen Stoffes möglich
- Reinigungsfunktionen (über Software): Ausheizmethode vorhanden
- Massenspektrometer:
  - > Ionenquelle: 70 eV (Elektronenstoßionisation)
  - > Auftrennungseinheit MS: Quadrupol
  - > Massenbereich: 41 bis 300 Atomic Mass Unit (AMU)
  - > Scan-rate: 1000 AMU/s
  - > Vakuumsystem: NEG-Pumpe (Non-evaporable-Getterpumpe)
  - > Ionendetektor: Elektronenvervielfacher
- Gaschromatograph:

- > Heizung: bis 200 °C
- > Trennsäule: 15 m x 0,25 mm ID, 1,0 µm Film
- Probenaufgabe/-anreicherung:
  - > Headspace-System
  - > Tenax-Röhrchen
  - > SPME-Faser
  - > Hand Control Unit:
    - Länge: 1,65 m (max. 120 °C)
    - Temperatur: max. 150 °C
    - Transferline: max. 120 °C

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Von einer Laborevaluation wird abgesehen!

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften		Bemerkungen
Einzelmessungen	x	GC-MS-System
Kontinuierliche Messung	x	Spürsystem
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	-
Spektrenvorschau (inklusive Bibliothekssuche)	x	-
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	-
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/Spektren bei Messstart	x	-

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften		Bemerkungen
Automatisch	x	-
Hohe Speicherkapazität	x	16 GB
Signaturen	x	Datum, Uhrzeit, GPS
Art der Schnittstellen	x	Drahtlos oder 802.11 G Ethernet

## Darstellung der Messwerte

- Massenspektrum für jeden Peak: ja, aber nur am Laptop
- Retentionszeiten: ja
- Substanzname: ja
- Konzentration: ja, bei Einbindung der entsprechenden Kalibrierung
- CAS-Nummer: ja
- Formel: nein
- Angabe der Ergebnisgüte: ja, in %
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: relativ
- Auswertalgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: entfällt, da Auftrennung im GC erfolgt
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja
- Darstellung der Ergebnisse:
  - > Kurze Erklärung:  
entweder Chromatogramm mit Parametern und gefundenen Substanzen anklickbar ODER Liste der gefundenen Substanzen mit weiterführenden Informationen

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	Bemerkungen
Einweisung	GC-MS-Kenntnisse vorteilhaft
Spezielle Ausbildung	x

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	Bemerkungen
< 4	
< 8	
> 8	x

<b>Messverfahren:</b>	<b>Gaschromatographie, Massenspektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Griffin 450/460</b>
<b>Firma:</b>	<b>FLIR Systems</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Verdampfbare organische Stoffe</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, € netto Stand 2017	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. 120.000	Grundgerät, Software (inkl. Bibliothek für 500 Stoffe), Laptop, Split/Splitless Injektor, Zubehör Gasversorgung, ...
Sonderzubehör	5.000	Hohe Kosten für Ersatzsäulen, da Heizelement fest verbaut, weitere Ersatzteile verfügbar
Zubehör für alternative Probenaufgabe	xx xx xx xx xx xx	SPME Purge and Trap Headspace Direkter Einlass X-Sorber PSI-Probe Autosampler
Einweisung (Hersteller)		1 bis 2 Tage Training, 3-stufig
Gerätepflege (Benutzer)		
Wartung (Hersteller)		
Kalibrierung		Geräteintern (Perluortributylamin)
Entsorgung		

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht:
  - > Grundgerät: 44 kg (Standardinjektor: Split/Splitless und internes Netzteil)
- Ausrüstung tragbar mit: 2 Person(en)
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > Steuerrechner: 3 kg
  - > Stabile Unterlage
  - > Gasversorgung (Helium/Wasserstoff)

- Notwendige Zusatzausrüstung, je nach benötigter Probenaufgabe:
  - > Purge and Trap: 1,1 kg
  - > Headspace-Probengeber: 6,8 kg
  - > Direkter Einlass (Luftsammler): 0,2 kg
  - > X-Sorber (Mobiler Probensammler): 1,4 kg
  - > PSI-Probengeber: 1,4 kg
- Autosampler: 7,8 kg

### Stromversorgung

Möglichkeit	x	Bemerkungen
Akku + Ladestation	(x)	Optional für X-Sorber
Akku-Grundgerät	x	Optional
Netzteil	x	Geräteintern
Laufleistung im Akkubetrieb		K. A.
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	-	

### Erreichen der Messbereitschaft

- Unter Messbereitschaft wird hier der Zeitraum vom Einschalten des Gerätes bis zum Starten einer Messung angegeben
- Kein Standby-Modus
- Kaltstart: Programm zum Hochfahren dauert etwa 30 min und enthält:
  - > Gasfluss starten
  - > Membranpumpe starten
  - > Turbopumpe starten und Vakuum einstellen
  - > System mit Trägergas spülen
  - > Systemkomponenten hochheizen
  - > System tunen (kalibrieren)

Anmerkung: Zeitintensivster Schritt ist das Hochheizen der Systemkomponenten und kann je nach gewählter Einstellung auch dazu führen, dass das System bedeutend länger als 30 min zum Hochfahren benötigt.



### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: um Betriebszeit bestimmter Komponenten zu prüfen, welche in regelmäßigen Abständen ersetzt werden müssen

### Robustheit

#### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja
- Gedämpfte Bauweise für Fahrzeuge: ja
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: k. A.

#### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Betriebs- und Lagerungstemperatur: 5 bis 40 °C
- Feuchtebeständigkeit: < 85 % r.F.
- Schutzart IP: k. A.

### Handhabung

#### Software

Das Gerät wird ausschließlich über einen PC und eine externe Software bedient.

Spektrinterpretationssoftware	x
Kosten	Im Beschaffungspreis enthalten
Trennung von Bedien- und Servicemenü	Softwareabhängig, unterschiedliche Zugriffsrechte
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	x
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	x
Unterstützung bei der Spektrinterpretation von Nicht-Bibliotheksstoffen	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x

<b>Spektreninterpretationssoftware</b>	<b>x</b>
Automatische und manuelle Mehrkomponentensuche	x
Spektren- und Gefahrstoffbibliothek	x, 500 Stoffe standardmäßig
Sichern der Messdaten	x
Deutschsprachige Menüführung	Nein, englisch
Anwenderfreundliche Bedienstruktur	x
<b>Remote-Software</b>	<b>x (Probenbestückung manuell)</b>
<b>Reach-back-Service</b>	<b>-</b>

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja, ersichtlich aus dem Startbildschirm.
- Warnhinweis bei unsicherer Identifizierung: ja, über Wahrscheinlichkeitswert der Identifizierung einsehbar.
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein, aber aktive Bibliothek kann in jeder Methode frei eingestellt werden und ist mit wenigen Klicks einsehbar.
- Warnhinweis bei nötiger Kalibrierung: nein, die Gerätekalibrierung (Tune) wird automatisch durchgeführt und die Zeitintervalle können frei gewählt werden
- Warnhinweis bei Störungen: ja
- Warnhinweis bei niedrigem Gasstand: ja, bei niedrigem Gasdruck erscheint eine Warnung.

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: nein
- Verdeckter Einsatz: Indirekt, Analyse von Spurenproben vom eventuellen Tatort
- Kontinuierliche Luftüberwachung (Luftspüren): ab Modell 460 möglich (2 Anreicherungsröhrchen, Nr. 1 zum Beprobieren und Nr. 2 wird gemessen)
- Oberflächenmessungen inkl. Wischproben: ja, via PSI-Probenaufgabe (s. 6.1)

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Gesundheitsgefahren: ja, Druckgasversorgung
- Zündgefahren: ja, falls H<sub>2</sub> verwendet wird
- Giftige Betriebsstoffe: nein

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Lösungen
  - > Identifizierungsgrenzen:
    - die Probe muss in die Gasphase überführt werden können (evtl. Probleme bei thermolabilen Substanzen und Hochsiedern)
    - die Substanz muss Bestandteil der verwendeten Bibliothek sein
    - Je nach Beschaffenheit der Probe, Methodenwahl und Scan-Modi können Substanzen bis in den ppt-Bereich nachgewiesen werden
- Querempfindlichkeit: Rauchgase, sonst sehr gering
- Aggregatzustände: flüssig und gasförmig (bedingt auch Feststoffe)
  - > Kurze Erläuterung: möglich mit individueller Probenaufbereitung und spezieller Probenaufgabe (s. Formen der Messung)
- Programmierbare Scan-Algorithmen: ja
- Direkter Zugriff auf zusätzliche Informationen (z. B. Sicherheitsdatenblatt etc.): nein
- Formen der Messung:
  - > Flüssige Proben direkt über den (Split/Splitless) Injektor
  - > Gasförmige und flüssige Proben über Anreicherung via SPME-Fasern mit anschließender Desorption und/oder Verdampfung im modifizierten Injektor
  - > Wässrige Proben können über das Purge- (Gas durchströmt Probe und löst flüchtige Bestandteile heraus) und Trap-Verfahren (Bestandteile werden angereichert und durch Aufheizen kompakt auf die GC-Säule gebracht) analysiert werden
  - > Über das Headspace-System können flüssige und feste Proben erhitzt werden (bis 120 °C), für die Analyse wird anschließend eine Probe vom Gasraum genommen
  - > Mit dem direkten Einlass können gasförmige Proben über eine Anreicherungseinheit dem GC-MS-System zugeführt werden
  - > Über einen mobilen Gassammler (X-Sorber) werden Luftproben auf einer Anreicherungseinheit gesammelt und können anschließend im GC-MS-System gemessen werden
  - > Flüssigkeiten und Feststoffe können ohne Probenvorbereitung mit einer speziellen Probenaufgabe (prepress sample introduction-probe [PSI-Probe] durch Sammeln in einer Kapillare (Touch-and-go-Technologie [TAG]) gemessen werden
  - > In Wasser verdünnte Proben oder gasförmige Headspace-Proben werden mit einem Twister (mit Sorbens beschichteter Festkörper) in Berührung

gebracht und durch anschließende Thermodesorption auf die GC-Säule aufgebracht

- > Eine automatisierte Messung mehrerer flüssiger Proben via Autosampler

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: innen/(außen mit X-Sorber)
- Trägergas: He oder H<sub>2</sub> (ein H<sub>2</sub>-Generator erhältlich)
- Quantifizierung: mit hinterlegter Kalibrierung des jeweiligen Stoffes möglich
- Reinigungsfunktion: Systemreinigung kann durch eigene Methode erfolgen
- Massenspektrometer:
  - > Ionenquelle: Elektronenstoßionisation (EI)
  - > Auftrennungseinheit MS: zylindrische Ionenfalle (CIT)
  - > Massenbereich: 35...425 m/z
  - > Scan-Rate: 1.000 m/z pro Sekunde und zusätzliche 20 Messpunkte pro m/z
  - > Vakuumsystem: Membranpumpe (als Vorpumpe) und Mini-Turbomolekular-Pumpe (für Hochvakuum)
  - > Ionendetektor: Sekundärelektronenvervielfacher mit Konversionsdynode (Ionen werden beschleunigt und prallen auf Metalloberfläche, frei werdende Elektronen werden vom Sekundärelektronenvervielfacher detektiert)
- Gaschromatograph:
  - > Heizung: kein Säulenofen, Säule ist mit Heizmantel umwickelt (40 bis 300 °C)
  - > Trennsäule: unterschiedliche Ausführungen in Material and Länge verfügbar (30 m DB-5ms, ...)
  - > Probenaufgabe/-anreicherung: (Erklärung siehe 6.1 Formen der Messung)
    - Spritze
    - SPME Fiber
    - Purge and Trap
    - Manueller Headspace-Probengeber (in 10 bis 40 °C Schritten bis 120 °C)
    - Direkte Probenahme (Luftsammler)
    - X-Sorber
    - PSI-Probe mittels TAG
    - PSI-Probe mittels GERSTEL-Twister®
    - Autosampler

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Von einer Laborevaluation wird abgesehen!

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Einzelmessungen	x	
Kontinuierliche Gasphasenmessung	x	Ab Modell 460 möglich
Automatischer Abzug des Hintergrundes	x	
Spektrenvorschau (inklusive Bibliothekssuche)	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten/ Spektrn bei Messstart	x	

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	500 GB
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Datum und Uhrzeit
Art der Schnittstellen		Ethernet

### Darstellung der Messwerte

- Massenspektrum für jeden Peak: ja
- Retentionszeit: ja
- Substanzname: ja
- Konzentration: ja, bei Einbindung entsprechender Kalibrierung
- CAS-Nummer: ja
- Formel: ja
- Angabe der Ergebnisgüte: ja
- Angabe der Ergebnisgüte allein durch Farbcode: nein
- Skalierung der Signalintensitäten: absolut
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Einzelstoff-Auswertung: ja
  - > Restsuche manuell auslösbar: ja
  - > Automatische Gemisch-Suche: entfällt, da immer Auftrennung im GC erfolgt
  - > Manuelle Ergebnisinterpretation: ja

- Darstellung der Ergebnisse:
  - > Kurze Erklärung: Spektrum/Chromatogramm, Datenbanktreffer, Methode, Peakfläche (qualitative und quantitative Berichte können ausgegeben werden und enthalten die nötigen Informationen zu Chromatogram und Identifizierung)

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Je nach Benutzerlevel unterscheidet sich der Aufwand
Spezielle Ausbildung	x	

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Im Regelfall sind mehr als 8 h nötig, um sicher mit dem Gerät umgehen zu können
< 8		
> 8	x	

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>DE-tector von Bruker</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoff- und Betäubungsmitteldetektion</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. €	€
Sonstiges Zubehör		
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Hersteller)		

Art	Kosten	Bemerkungen
Instandhaltung (Benutzer)		
Kalibrierung		

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 12,7 kg
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)	x	Puffer für Netzausfälle
Netzteil	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	1 h	
Akku extern aufladbar	x	Optional, Dauer: 4 Stunden
Ersatzakku	x	zukaufbar

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Die Dauer der Einsatzbereitschaft liegt bei ca. 30 Minuten.

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja/nein
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

## Robustheit

### Schutzart

- IP30

### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: wahlweise Hartschalenkoffer oder Softbag
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt
  - > Transportschock: unbekannt

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0–40 °C	0–50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	0–95 %		

- Thermischer Schock: unbekannt

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Touchscreen und optionale Tastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Sprengstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: verfügbar, erweiterbar



### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, 12,1-Zollbildschirm mit Touchscreen
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja
- Akustischer Alarm: ja, Lautstärke einstellbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden (löschen)
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: entfällt
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja, eher Reinigung
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	<b>x</b>
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbildern der Firmware	

<b>Eigenschaften</b>	x
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: entfällt
  - > Gesundheitsgefahren
    - Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: unbekannt, wie regulärer Elektromüll – Röntgenröhre?

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, eingeschränkt in Flüssigkeit)
- Aggregatzustände: fest (Partikelanalyse)

#### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

Explosivstoff	Substanz auf:		
	Probenehmer	Glasoberfläche	Papieroberfläche
	Itemiser 4DX	Itemiser 4DX	Itemiser 4DX
Ammoniumnitrat	10 ng	100 ng	–
PETN	1 ng	5 ng	–
RDX	0,5 ng	5 ng	1.000 ng
TNT	0,5 ng	1 ng	1.000 ng
TATP	300 ng	–	–

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 250 °C
- Selektivität:
- Querempfindlichkeiten:
  - > Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
  - > Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit
- (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ppm]	Dauer [Min]
Partikel		20 Sekunden

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Rücksetzen

#### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	Doppelt
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

#### Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>IONSCAN 600</b>
<b>Firma:</b>	
<b>Anwendung:</b>	<b>Detektion von anhaftenden Spuren von Betäubungsmitteln, neuen psychoaktiven Substanzen und Explosivstoffen</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. 55.000 €	Zzgl. Verbrauchsmaterial: Probenstreifen, VS-Prüfmittel
<b>Sonstiges Zubehör</b>		
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Anwender + Hersteller)	Jährlich, ca. 5 bis 10 % Anschaffungskosten	
Instandhaltung (Benutzer)		Wartungs- und Pflegematerial
Kalibrierung		Interne Kalibratoren, positiv (Nicotinamid)/negativ (4-Nitrobenzonitril)

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 10,43 kg,
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	2 x NC2040-Li-Ionen-Akkus
Netzteil	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	Ca. 1 h

Anforderung	x	Bemerkungen
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku		Extra beziehbar

### Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: mind. 10 Jahre

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min.]
Labor: T: 20 °C, rF: 40 %	10 Minuten
Außenbetrieb: T: 10 °C, rF: 60 %	45–60 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: nein

### Robustheit

#### Schutzart

- Sicherheits- und Gesetzesbestimmungen:  
IEEE C95.1; IEEE C95.6; IEC 60529, FCC Teil 15, Unterabschnitt B, Klasse A;  
ACGIH TVL und BEI; UL61010-1:2012; IEC 61010-1:2010, CAN/CSA 22.2, No  
61010-1: 2012

### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: Transportkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt
  - > Transportschock: unbekannt

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	-20 °C bis +50 °C	-20 °C bis +50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	< 95 %, nicht kondensierend		

- Thermischer Schock: unbekannt

### Handhabung

#### Bedienoberfläche und Menüführung

- Menüführung der Bedienoberfläche: Touchscreen und optionale Folientastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Sprengstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: für nutzereigene Bibliotheken erweiterbar

#### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, Bildschirm mit Touchscreen
  - > Touchscreenfelder mittelgroß, mit Abstand: bedingt bedienbar mit PSA
  - > Akustischer Alarm: ja, abschaltbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: entfällt
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: nein, bei Kontamination manuell Ausheizprogramm aufrufen
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: nein
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein

### Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	<b>x</b>
Plasmagrammdarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	x
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	Entfällt
Deutschsprachige Menüführung	x
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Gerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: nein



## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Aggregatzustand des Probenmaterials: fest (flüssig s. u.)
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, auf Probenträger verdampfbare Flüssigkeiten)
- Identifizierung: via Datenbankabgleich

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Response- und Abklingzeit für Analyte in einem Intensitäts-Zeit-Diagramm darstellbar

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 250 °C  
LOD: ng – unterer µg-Bereich (substanz- und matrixabhängig)
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: entfällt
    - Gegenüber Chemikalien mit annähernd gleichem m/z-Verhältnis Co-Migration (gleiche K0-Werte/Driftzeiten) falsch positiver Alarm möglich
- Substanzidentifikation über Vergleich der K0-Werte

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		

### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch		Manuell
Hohe Speicherkapazität	x	

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: laut Datenbankeintrag (Klarname oder maskiert)
- Konzentration: keine
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden (ist über Driftzeitabweichung, Halbwertsbreite und Intensitäts-Zeit-Verlauf abschätzbar)
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

### Qualifizierung von Einsatzkräften

#### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

#### Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		

<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Itemiser 4DX</b>
<b>Firma:</b>	
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, €	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. 43.850	
Sonstiges Zubehör		Inklusive
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Hersteller)	Ca. 1.250	Jährlich, abhängig von Gerätezahl
Instandhaltung (Benutzer)	< 500	Jährlich, lediglich Wartungs- und Pflegematerial
Kalibrierung	580	Internes Kalibrat, 5 Jahre einsetzbar

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 12,93 kg,
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akku	x	Puffer für den Transport und für Netzausfälle
Netzteil, ersatzweise	x	Reguläre Stromversorgung
Li-Batterien, ersatzweise		Optional
Laufleistung im Akkubetrieb	1 h	
Akku extern aufladbar	x	Optional, Dauer: 4 Stunden
Ersatzakku	x	Zukaufbar

## Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: mind. 10 Jahre

## Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min.]
Kfz/Halle: T: 16 °C, rF: 60 %	30 Minuten
Sommer: T: 25 °C, rF: 40 %	30 Minuten
Winter: T: 5 °C, rF: 80 %	30 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

## Robustheit

### Schutzart

- IP20

## Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein

## Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: wahlweise Hartschalenkoffer oder Softbag
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:
  - > Mechanischer Schock: unbekannt

- > Transportschock: unbekannt

## Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0–40 °C	0–50 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	0–95 %		

- Thermischer Schock: unbekannt

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Touchscreen und optionale Tastatur
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: möglich
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Drogen und Sprengstoffe
- Weitere Substanzbibliotheken: verfügbar, erweiterbar

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja, 10,4-Zoll-Bildschirm mit Touchscreen
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja
  - > Akustischer Alarm: ja, Lautstärke einstellbar
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nicht vorhanden
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: ja
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja

- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eigenschaften der externen Software

<b>Eigenschaften</b>	<b>x</b>
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektrenformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	Entf.
Art der Fernsteuerung	Entf.

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: nein
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: entfällt
  - > Gesundheitsgefahren
    - Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: unbekannt, wie regulärer Elektromüll

### Messtechnische Leistungsfähigkeit

#### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel (regulär feste Stoffe, eingeschränkt in Flüssigkeit)
- Aggregatzustände: fest (Partikelanalyse)

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 230 °C
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit
- (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ppm]	Dauer [Min]
Partikel		8 Sekunden

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Kontinuierlich		
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Rücksetzen

#### Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

#### Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle

- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nicht vorhanden
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4	x	Bediener-, Administrator- und Pflegeschulung (aufeinander aufbauend)
< 8		
> 8		



<b>Messtyp:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometer</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>Mobile Trace</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffdetektion</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten, €	Bemerkungen
Beschaffung	Ca. 33.950	(normaler MobileTrace)
Sonstiges Zubehör		Inklusive
Garantieverlängerung	€/a	Optional
Wartung (Hersteller)	Ca. 1.250	Jährlich, abhängig von Gerätezahl
Instandhaltung (Benutzer)	<500	Jährlich, lediglich Wartungs- und Pflegematerial
Kalibrierung	Ca. 1,25	Je Kalibrierung, durch Kalibrierungsstreifen alle 8 Stunden bei Nutzung

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 4,3 kg inkl. Akku, 5,44 kg bei Hardened MobileTrace
- Mit einer Hand tragbar: ja

### Stromversorgung

Anforderung	x	Bemerkungen
Li-Akkus	x	(2 Stck. im Lieferumfang)
Netzteil, ersatzweise	x	
Li-Batterien, ersatzweise		
Laufleistung im Akkubetrieb	4 h	
Akku extern aufladbar	x	
Ersatzakku	x	Hotswap-fähig

## Hersteller-Support

- Herstellergewährleistung: 12 Monate
- Supportverfügbarkeit: mind. 10 Jahre

## Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [Min]
Kfz/Halle: T: 16 °C, rF: 60 %	30 Minuten
Sommer: T: 25 °C, rF: 40 %	30 Minuten
Winter: T: 5 °C, rF: 80 %	30 Minuten

Anmerkung: Gerät ist als Dauerläufer konzipiert. Nach längerem Stillstand kann eine zusätzliche Stabilisierungszeit erforderlich sein.

## Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich: ja
  - > Warum: integriertes Protokoll

## Robustheit

### Schutzart

- IP20 (IP54 und MIL-STD-810G bei Hardened MobileTrace)

### Resistenz gegenüber Reinigungs- und Desinfektionsmitteln

Bauteil	Bemerkung
Gehäuse	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern
Display	Ja, gegenüber handelsüblichen Reinigern

- Immersion (Untertauchfähigkeit): nein (nur bei „Hardened MobileTrace“)

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Hartschalenkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte:

- > Mechanischer Schock: unbekannt, bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810G
- > Transportschock: unbekannt, bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810G

## Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

Einflüsse	Betrieb	Kurzzeitige Lagerung	Optimale Lagerung
Temperatur [°C]	0 bis 50 °C	-20 bis 60 °C	Raumtemperatur
Für Hardened MobileTrace:	-20 bis 55 °C	-20 bis 60 °C	Raumtemperatur
Luftfeuchte rel. [%]	Bis 95 %	Bis 95 %	

- > Thermischer Schock: unbekannt, bei Hardened MobileTrace gemäß MIL-STD-810G

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: Tasten und Stifteingabe
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer Einstellungen: ja
- Substanzbibliothek:
  - > Umfang: Sprengstoffe und Drogen
- Weitere Substanzbibliotheken:
  - Bei Hardened MobileTrace: (C-Kampfstoffe und TICs)
    - > C-Kampfstoffe: Blut-, Haut-, Nervenkampfstoffe
    - > TICs: Chloride, Zyanide, Säuren und Ammoniakverbindungen

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung:
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: beleuchtet (Hardened MobileTrace: 800 NIT Helligkeit), aber relativ kleine Schrift
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja, große gummierte Tasten, unbeleuchtet
  - > Akustischer Alarm: ja, deaktivierbar
- Verdeckten Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja (im Display)
  - > Vibration (optional): nein

- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei verbrauchter Speicherkapazität: ja
- Warnhinweis bei erschöpften Batterien/Akkus: ja
- Warnhinweis für Filterstatus: nein
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: nein
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung:
  - > Nein: lediglich bei Kalibrierung/Verifikation
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: ja
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für gestörten Gasfluss: ja

### Eigenschaften der externen Software

Eigenschaften	x
Spektrendarstellung	x
Nutzung gängiger Datei- bzw. Spektriformate	
Transformation in andere Dateiformate	x
Bibliotheksänderung durch Nutzer	x
Benutzerdefinierte Auswerteparameter	
Intuitive Bedienstruktur	x
Einbeziehung eigener Spektren in Suche	
Deutschsprachige Menüführung	x
Abbilden der Firmware	
Sichern der Messdaten	x
Fernsteuerung des Handgerätes	
Art der Fernsteuerung	

### Besonderheiten zum Arbeitsschutz

- Strahlenschutz: ja
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: ja (Ni-63, 370 MBq)

- > Gesundheitsgefahren
  - Sicherheitsanforderungen: keine
- Entsorgungskosten: ja

## Messtechnische Leistungsfähigkeit

### Anwendungsmöglichkeiten

- Identifizierung: via Datenbankabgleich
- Stoffliche Zugänglichkeit: Partikel oder Gase
- Aggregatzustände: fest oder gasförmig

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Identifizierungsgrenzen: Verdampfbarkeit bis 230 °C
- Selektivität:
  - > Querempfindlichkeiten:
    - Gegenüber Brandgasen: nicht bestimmt
    - Gegenüber einzelnen Chemikalien: nicht bestimmt
- Übersicht Responsezeit  
(Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)

Chemikalie	Konz.* [ppm]	Dauer [Min.]
Partikelförmig		8 Sekunden
Gasförmig		Bis 12 Sekunden

## Datenmanagement

### Datenaufnahme

Eigenschaften		Bemerkungen
Kontinuierlich	x	
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart		Anzeige bis Rücksetzen

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften	x	Bemerkungen
Automatisch	x	
Hohe Speicherkapazität		1 GB
Warnung bei unzureichender Speicherkapazität	x	
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher		
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	Keine Ortsangaben
Art der Schnittstellen	x	Netzwerk und USB

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: Klarname oder maskiert
- Konzentration: nur in Relation zur Alarmierungsschwelle
- Einheit: keine
- Angabe der Ergebnisgüte: nein
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
- Daten ergänzend zum Messwert:
  - > Datum: ja
  - > Zeit: ja
  - > Ort (GPS): nein

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Keine		Einweisung für die Bediener erforderlich, Schulung für die Administratoren
Keine, aber Einweisung	x	
Spezielle Ausbildung		

## Ausbildungsaufwand

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Bediener-, Administrator- und Pflege- schulung (aufeinander aufbauend)
< 8	x	
> 8		

<b>Messverfahren:</b>	<b>Ionenmobilitätsspektrometrie</b>
<b>Gerätebezeichnung:</b>	<b>SABRE 5000, TriMode FR, Smiths Detection, Handgerät</b>
<b>Anwendung:</b>	<b>Explosivstoffe, CWAs, TICs, Drogen,</b>

## Finanzielle Aspekte

Art	Kosten	Bemerkungen
<b>Beschaffung</b>	25.000 €	Standardmäßiger Lieferumfang; andere Modi abweichend
<b>Sonderzubehör</b>	Keine Angabe	Zusatzsoftware optional
<b>Garantieverlängerung</b>	Keine Angabe	Nach 1 Jahr
<b>Wartung (Hersteller)</b>	–	Nicht bekannt
<b>Ggf. Einweisung v. Wartungspersonal dr. Hersteller</b>	–	Nicht notwendig
<b>Instandhaltung (Benutzer)</b>	900 €	Trockenfilter, Membran, Probestreifen, Standard, Kalibranten
<b>Kalibrierung</b>	–	Automatische Selbstkalibrierung
<b>Entsorgung</b>	kostenpflichtig	Ni-63-β-Strahler, 555 MBq

## Technisch-taktische Parameter

### Gewicht

- Gerätegewicht: 3,2 kg, mit Akku
- Mit einer Hand tragbar: ja
- Notwendige Zusatzausrüstung:
  - > Paketsatz im Transportkoffer: 4 kg

### Stromversorgung

Möglichkeiten	x	Bemerkungen
Akku	x	
Netzteil	x	
Li-Batterien		
Laufleistung im Akkubetrieb	x	4 h <sup>*1</sup>
Akku extern aufladbar	x	Optional bestellbar
Fahrzeugadapter		
Ersatzakku		

\*1 abhängig von der Temperatur, dem Alter des Gerätes und dem Zustand des Akkus

### Erreichen der Messbereitschaft

(Zeit vom Einschalten bis zum Erreichen der Messbereitschaft)

Ausgangszustand	Dauer [min]
T: 20 °C, rF: 25 %	15
T: 30 °C, rF: 20 %	
T: 0 °C, rF: 0 %	

### Laufzeitnachweis

- Betriebsstundenzähler: ja
  - > Zugänglich (Benutzer): ja
  - > Warum: Überprüfung fälliger Serviceintervalle bei ~ 30 Wochenstunden Einsatz
  - > Serviceintervalle: Austausch Trockenfilter (14 Tage), Membran ersetzen (1 Jahr)



## Robustheit

### Reinigung:

- Schutzart: IP: keine Angabe
- Immersion: nein
- Dekontamination: ja, spezielle Anfragen an den Hersteller richten

### Transport und Erschütterungsfestigkeit

- Transportbehälter: ja, Transportkoffer
- Transporthalterung für Fahrzeuge: nein
- Dämpfungshalterung für Transport im Fahrzeug: nein
- Erschütterungs- und Falltoleranzwerte: ja
  - > Transportschock (in Transporteinheit): k. A.
  - > Mechanischer Schock (Messgerät): k. A.

### Übersicht Betriebs- und Nutzungsbereich

- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Betrieb): 0 °C bis +40 °C, < 70 % rel. LF
- Temperatur- und Feuchtebeständigkeit (Lagerung): -20 °C bis +55 °C, < 95 % rel. LF
- Thermischer Schock: nicht bekannt
- Höhenbereich: < 2000 m

### Hersteller-Support

- Garantie: 2 Jahre
- Einschicken notwendig: nein

## Handhabung

### Firmware und Menüführung

- Menüführung der Firmware: logisch, deutsch
- Trennung von Bedien- und Servicemenü: ja (Passwortschutz)
- Möglichkeit zur Anpassung analytischer und sicherheitsrelevanter Einstellungen: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Betriebsart, Deaktivierung ausgewählter Bibliothekssubstanzen, Amplituden-Schwellwert, Variabilität, Wartung, Lautstärke, Uhrzeit, Sprache, Beleuchtung, Steuerparameter
- Substanzbibliothek: ja
  - > Umfang: 19
- Weitere Substanzbibliotheken: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: Drogen (11), CW/TIC (26), ASV (19)

### Warnhinweise im Display

- Warnhinweis bei Nichtbestehen des automatischen Selbsttests bzw. der Eigenprüfung beim Hochfahren: ja
- Warnhinweis bei niedriger Speicherkapazität: nicht bekannt
- Warnhinweis bei niedrigem Ladestand: ja
- Warnhinweis für nötigen Filterwechsel: ja
- Warnhinweis für aktive Bibliothek: ja
- Warnhinweis für aktive Rückspülfunktion: ja (Reinigung)
- Warnhinweis für fehlende Übereinstimmung: nein
  - > Zusätzliche Ergebnisinterpretation: k. A.
- Warnhinweise bei unsicherer Identifizierung: nein
- Warnhinweis für Störung: ja

### Eignung für Sondernutzungen

- Arbeiten unter chemischer Schutzausrüstung: ja
  - > Display beleuchtet, mit hoher Auflösung, ausreichend großer Schriftgröße: ja
  - > Tasten groß, mit genügend Abstand sowie beleuchtet: ja (nicht beleuchtet)
  - > Akustischer Alarm: ja
- Verdeckter Einsatz:
  - > Alarm quittierbar: ja
  - > Optischer Alarm notwendig: ja
  - > Vibration (optional): nein
- Erstellen eigener Bibliotheken möglich: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: nur über Software speicherbar
- Automatisierte Überwachung: ja (nur für CW/TIC)
- Messung aus Bewegung: ja
- Nachtmessung: ja
- Freihandspüren: nein

### Eigenschaften der externen Software

#### Eigenschaften

---

 Kosten
 

---

 Darstellung der Driftzeiten x


---

 Nutzung gängiger Dateiformate
 

---

 Transformation in andere Dateiformate
 

---

 Bibliotheksänderung durch Nutzer x


---

 Benutzerdefinierte Auswerteparameter x


---

**Eigenschaften**

Intuitive Bedienstruktur

Einbeziehung eigener Driftzeiten in die Suche x

Deutschsprachige Menüführung

Abbilden der Firmware x

Sichern der Messdaten x

**Remote-Service**

Kosten

Fernsteuerung des Handgerätes

Art der Fernsteuerung

Sichern der Messdaten

Intuitive Bedienstruktur

Abbilden der Firmware

**Besonderheiten zum Arbeitsschutz**

- Strahlenschutz erforderlich: nein (jährliche Überprüfung notwendig)
  - > Intensität der Strahlenquelle oberhalb der Freigrenze: nein
  - > Gesundheitsgefahren: nein

**Messtechnische Leistungsfähigkeit****Anwendungsmöglichkeiten**

- Identifizierung: Vergleich mit Bibliothek, reine Stoffe, Gemische, Quantifizierung in Form von Balken (1–10)
  - > Querempfindlichkeit: Überlagerung/Fehlinterpretation der Driftzeiten, Reaktionen zwischen Produktionen
- Stoffliche Zugänglichkeit: Gase einsaugen, Flüssigkeiten und Feststoffe auf Probestreifen ins Gerät einführen
  - > Kurze Erläuterung: Substanzen müssen genügend hohen Dampfdruck haben, Lösungsmittel muss abdampfen
  - > Aggregatzustände: Gase, Feststoffe, Flüssigkeiten
  - > Kurze Erläuterung: Feststoffe auf Probenstreifen, Gase einsaugen, Flüssigkeiten trocknen lassen

### Geräteabhängige Leistungsmerkmale

- Einsatzbereich: innen und außen
- Detektor: Faraday-Platte
- Formen der Messung: Punktdetektion (max. 30 cm<sup>2</sup>)
- Messrate: alle 15 bis 480 min je nach Reinigungszeitraum bei Alarm; kontinuierlich für CW/TIC, 2 min bei keinem Alarm
- Durchführung Funktionstest: Leeranalyse mit sauberem Probestreifen, Verifikation

### Sonstige Leistungsmerkmale

- Übersicht Substanzbestimmung: Ansprechzeit 20 s

Explosivstoff	Konzentration
PETN	1 µg
TNT	1,8 ng
RDX	91 ng
Tetryl	1 µg
NG	1 µg

### Datenmanagement

#### Datenaufnahme

Eigenschaften		Bemerkungen
Kontinuierlich	x	Nur CW/TIC möglich
Probenwiederholfrequenz	x	5 bis 15 min
Nach Messstart automatisch ausgelöst	x	
Keine Anzeige von vorherigen Messwerten bei Messstart	x	

## Datensicherung/Datenlogger

Eigenschaften		Bemerkungen
Automatisch	x	
hohe Speicherkapazität	x	300 Messungen
Überschreibung der ältesten Messwerte bei vollem Speicher	x	
Signaturen (Datum, Uhrzeit, Ort/GPS)	x	
Art der Schnittstellen	x	USB

## Darstellung der Messwerte

- Substanzname: ja
- Konzentration: ja (Balkenanzeige)
- Einheit: ja (am PC)
- Angabe der Ergebnisgüte: ja (Amplitude, Segmente, Deltawert)
- Auswertelgorithmen vorhanden: ja
  - > Wenn ja, kurze Erklärung: K0-Werte, Peakintensitäten, Peakkombinationen
- Daten ergänzend zum Messwert: ja
  - > Datum
  - > Zeit
  - > Probennummer

## Qualifizierung von Einsatzkräften

### Vorkenntnisse/Qualifizierung

Kenntnisse	x	Bemerkungen
Einweisung	x	Analytikerfahrung wünschenswert
Spezielle Ausbildung		

### Ausbildungsaufwand für Bediener

Dauer [h]	x	Bemerkungen
< 4		Grundbetrieb
< 8	x	
> 8		

### Spektrometer-Vergleich

hier: Raman-Spektrometer FirstDefender RM/RMX\*  
(Gemischalgorithmus, Innenmessung)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0 Keine	
<b>Organische Stoffe</b>					
Aceton	x				Grün
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x				Grün
Benzol	x				Grün
Chloroform	x				Grün
Diesel	x				Grün
Diethylether	x				Grün
Ephedrin-Hydrochlorid	x				Grün
Essigsäureanhydrid	x				Grün
Ethylmethylketon (Methyl- ethylketon, MEK)	x				Grün
Methanol	x				Grün
Phenylacetone	x				Grün
Phenylessigsäure	x				Grün
Piperidin	x				Grün
Piperonal	x				Grün
Siedegrenzenbenzin 70/110	(x)				Gemisch: Methylcyclohexan 58 %, White Fuel u. a.
Toluol	x				Grün

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben	
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	x					Grün
Kaliumchlorat	x					Grün
Kaliumnitrat	x					Grün
Kaliumpermanganat	x					Grün
Natriumhydroxid					x	
Natriumnitrat	x					Grün
Natriumperchlorat* 1 H <sub>2</sub> O	(x)					Gelb
<b>Weißes Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis-Zubereitung (gefriergetrocknet, 54 M % biologischer Anteil)					x	Keine Ü., mglw. infolge hoher Fluoreszenz
Filterpapier (Cellulose)					x	Keine Ü., mglw. infolge hoher Fluoreszenz
Mehl (Weizen)			x			Grün: Stärke, Dextrin aus Maisstärke, Maismehl (2. P.); Angaben wechselnd
Stärke (Weizen)	x					Grün: Stärke (1. P.), Dextrin aus Maisstärke; Angaben wechselnd
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig					x	K. M. m.
Salzsäure, 37%ig					x	K. M. m.
Salzsäure, 30%ig					x	K. M. m.
Salzsäure, 15%ig					x	K. M. m.
Salpetersäure, 65%ig	x					Grün: Salpetersäure
Salpetersäure, 33%ig		x				Grün, Hitliste: 6* Salpetersäure (1. P.) sowie 5 Nitrate
Salpetersäure, 22%ig		x				Grün, Hitliste: Salpetersäure (1. P.) sowie 6 Nitrate

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0 Keine	
Salpetersäure, 11%ig		x			Grün, Hitliste: Salpetersäure (1. P.) sowie 4 Nitrate und Nitrat-Lösungen
Schwefelsäure, 95%ig	x				Grün: Schwefelsäure 97%ig
Schwefelsäure, 48%ig	x				Grün, Hitliste: Schwefelsäure 50 %ig (1. P.), 25%ig, 12%ig
Schwefelsäure, 24%ig	(x)				Grün: Schwefelsäure 50%ig
Schwefelsäure, 12%ig	x				Grün, Hitliste: Schwefelsäure 12 %ig (1. P.), 25%ig, 50%ig
Wasserstoffperoxid, 30%ig	x				Grün: Wasserstoffperoxid
<b>Mischungen org. Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen</b>					
20%ig			x		Grün: Ethanol
30%ig			x		Grün: Ethanol
40%ig			x		Grün: Ethanol
50%ig			x		Grün: Ethanol
60%ig			x		Grün: Ethanol

**Legende:**

\* – Gerätekonfiguration 2015; Gerät arbeitet ausschließlich mit Gemischalgorithmus

G – Gemisch

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

Grün – Einzelstoff identifiziert, gute Übereinstimmung

Gelb – Übereinstimmung unsicher

Blau – Gemisch, gute Übereinstimmung

(x) – zutreffend, jedoch falsche Konzentration

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

K. M. m. – keine Messung möglich (zu geringe Signalintensität)



## Spektrometer-Vergleich

### Raman-Spektrometer IDRaman mini

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben
	Ein- deutig	Ähnl. Stoff	FALSCH	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>					
Aceton	x				Grün
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x				Grün
Benzol	x				Grün
Chloroform	x				Grün
Diesel				x	
Diethylether	x				Grün
Ephedrin-Hydrochlorid	x				Grün
Essigsäureanhydrid	x				Grün
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x				Grün
Methanol	x				Grün
Phenylacetone (P2P)	x				Grün
Phenyllessigsäure	x				Grün
Piperidin	x				Grün
Piperonal	x				Grün
Siedegrenzenbenzin 70/110					Keine Messung durch- geführt
Toluol	x				Grün
<b>Anorganische Stoffe</b>					
Ammoniumnitrat	x				Grün
Kaliumchlorat	x				Grün
Kaliumnitrat	x				Grün

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben
	Ein- deutig	Ähnl. Stoff	FALSCH	Keine	
Kaliumpermanganat	x				Grün
Natriumhydroxid	x				Grün
Natriumnitrat	x				Grün
Natriumperchlorat* 1 H <sub>2</sub> O	x				Grün
<b>Weißer Pulver</b>					
Bacillus-thuringiensis-Zube- reitung (gefriergetrocknet, 54 Massen-% biologischer Anteil)				x	Keine Ü., mglw. infolge hoher Fluoreszenz
Filterpapier (Cellulose)				x	Keine Ü., mglw. infolge hoher Fluoreszenz
Mehl (Weizen)		X			Treffer: Stärke
Stärke (Weizen)	(x)				Keine zuverlässige Erken- nung, teilw. kein Treffer
Zucker	x				Zucker
<b>Wässrige Lösungen und Technische Produkte</b>					
PBS (Phosphatgepufferte Salzlösung)	x				PBS
Ammoniak-Wasser, 25%ig	x				Grün
Salzsäure, 37%ig				x	K. M. m.
Salzsäure, 30%ig				x	K. M. m.
Salzsäure, 15%ig	x				Grün
Salpetersäure, 65%ig	x				Grün: Salpetersäure
Salpetersäure, 33%ig		x			Treffer: Ammoniumnitrat
Salpetersäure, 22%ig		x			Treffer: Ammoniumnitrat
Salpetersäure, 11%ig		x			Treffer: Bleinitrat
Schwefelsäure, 95%ig	x				Grün
Schwefelsäure, 48%ig				x	

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben
	Ein- deutig	Ähnl. Stoff	FALSCH	Keine	
Schwefelsäure, 24%ig				x	
Schwefelsäure, 12%ig			x		Treffer: Kaliumnitrat
Wasserstoffperoxid, 30%ig	x				Grün: Wasserstoffperoxid
Ethanol (6–96 %)	x				Grün

**Legende:**

G – Gemisch

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

Grün – Einzelstoff identifiziert, gute Übereinstimmung

Gelb – Übereinstimmung unsicher

Blau – Gemisch, gute Übereinstimmung

(x) – zutreffend, jedoch falsche Konzentration

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

K. M. m. – keine Messung möglich (zu geringe Signalintensität)

**Spektrometer-Vergleich**

hier: ATR-FTIR-Spektrometer HazMatID 360\*  
(Einzelstoffalgorithmus, Andruckstempel)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	FALSE Keine	
<b>Organische Stoffe</b>					
Aceton	x				0,968
Anthranilsäure (2-Aminobenzoessäure)	x				0,97
Benzol	x				0,985
Chloroform	x				0,969

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	FALSE	Keine	
Diesel			x			Kerosin (0,994), Mineralöl (0,988), leichtes Mineralöl (0,988), Nonan (0,956), Petroleum (0,955)
Diethylether	x					0,824
Ephedrin-Hydrochlorid					x	
Essigsäureanhydrid	x					0,984
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					0,965
Methanol	x					0,964
Phenylacetone (1-Phenyl-2-propanone)	x					0,963
Phenyllessigsäure	x					0,978
Piperidin					x	Oleylamin (0,444)
Piperonal	x					Piperonal
Siedegrenzenbenzin 70/110			x			Kerosin (0,980),... n-Heptan, Naphtha (LDF), Hean, leichtes Mineralöl, ...
Toluol	x					0,975
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	x					0,991
Kaliumchlorat	x					Kaliumchlorat (0,996), Natriumchlorat (0,937)
Kaliumnitrat	x					Kaliumnitrat (0,993), Natriumnitrat (0,823)
Kaliumpermanganat				x		Kaliumchromat (0,987), Kaliumpermanganat (0,913)
Natriumhydroxid					x	
Natriumnitrat	x					Natriumnitrat (0,996), Kaliumnitrat (0,919)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	FALSE	Keine	
Natriumperchlorat* 1 H <sub>2</sub> O					(x)	Calciumphosphat (0,47), Cobaltperchlorat x 6 H <sub>2</sub> O (0,43), Bariumperchlorat (0,427)
<b>Weißes Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis-Zube- reitung (gefriergetrocknet, 54 M % biologischer Anteil)					x	Biowarning; Trefferliste mit NaSi-Aluminat, Alumi- niumphosphat
Filterpapier (Cellulose)	x					Cellulose (0,974)
Mehl (Weizen)		x				Weizen-Cerealien (0,991), gebleichtes Mehl (0,988), Kornstärke (0,966), Reis-Cerealien (0,966), Stärke (0,96)
Stärke (Weizen)			x			Dextrin – ein Trisaccharid, typisch als Spaltprodukt von Stärke (0,480), Glycogen – wie Stärke ein Polysaccharid (0,927), Reis-Cerealien (0,898)
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig					(x)	Wasser (0,90)
Salzsäure, 37%ig	(x)					Salzsäure, konz. (0,856)
Salzsäure, 30%ig					(x)	Wasser (0,86)
Salzsäure, 15%ig					(x)	Wasser (0,85)
Salpetersäure, 65%ig	x					Salpetersäure (0,952)
Salpetersäure, 33%ig					x	Salzsäure, 28%ig (0,553)
Salpetersäure, 22%ig					x	Kein Treffer
Salpetersäure, 11%ig					(x)	Wasser (0,913)
Schwefelsäure, 95%ig					x	Sand (0,608), diverse Alumosilikate (< 0,6)
Schwefelsäure, 48%ig					x	Kein Treffer

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	FALSE	Keine	
Schwefelsäure, 24%ig					x	<i>Chromsulfat (0,549), Magnesiumsilikat (0,477), Bleisulfat (0,448)</i>
Schwefelsäure, 12%ig					(x)	Wasser (0,91)
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser (0,95)
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen</b>						
20%ig				x		Wasser (0,998)
30%ig				x		Wasser (0,982)
40%ig				x		Wasser (0,959)
50%ig	(x)					Ethanol (0,924)
60%ig	(x)					Ethanol (0,873)
Nachmessungen mit Gemischalgorithmus						
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen</b>						
20%ig				x		Ethanol nicht gefunden/ Wasser (0,994)
30%ig	(x)					Ethanol (0,747)/ Wasser (0,981)
40%ig	(x)					Ethanol (0,803)/ Wasser (0,960)
50%ig	(x)					Ethanol (0,827)/ Wasser 0,917)
60%ig	(x)					Ethanol (0,874)/ Wasser (0,861)
<b>Weitere Auswahl</b>						
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser (0,90)
Ammoniak-Wasser, 25%ig				x		Wasser (0,90)
Salzsäure, 37%ig	(x)					Salzsäure 27,9 % (0,85)
Salzsäure, 30%ig				(x)		Wasser (0,859)/ Natriumsulfat (0,322) ff.

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben mit Korrelationsfaktor
	Ein-deutig	Treffer-liste	Ähnl. Stoff	FALSE	Keine	
Schwefelsäure, 48%ig				(x)		Perchlorathexahydrat (0,332) ff.

**Legende:**

\* – Neumessung März 2017; Gerätekonfiguration 2010; Lampenenergie ca. 21.000; Messung mit Einzelstoffalgorithmus; Wertung als Treffer ab Korrelation von > 0,95

\*\* – Ergebnisse der Nachmessung ausgewählter Lösungen bzw. Verdünnungen mit Gemischalgorithmus

G – Gemisch

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

kursiv – bei Einzelstoffalgorithmus nicht als belastbares Ergebnis zu werten, da Korrelation < 0,95

**Spektrometer-Vergleich**

hier: ATR-FTIR-Spektrometer HazMatID Elite\*  
(mit Andruckstempel, Gemischalgorithmus)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein-deutig	Treffer-liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>						
Aceton	x					
Anthranilsäure (2-Aminobenzoesäure)	x					
Benzol	x					
Chloroform	x					
Diesel			x			Kerosin
Diethylether				x		Gemisch: 4/5 Diethylether, 1/5 3-Ethoxypropylamin, 0/5 3-Ethoxy-1-propanon u. a. Varianten

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
Ephedrin-Hydrochlorid				x		Gemisch: 1/5 Dimethylamin* HCl, 1/5 sec. Butylamin, 0/5 Diisobutylamin* HCl u. a. Varianten
Essigsäureanhydrid	x					
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					
Methanol	x					
Phenylacetone	x					
Phenylessigsäure	x					
Piperidin				x		Gemisch: 3-Methylpiperidin, 1,2,3,4-Tetrahydroisoquino- lin, Tridecylamin
Piperonal	x					
Siedegrenzenbenzin 70/110			x			n-Heptan
Toluol	x					
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	x					
Kaliumchlorat	x					
Kaliumnitrat	x					
Kaliumpermanganat	x					
Natriumhydroxid					x	
Natriumnitrat	x					
Natriumperchlorat* 1 H <sub>2</sub> O				x		Gemisch: 3/5 Kaliumsulfat/ 2/5 Kobaltchlorat* 6 H <sub>2</sub> O
<b>Weißes Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis-Zube- reitung (gefriergetrocknet, 54 M % biologischer Anteil)				x		Biowarnung; Gemisch: 3/5 Aluminiumphosphat, 1/5 2,4-Dimethylpiperidin, 1/5 Hexachlordisiloxan



Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
Filterpapier (Cellulose)	x					
Mehl (Weizen)			x			Weizen-Cerealien
Stärke (Weizen)			x			Dextrin
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig				x		Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 3-Methoxy-3-methylbutanol, 1/5 Hexachlordisiloxan
Salzsäure, 37%ig			(x)			Gemisch: 3/5 27,9%ige HCl, 1/5 3-Phenylpropylamin, 0/5 Ammoniumdichromat
Salzsäure, 30%ig			(x)			Gemisch: 3/5 27,9%ige HCl, 2/5 Wasser
Salzsäure, 15%ig				x		Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Natriummetabisulfit
Salpetersäure, 65%ig	x					Salpetersäure
Salpetersäure, 33%ig				x		Gemisch: 2/5 Ammoniumjodid, 1/5 Phosphoroxchlorid, 1/5 2-(Diethylamino)ethylmethacrylat
Salpetersäure, 22%ig				x		Gemisch: 3/5 Wasser, 1/5 Ammoniumjodid, 1/5 Formamid
Salpetersäure, 11%ig				x		Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 Kaliumnitrat, 0/5 Phosphoroxchlorid
Schwefelsäure, 95%ig				x		Gemisch: 2/5 6-Bromnicotinsäure, 1/5 4-(Hydroxyamino)quinolin, 1/5 4-Brompyridin
Schwefelsäure, 48%ig					x	Kein Treffer
Schwefelsäure, 24%ig				x		Chromsulfat u.v.a. Varianten
Schwefelsäure, 12%ig				x		Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 PTFE
Wasserstoffperoxid, 30%ig				x		Wasser

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis**					Trefferangaben
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen (Vol.-%)</b>						
20%ig	(x)					Gemisch: 5/5 Wasser, 0/5 Ethanol
30%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol
40%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol, 0/5 Cyanursäure
50%ig	(x)					Gemisch: 4/5 Wasser, 1/5 Ethanol, 0/5 Methanol u. a. Varianten
60%ig	(x)					Gemisch: 3/5 Wasser, 2/5 Ethanol, 0/5 3,5-Dibrom- 4-pyridazolin-2-oxid u. a. Varianten

**Legende:**

\* – Gerätekonfiguration aus 2013; Gerät arbeitet ausschließlich mit Gemischalgorithmus

\*\* – Trefferliste ohne Angaben zum Grad der Übereinstimmung (optional externe Nachinterpretation mit HazMatID-Gesamtsoftware)

G – Gemisch

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

**Spektrometer-Vergleich**

hier: ATR-FTIR-Spektrometer Trudelfender FTX\*  
(mit Andruckstempel, Gemischalgorithmus)

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben/ Ergebnisprüfung
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
<b>Organische Stoffe</b>						
Aceton	x					Grün

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben/ Ergebnisprüfung
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
Anthranilsäure (2-Aminobenzoessäure)	x					Grün
Benzol	x					Grün
Chloroform	x					Grün
Diesel		x				Grün: 11 Ü. mit 6 Diesel/ 1.-4. P.
Diethylether	x					
Ephedrin-Hydrochlorid					x	Keine Ü., Molekülsignal zu schwach
Essigsäureanhydrid	x					Grün
Ethylmethylketon (Methylethylketon, MEK)	x					Grün
Methanol	x					Grün
Phenylacetone	x					Grün
Phenyllessigsäure		(x)				Grün: Phenyllessigsäure, Phenylacetylchlorid
Piperidin	x					Grün
Piperonal	x					Grün
Siedegrenzenbenzin 70/110		x				Grün: 15 Ü. (Kerosin, Octan, 3-Methylheptan, 2-Methyl- heptan, Nonan, Diesel, Heptan, ...) / 2.-4. P
Toluol	x					Grün
<b>Anorganische Stoffe</b>						
Ammoniumnitrat	(x)					Gelb
Kaliumchlorat	x					Grün: Kaliumchlorat, Natriumchlorat
Kaliumnitrat	x					Grün: Kaliumchlorat, Natriumchlorat
Kaliumpermanganat					x	Keine Übereinstimmung, obwohl in BT

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis				Trefferangaben/ Ergebnisprüfung	
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0		Keine
Natriumhydroxid					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Natriumnitrat	x					Grün: Natriumnitrat, Lithiumnitrat
Natriumperchlorat * 1 H <sub>2</sub> O	(x)					Gemisch: Natriumperchlorat (62 %) / Natriumperchlorat + H <sub>2</sub> O (4 %)
<b>Weißer Pulver/Biologische Materialien</b>						
Bacillus-thuringiensis-Zube- reitung (gefriergetrocknet, 54 M % biologischer Anteil)					x	Keine Übereinstimmung
Filterpapier (Cellulose)	x					Grün
Mehl (Weizen)	x					Grün: Mehl, ungebleicht
Stärke (Weizen)		x				Grün: Weizenstärke, Dextrin aus Maisstärke, Babypuder, Maisstärke, ...
<b>Wässrige Lösungen/Technische Produkte</b>						
Ammoniak-Wasser, 25%ig	x					Grün: Ammoniumhydroxid
Salzsäure, 37%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Salzsäure, 30%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Salzsäure, 15%ig					x	Keine Übereinstimmung, nicht in BT
Salpetersäure, 65%ig	x					Grün: Salpetersäure, rau- chend/Salpetersäure 52 %ig, Salpetersäure
Salpetersäure, 33%ig	x					Grün: Salpetersäure, 35%ig
Salpetersäure, 22%ig	x					Grün: Salpetersäure, 18%ig
Salpetersäure, 11%ig	(x)					Grün: Salpetersäure, 18%ig
Schwefelsäure, 95%ig			(x)			Grün: Schwefelsäure, 50%ig
Schwefelsäure, 48%ig			(x)			Grün: Schwefelsäure, 25%ig

Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben/ Ergebnisprüfung
	Ein- deutig	Treffer- liste	Ähnl. Stoff	0	Keine	
Schwefelsäure, 24%ig	x					Gelb: Schwefelsäure, 25%ig
Schwefelsäure, 12%ig	x					Grün: Schwefelsäure, 10%ig
Wasserstoffperoxid, 30%ig	(x)					Grün: Wasserstoffperoxid- Lsg.
<b>Mischungen organischer Stoffe, hier: Ethanol-Wasser-Mischungen</b>						
20%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (39 %), Wasser (53 %)
30%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (54 %), Wasser (36 %)
40%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (72 %), Wasser (18 %)
50%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (82 %), Wasser (11 %)
60%ig	(x)					Gemisch: Ethanol (88 %), Wasser (5 %)

**Legende:**

\* – Gerätekonfiguration aus 2016, Gerät arbeitet ausschließlich mit Gemischalgorithmus

G – Gemisch

Grün – Einzelstoff identifiziert, gute Übereinstimmung

Gelb – Übereinstimmung unsicher

Blau – Gemisch, gute Übereinstimmung

Ü – Übereinstimmung bzw. Treffer

x – zutreffend

P – Listenplatz in Trefferliste

BT – Spektrenbibliothek

**Vorbemerkung zu Anhang 4**

Die allgemeine Vorgehensweise zur Bewertung der unterschiedlichen Messgeräte findet sich zu Beginn des Kapitel 4.3 (Nr. 1 Messkampagne IBK, Buchstabe a).

Unter Laborbedingungen ist zu verstehen, dass die Bedienung ohne Schutzkleidung und bei guten Lichtverhältnissen durchgeführt wurde. Im Gegensatz dazu waren die Lichtverhältnisse bei der Bedienung unter Chemikalienschutzanzug nicht mehr optimal. Zusätzlich wurde die Bedienung erschwert durch den Schutzanzug selbst, die Einschränkung der Sicht durch die Sichtscheiben von Schutzmaske und CSA sowie die Verwendung der dicken Schutzhandschuhe.

Die Punktebewertung orientierte sich an folgender Bewertungsmatrix:

Note	Punktzahl je Test	Gesamtpunktzahl	Erfüllung in %
Ungenügend	0–1	0–2	0–25
Genügend	2	3–4	26–45
Befriedigend	3	5–6	46–65
Gut	4	7–8	66–89
Sehr gut	5	9–10	90–100

**Messgerät: PID**  
**Name: Mini Rae**

**Firma: Rae Systems**

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	3	4	3	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	3	4	3
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	5	4	5	4
Auflösung/Kontrast?	5	3	5	3
Helligkeit?	5	3	5	3
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	3	5	3
Tastengröße?	5	4	3	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	5	3	2
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	3	5	3
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	4	5	4
Bedienung der Menüführung?	3	3	3	2
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	5
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	5
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	71	59	76	64
Durchschnittswert:	65		70	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	87		82	
Gesamtpunktzahl:	135			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	84			
Gesamturteil:	gut			

Messgerät: PID  
Name: Multi Rae

Firma: Rae Systems

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	4	4	3	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	4	4	3	4
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	3	4	3	3
Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
Helligkeit?	5	4	4	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	1	2	1	0
Tastengröße?	4	3	0	0
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	3	0	0
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	3	3	3	2
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	3	3	3	2
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	4	5	4
Bedienung der Menüführung?	3	3	0	0
Erstauswertung unter CSA realistisch?			4	5
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	5
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	60	57	54	53
Durchschnittswert:	58,5		53,5	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	78		63	
Gesamtpunktzahl:	112			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	70			
Gesamturteil:	gut			



Messgerät: PID  
Name: TIGER

Firma: ISM

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	5	5	5	5
Display bei Nutzung gut einsehbar?	4	4	3	4
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	4	4	3	4
Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
Helligkeit?	5	4	5	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	4	5	4
Tastengröße?	5	4	5	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	4	5	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	5	5
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	4	4	4	4
Bedienung der Menüführung?	2	3	2	3
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	5
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	4
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	69	66	77	74
Durchschnittswert:	67,5		75,5	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	90		89	
Gesamtpunktzahl:	143			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	89			
Gesamturteil:	gut			

Messgerät: **IMS**  
Name: **RAID-M 100**

Firma: **Bruker**

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	3	3	3	2
Display bei Nutzung gut einsehbar?	3	1	3	1
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	4	5	4
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	3	3	3	2
Auflösung/Kontrast?	4	2	4	2
Helligkeit?	3	3	3	2
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	3	2	3	2
Tastengröße?	5	5	5	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	4	5	3
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	4	4	4	4
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	4	5	4
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	4	4	4	4
Bedienung der Menüführung?	3	3	3	3
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	4
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	3
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	60	52	70	53
Durchschnittswert:	56		61,5	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	75		72	
Gesamtpunktzahl:	117,5			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	73			
Gesamturteil:	gut			

Messgerät: IMS  
Name:  $\mu$ -RAID

Firma: Bruker

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	3	4	2	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	3	3	3	3
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	2	2	1	2
Auflösung/Kontrast?	2	4	2	4
Helligkeit?	5	4	5	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	3	3	3	3
Tastengröße?	4	4	3	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	4	4	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	4	4	4	4
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	2	1	1	1
Probenaufgabe?	5	4	5	4
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	3	2	3	2
Bedienung der Menüführung?	3	2	3	1
Erstauswertung unter CSA realistisch?			2	2
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	5
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	54	51	56	56
Durchschnittswert:	52,5		56	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	70		66	
Gesamtpunktzahl:	108,5			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	68			
Gesamturteil:	gut			

Messgerät: IMS  
Name: LCD3.3

Firma: Smiths Detection

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	5	5	4	5
Display bei Nutzung gut einsehbar?	4	3	4	3
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	5	3	3	2
Auflösung/Kontrast?	5	3	4	2
Helligkeit?	5	3	4	1
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	4	5	4
Tastengröße?	5	4	5	4
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	4	5	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
5				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	4	5	5
Probenaufgabe?	5	4	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	4	4	4	4
Bedienung der Menüführung?	5	4	5	4
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	5
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			5	4
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	73	60	83	67
Durchschnittswert:	66,5		75	
Mögliche Punkte:	75		85	
Anteil in %:	89		88	
Gesamtpunktzahl:	141,5			
Mögliche Punkte:	160			
Anteil in %:	88			
Gesamturteil:	gut			

Messgerät: FPD  
Name: AP4C

Firma: Proengine

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	4	4	4	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	5	3	4
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	3	4	1	3
Auflösung/Kontrast?	3	4	3	4
Helligkeit?	3	4	3	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	k. A.*	k. A.*	k. A.*	k. A.*
Tastengröße?	k. A.*	k. A.*	k. A.*	k. A.*
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	k. A.*	k. A.*	k. A.*	k. A.*
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	4	5	4	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	5	5
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	4	4	4	4
Bedienung der Menüführung?	k. A.**	k. A.**	k. A.**	k. A.**
Erstauswertung unter CSA realistisch?			4	4
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?			3	3
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	46	50	49	55
Durchschnittswert:	48		52	
Mögliche Punkte:	55		65	
Anteil in %:	87		80	
Gesamtpunktzahl:	100			
Mögliche Punkte:	120			
Anteil in %:	83			
Gesamturteil:	gut			

\*

Keine Tasten, nur ein Drehschalter

\*\*

Keine Menüführung vorhanden

**Messverfahren: Raman**  
**Name: First DefenderRM/X**

**Firma: Thermo Fisher Scientific**

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	5	4	5	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	4	5	4
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	5	4	4	4
Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
Helligkeit?	5	4	5	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	4	5	4
Tastengröße?	5	5	5	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	5	4	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	5	3
Probenaufgabe?	5	5	5	5
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	5	5	5
Bedienung der Menüführung?	5	5	5	5
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	5
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?				
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	75	70	78	70
Durchschnittswert:	72,5		74	
Mögliche Punkte:	75		80	
Anteil in %:	97		93	
Gesamtpunktzahl:	146,5			
Mögliche Punkte:	155			
Anteil in %:	95			
Gesamturteil:	sehr gut			

**Messverfahren: (ATR-FTIR)**  
**Name: Tru Defender FTX**

**Firma: Thermo Fisher Scientific**

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	4	4	4	4
Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	4	5	5
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	5	4	4	4
Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
Helligkeit?	5	4	5	4
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	4	5	4
Tastengröße?	5	5	5	3
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	5	5	4	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	5
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	3	3
Probenaufgabe?	4	3	4	3
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	4	4	2
Bedienung der Menüführung?	5	5	5	5
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	3
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?				
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	73	67	73	64
Durchschnittswert:	70		69	
Mögliche Punkte:	80		85	
Anteil in %:	88		81	
Gesamtpunktzahl:	139			
Mögliche Punkte:	165			
Anteil in %:	84			
Gesamturteil:	gut			

**Messverfahren: Raman +ATR-FTIR  
in Kombination  
Name: GEMINI Analyzer**

**Firma: Thermo Fisher Scientific**

Testkriterium/Fragen	Punkte			
	Laborbedingungen		mit CSA	
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe A	Gruppe B
<b>Gewicht/Handlichkeit</b>				
Leicht für ermüdungsfreie Nutzung?	3	3	3	3
Display bei Nutzung gut einsehbar?	5	5	5	5
<b>Zubehör</b>				
In handlichem Koffer verpackt?	5	5	5	5
Leicht zugänglich/herausnehmbar?	5	5	5	5
<b>Display/Ablesbarkeit</b>				
Schriftgröße?	5	4	5	4
Auflösung/Kontrast?	5	5	5	5
Helligkeit?	5	5	5	5
<b>Tastatur</b>				
Ablesbarkeit der Tasten bzw. Zuordnung der Anzeigen im Display?	5	3	5	4
Tastengröße?	5	5	5	4
Auslösbarkeit der Tasten bei gleichzeitig geringer Fehlbedienung?	4	5	3	4
<b>Sonstiges/Übergreifendes</b>				
Rasches Erreichen der Betriebsbereitschaft (BB)?	5	5	5	3
Einfaches Handling zur Herstellung der BB?	5	5	5	3
Probenaufgabe?	R:5/IR:3	R:5/IR:3	R:5/IR:3	R:5/IR:2
Problemlose Reinigung für erneute Messung?	5	4	4	3
Bedienung der Menüführung?	4	4	4	4
Erstauswertung unter CSA realistisch?			5	4
Alarmsignale unter CSA wahrnehmbar?				
<b>Auswertung</b>				
Zwischensumme:	74	71	77	68
Durchschnittswert:	73		73	
Mögliche Punkte:	80		85	
Anteil in %:	91		85	
Gesamtpunktzahl:	145			
Mögliche Punkte:	165			
Anteil in %:	88			
Gesamturteil:	gut			



## Messergebnisse FirstDefenderRM

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Vorläufersubstanzen für BTM</b>							
18	$\alpha$ -Phenylacetoacetonitril (APAAN)	x					$\alpha$ -Acetylphenylacetoneitril
12	Benzylmethylketon (BMK, P2P)	x					Phenylacetone
4	Org. Phase Leuckart 1: N-Formylamphetamin			x			Gemisch: 93 % N-Benzyl-2-phenethylamin, 3 % beta-Methylphenethylamin
8	Wäss. Syntheseabfall Leuckart 1: N-Formylamphetamin					x	Keine Übereinstimmung
1	„Reactive Duo“ Tabletten (Pseudoephedrin)	x					Gemisch: 63 % (+)-Pseudoephedrin-Hydrochlorid, 34 % Titanoxid
2	Pseudoephedrin	x					(+)-Pseudoephedrin-Hydrochlorid
20	Piperonylmethylketon (PMK, MDP2P)	x					3,4-Methylenedioxyphenyl-2-propan (MDP2P)
<b>Verschiedene Syntheseprodukte unterschiedlicher BTM</b>							
5	Org. Phase Leuckart 2: Amphetamin (AM-Base)						Keine Messung durchgeführt
10	Wäss. Syntheseabfall Leuckart 2 (AM-Base)					x	Keine Übereinstimmung

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
3	Wäss. Abfall aus Was- serdampfdestillation einer AM-Synthese					x	Benzoyloxyacetaldehyd
11	Abfall AM-Sulfat Fällung					x	Keine Übereinstimmung
13	Gefälltes AM + Koffein		x				Gemisch: 91 % Koffein, 6 % $\alpha$ -Vinylbenzylalkohol
2	AM + Koffein + Lactose					x	Keine Übereinstimmung
7	Syntheseabfall Meth- amphetamin					x	Keine Übereinstimmung
6	N-methyl-alpha- Methylphenethylamin (MA)	x					Methamphetamin- Hydrochlorid
9	3,4-Methylendioxy- N-methyl-amphet- amin (MDMA-HCL) in Aceton	x					Aceton
29	MDMA, synthesesetp. verunreinigt	x					MDMA-Hydrochlorid
6	MDMA	x					3,4-Methylenedioxy-meth- amphetamine (MDMA)
30	5 XCT Gespenst Ecs- tasy-Tablette (MDMA)	x					MDMA-Hydrochlorid
32	NONA-Base		x				Gemisch: 71 % Dihydro- safrol, 16 % Piperonyl- acetat, 5 % MDEA-Hydro- chlorid
<b>Sonstige BTM</b>							
	Kokain 96 %	x					Kokain-Hydrochlorid
	Kokain-Base (Crack 99 %)	x					Kokain-Base
5	Kokain-Hydrochlorid	x					Kokain-Hydrochlorid
6	Kokain + Koffein (60/40)	((x))					Koffein

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
	Heroin 53 %					x	Keine Übereinstimmung
<b>Häufig eingesetzte Lösungsmittel zur BTM Herstellung</b>							
14	Ameisensäure	x					Ameisensäure
16	Salzsäure					x	Keine Übereinstimmung
22	Schwefelsäure	x					Schwefelsäure
31	Natronlauge					x	Keine Übereinstimmung
23	Benzaldehyd	x					Benzaldehyd
15	Formamid	x					Formamid
24	N-Methylformamid	x					N-Methylformamid
19	Wssr. Methylamin-Lsg., 40 %	x					Methylamin (40 Gew.-% in Wasser)
17	Methanol	x					Methanol
21	Aceton	x					Aceton
<b>Tablettier-/Hilfsstoffe und Streckmittel</b>							
25	Koffein	x					Koffein
26	Cellulose	((x))					Gemisch: 51 % Cellulose, 13 % Diethylcarbonat
27	Laktose Monohydrat	x					Alpha-Lactosemono- hydrat
28	Stärke	x					Stärke
	RV 2/10 (64 % Paraceta- mol, 28 % Coffein)	((x))					Gemisch: 82 % Paraceta- mol, 4 % 7-(beta-Hydroxy- ethyl)theophyllin
<b>Explosivstoffe</b>							
	PETN in Methanol, 0,1%ig						Keine Messung durchgeführt
	DM 12 (PETN-Zubereitung)						Keine Messung durchgeführt

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
	RDX						Keine Messung durchgeführt
	TNT						Keine Messung durchgeführt

### Messergebnisse TruDefender

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Vorläufersubstanzen für BTM</b>							
18	$\alpha$ -Phenylacetoacetonitril (APAAN)	x					$\alpha$ -Acetylphenylacetoneitril
12	Benzylmethylketon (BMK, P2P)	x					Phenylacetone
4	Org. Phase Leuckart 1: N-Formylamphetamin					x	Keine Übereinstimmung
8	Wäss. Syntheseabfall Leuckart 1: N-Formylamphetamin					x	Keine Übereinstimmung
1	„Reactive Duo“ Tabletten (Pseudoephedrin)						Keine Messung durchgeführt
2	Pseudoephedrin	x					Pseudoephedrin-Hydrochlorid
20	Piperonylmethylketon (PMK, MDP2P)					x	Keine Übereinstimmung
<b>Verschiedene Syntheseprodukte unterschiedlicher BTM</b>							
5	Org. Phase Leuckart 2: Amphetamin (AM-Base)					x	Keine Übereinstimmung
10	wäss. Syntheseabfall Leuckart 2 (AM-Base)						Keine Messung durchgeführt

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
3	Wäss. Abfall aus Was- serdampfdestillation einer AM-Synthese						Keine Messung durchgeführt
11	Abfall AM-Sulfat Fällung					x	Keine Übereinstimmung
13	Gefälltes AM + Koffein	(x)					Nur Koffein erkannt
2	AM + Koffein + Lactose					x	Keine Übereinstimmung
7	Syntheseabfall Meth- amphetamin					x	Keine Übereinstimmung
6	N-methyl-alpha- Methylphenethylamin (MA)	x					d,l-Methamphetamin- Hydrochlorid
9	3,4-Methylendioxy- N-methyl-amphet- amin (MDMA-HCL) in Aceton					x	Keine Übereinstimmung
29	MDMA, synthesesetyp. verunreinigt					x	Keine Übereinstimmung
6	MDMA					x	Keine Übereinstimmung
30	5 XTC Gespenst, Ecstasy-Tabl. (MDMA)					x	Keine Übereinstimmung
32	NONA-Base			x			Dihydrosafrol
<b>Sonstige BTM</b>							
	Kokain 96 %	x					Kokain-Hydrochlorid
	Kokain-Base (Crack 99 %)	x					Kokain-Base
5	Kokain-Hydrochlorid	x					Kokain-Hydrochlorid
6	Kokain/Methampheta- min + Coffein (60/40)	((x))					Koffein
	Heroin 53 %	x					Gemisch: 73 % Heroin und 2 % Codeinsulfat

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
<b>Häufig eingesetzte Lösungsmittel zur BTM-Herstellung</b>							
14	Ameisensäure						Keine Messung durchgeführt
16	Salzsäure					x	Keine Übereinstimmung
22	Schwefelsäure		x				Schwefelsäure 12%ig, 25%ig, 50%ig
31	Natronlauge					x	Keine Übereinstimmung
23	Benzaldehyd	x					Benzaldehyd
15	Formamid	x					Formamid
24	N-Methylformamid	x					N-Methylformamid
19	Wssr. Methylamin-Lsg., 40 %	x					Gemisch: 84 % einer 40%igen MA-Lsg., 2 % Chloracrylnitril
17	Methanol	x					Methanol
21	Aceton	x					Aceton
<b>Tablettier-/Hilfsstoffe und Streckmittel</b>							
25	Koffein	x					Koffein
26	Cellulose	((x))					Gemisch: 80 % Cellulose, 12 % Nadolol
27	Laktose Monohydrat	x					$\alpha$ -Laktosemonohydrat
28	Stärke		x				Babypuder, Dextrin aus Maisstärke, Weizenstärke, Maisstärke, Amylopektin, Maltodextrin
	RV 2/10 (64 % Paraceta- mol, 28 % Koffein) (1:1)	((x))					Paracetamol
<b>Explosivstoffe</b>							
	PETN in Methanol, 0,1%ig	((x))					Methanol

Nr.	Stoff	Identifizierung bzw. Nachweis					Trefferangaben
		Ein- deutig	Tref- ferliste	Ähnl. Stoff	Falsch	Keine	
	DM 12 (PETN-Zube- reitung)	(x)					Gemisch: 56 % PETN, 18 % 1,7-Dichlor-octame- thyltetrasiloxan
	RDX	x					Gemisch: 94 % RDX, 2 % RDX/HMX, 2 % Deca- hydronaphthalin, 1 % Dicyclohexyl
	TNT	x					TNT



## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Prüfröhrchen, oben: beprobt, unten: neu	27
<b>Abbildung 2:</b> Positiver Ammoniumionen-Nachweis; Testsatz: IDenta	30
<b>Abbildung 3:</b> Positiver Perchlorat-Nachweis (linke Seite), negativer Perchlorat-Nachweis (rechte Seite); Testsatz ExPen	32
<b>Abbildung 4:</b> Möglicher Aufbau eines IR-Gassensors	36
<b>Abbildung 5:</b> Schematischer Aufbau eines katalytischen Wärmetönungssensors	38
<b>Abbildung 6:</b> Schematischer Aufbau einer elektrochemischen Zelle	43
<b>Abbildung 7:</b> Schematischer Aufbau eines Photoionisationsdetektors	47
<b>Abbildung 8:</b> Schematischer Aufbau eines Ionenmobilitätsspektrometers	51
<b>Abbildung 9:</b> Prozesse im Ionenmobilitätsspektrometer	52
<b>Abbildung 10:</b> Raman-Spektrum von Toluol (reinst, 99,9 %)	55
<b>Abbildung 11:</b> Schematische Darstellung eines ATR-Spektrometers	62
<b>Abbildung 12:</b> Schematische Darstellung eines Michelson-Interferometers	63
<b>Abbildung 13:</b> IR-Spektrum von Methanol (reinst, 99,9 %)	64
<b>Abbildung 14:</b> Ortsaufgelöstes Identifikationsbild mittels passiver FTIR-Fernerkundung	69
<b>Abbildung 15:</b> Schematischer Aufbau einer Röntgenröhre	73
<b>Abbildung 16:</b> Röntgenfluoreszenzspektrum der Elemente Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Gold (Au) und Brom (Br)	75
<b>Abbildung 17:</b> Schematische Darstellung eines Gaschromatographen	79
<b>Abbildung 18:</b> Schematische Darstellung Quadrupol-Massenspektrometer	80
<b>Abbildung 19:</b> Massenspektrum von Trichlormethan (Chloroform)	81



<b>Abbildung 20:</b> Übersicht der wichtigsten chemischen Kampfstoffe	122
<b>Abbildung 21:</b> Testsatz IDenta	147
<b>Abbildung 22:</b> Testsatz ExPen	148
<b>Abbildung 23:</b> Testsatz Expray	149
<b>Abbildung 24:</b> SEEKERe	150
<b>Abbildung 25:</b> Beprobungskarte SEEKERe	151
<b>Abbildung 26:</b> Verdünnungsreihe für TNT	183
<b>Abbildung 27:</b> Photoionisationsmesswerte für Aceton bei 70 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich	190
<b>Abbildung 28:</b> MultiRAE-Messwerte für Aceton bei 70 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich	191
<b>Abbildung 29:</b> Photoionisationsmesswerte für Toluol bei 63 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich	193
<b>Abbildung 30:</b> MultiRAE-Messwerte für Toluol bei 63 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich	194
<b>Abbildung 31:</b> Photoionisationsmesswerte für Ethanol bei 43 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich	196
<b>Abbildung 32:</b> MultiRAE-Messwerte für Ethanol bei 60 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich	197
<b>Abbildung 33:</b> Photoionisationsmesswerte von n-Hexan bei 31 % relativer Luftfeuchte, linearer Messbereich	199
<b>Abbildung 34:</b> MultiRAE-Messwerte für n-Hexan bei 31 % relativer Luftfeuchte, vollständiger Messbereich	200
<b>Abbildung 35:</b> Raman-Spektren von Salpetersäure, oben Konz. 65 %, unten Konz. 33 %	222
<b>Abbildung 36:</b> Raman-Spektren von Schwefelsäure, oben Konz. 96 %, unten Konz. 12 %	224
<b>Abbildung 37:</b> Versuchsaufbau zur Evaluierung passiver Ferndetektion beim IBK	272
<b>Abbildung 38:</b> Schematischer Versuchsaufbau zur Methylamin-Freisetzung	277

<b>Abbildung 39:</b> Verfolgung der Monomethylamin-Gefahrstoffwolke mit dem HI 90	278
<b>Abbildung 40:</b> Gemessenes Monomethyl-Gefahrstoffwolkenpektrum	278
<b>Abbildung 41:</b> Monomethylamin-Referenzpektrum	279
<b>Abbildung 42:</b> A) neue IMS-APLD-Einheit; B) bisherige IMS-APLD-Einheit; C) neue APLD-Einheit für APLD-Ionenfallen-MS-Kopplung; D) bisherige APLD-Einheit auf Sonde für APLD-Ionenfallen-MS-Kopplung	296
<b>Abbildung 43:</b> APLD-IMS-Kopplung	299
<b>Abbildung 44:</b> Mobile Desorptionseinheit	302
<b>Abbildung 45:</b> Übersicht der wichtigsten chemischen Kampfstoffe.	306
<b>Abbildung 46:</b> Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz)	470
<b>Abbildung 47:</b> Zusammenhang minimale Wolkenausdehnung bzgl. Abstand Wolke zu Messgerät (Stand-off-Distanz)	478



## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Einteilung von Explosivstoffen	29
<b>Tabelle 2:</b> Einsatzmöglichkeiten von Messtechnik	90
<b>Tabelle 3:</b> Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Überwachung Großveranstaltungen“	110
<b>Tabelle 4:</b> Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Illegale Entsorgungsplätze“	120
<b>Tabelle 5:</b> Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Sicherstellung illegales Labor“	134
<b>Tabelle 6:</b> Erweiterte Messtechnik zum Szenario „Zugangskontrollen“	138
<b>Tabelle 7:</b> Ergebnisse der Laborevaluation für Explosivstoffe	184
<b>Tabelle 8:</b> Bestimmung der linearen Messbereiche für Aceton bei unterschiedlichen relativen Feuchten	190
<b>Tabelle 9:</b> Abweichungen der Photoionisationsergebnisse zur Soll-Konzentration für Aceton im linearen Bereich	191
<b>Tabelle 10:</b> Abklingverhalten für Aceton bei unterschiedlicher relativer Feuchte	192
<b>Tabelle 11:</b> Bestimmung der linearen Messbereiche für Toluol bei unterschiedlichen relativen Feuchten	193
<b>Tabelle 12:</b> Abweichungen zur Soll-Konzentration für Toluol im linearen Bereich	194
<b>Tabelle 13:</b> Abklingverhalten für Toluol bei unterschiedlicher relativer Feuchte	195
<b>Tabelle 14:</b> Bestimmung der linearen Messbereiche für Ethanol bei unterschiedlichen relativen Feuchten	196
<b>Tabelle 15:</b> Abweichungen für Ethanol zur Soll-Konzentration im linearen Bereich	197
<b>Tabelle 16:</b> Abklingverhalten für Ethanol bei unterschiedlicher relativer Feuchte	198
<b>Tabelle 17:</b> Bestimmung der linearen Messbereiche für n-Hexan bei unterschiedlichen relativen Feuchten	199

<b>Tabelle 18:</b> Abweichungen für n-Hexan zur Soll-Konzentration im linearen Bereich	200
<b>Tabelle 19:</b> Abklingverhalten für n-Hexan bei unterschiedlichen relativen Feuchten	201
<b>Tabelle 20:</b> Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer	205
<b>Tabelle 21:</b> Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer Explosivstoffe von 2009	210
<b>Tabelle 22:</b> Ergebnisse DE-tector Explosivstoffe von 2016	211
<b>Tabelle 23:</b> Ergebnisse Itemiser 4DX Explosivstoffe von 2017	211
<b>Tabelle 24:</b> Ergebnisse Ionenmobilitätsspektrometer Betäubungsmittel	214
<b>Tabelle 25:</b> Übersicht Responsezeiten (Probenaufgabe bis zur Anzeige des Messergebnisses)	217
<b>Tabelle 26:</b> TIC-Messungen mit dem SIGIS 2 im Labor	233
<b>Tabelle 27:</b> TIC-Messungen mit dem HI 90 im Labor	234
<b>Tabelle 28:</b> TIC-Messungen mit dem SIGIS 2 im Freigelände	234
<b>Tabelle 29:</b> Einfluss der Messfeldgröße des HI 90 auf die Messdauer	235
<b>Tabelle 30:</b> Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Prüfröhrchen	240
<b>Tabelle 31:</b> Ergebnisse der Sprengungen auf dem TTS der BAM	244
<b>Tabelle 32:</b> Messung der Explosivstoff-Lösungen durch Auftropfen mit ExPen und IDenta	252
<b>Tabelle 33:</b> Messung der Explosivstoff-Lösungen durch Auftropfen mit dem SEEKERe	253
<b>Tabelle 34:</b> Wischproben unterschiedlicher Explosivstoff-Lösungen im Test	254
<b>Tabelle 35:</b> Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Photoionisationsdetektoren	256
<b>Tabelle 36:</b> Ergebnisse der Brandversuche beim Einsatz von Ionenmobilitätsspektrometern	260
<b>Tabelle 37:</b> Ergebnisübersicht der verwendeten GC-MS-Kopplungssysteme	285

<b>Tabelle 38:</b> Nachweisgrenzen im Vergleich zwischen gepulster und CW-Laserdesorption	298
<b>Tabelle 39:</b> Zusammenfassung des Lastenheftes und dessen Erfüllung	301



# Literaturverzeichnis

7

- [1] **Statistisches Bundesamt (DESTATIS)**, *Fachserie 8 Reihe 1.4*, <https://www.destatis.de, pdf file S. 6> [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/gefährguttransporte-2080140177004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/gefährguttransporte-2080140177004.pdf?__blob=publicationFile) [Zugriff am 18.2.2020].
- [2] **J. Rönfeldt und M. König**, *Messtechnik im Feuerwehreinsatz*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 122–124, Kohlhammer, Stuttgart, 2010.
- [3] **Vgl. ebd.**, S. 3.
- [4] **Vgl. ebd.**, S. 122.
- [5] **Vgl. ebd.**, S. 125.
- [6] **M. Müller und K. Schmiechen**, *Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz*, BBK, Hrsg., Bonn, 2012.
- [7] **Dipl.-Ing. (FH) H. P. Maurischat**, *Kompendium zur Gasmesstechnik*, Blatt-Nr.: 3.5-1, Laufen an der Salzach, 07/2015.
- [8] **Dräger Safety AG & Co. KGaA**, in Anlehnung an: *DrägerSensor®- & Gasmessgeräte-Handbuch*, 4. Ausgabe, S. 107, Lübeck, 2017.
- [9] **Dipl.-Ing. (FH) H. P. Maurischat**, *Kompendium zur Gasmesstechnik*, S. 3.3–8, Laufen an der Salzach, 07/2015.
- [10] **Dräger Safety AG & Co. KGaA**, in Anlehnung an: *DrägerSensor®- & Gasmessgeräte-Handbuch*, 4. Ausgabe, S. 87, Lübeck, 2017.
- [11] **R. Weich, M. Berndt und B. Runge**, *Anforderungen an den Wärmetönungssensor und Möglichkeiten der Ersatzgasjustierung*, BRANDSchutz, S. 26, 01/2017.
- [12] **J. Rönfeldt und M. König**, *Messtechnik im Feuerwehreinsatz*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 125 f., Kohlhammer, Stuttgart (u. a.), 2010.
- [13] **Dräger Safety AG & Co. KGaA**, in Anlehnung an: *DrägerSensor®- & Gasmessgeräte-Handbuch*, 4. Ausgabe, S. 135, Lübeck, 2017.
- [14] **Dräger Safety AG & Co. KGaA**, in Anlehnung an: *DrägerSensor®- & Gasmessgeräte-Handbuch*, 4. Ausgabe, S. 127, Lübeck, 2017.



- [15] **G. A. Eiceman und andere**, in Anlehnung an: *Ion Mobility Spectrometry*, S. 124, CRC Press, Boca Raton, 2014.
- [16] **Vgl. ebd.**, S.3.
- [17] **H. Naumer und W. Heller**, *Untersuchungsmethoden in der Chemie*, 3. überarbeitete Auflage, S. 217 ff., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1997.
- [18] **J. Rönnefeldt und M. König**, *Messtechnik im Feuerwehreinsatz*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 211, Kohlhammer, Stuttgart (u. a.), 2010.
- [19] **H. Naumer und K. Heller**, *Untersuchungsmethoden in der Chemie*, 3. überarbeitete Auflage, S. 204, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1997.
- [20] **J. Rönnefeldt und M. König**, *Messtechnik im Feuerwehreinsatz*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 214, Kohlhammer, Stuttgart (u. a.), 2010.
- [21] **J. Rönnefeldt und M. König**, *Messtechnik im Feuerwehreinsatz*, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, S. 216 ff., Kohlhammer, Stuttgart (u. a.), 2010.
- [22] **R. Harig, G. Matz und P. Rusch**, *Infrarot-Fernerkundungssystem für die chemische Gefahrenabwehr*, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn, 2006.
- [23] **H.-J. Hübschmann**, *Handbook of GC-MS*, 2. vollständig überarbeitete Auflage, S. 397, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009.
- [24] **U. Bachmann und andere**, *Empfehlungen für die Probenahme zur Gefahrenabwehr im Bevölkerungsschutz*, Band 5, 2. Auflage, Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn, 2016.
- [25] **A. F. K. u. z. V. (AFKzV)**, *Einheiten im ABC-Einsatz*, Feuerwehr-Dienstvorschrift FwDV 500, Stand Januar 2012, 2012.
- [26] **wit/dpa**, *Gefahrguttransporter in Brand geraten – A 7 gesperrt (19.12.2014)*, <http://www.spiegel.de/panorama>: Spiegel, 19 12 2014. [Online]. Available: <https://www.spiegel.de/panorama/unfall-von-gefahren-guttransporter-auf-a7-giftige-gase-a-1009477.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [27] **L. N. (NRW)**, *Jahresbericht 2002*, S. 56–73, LUA NRW, Recklinghausen, 2002.

- [28] **V. d. C. I. e. V. (VCI)**, *Branchenporträt deutsche chemisch-pharmazeutische Industrie*, VCI, Frankfurt am Main, 2015.
- [29] **Umweltbundesamt (UBA)**, schriftliche Auskunft nach Anfrage, 2016.
- [30] **Umweltbundesamt (UBA), Studio Good, Berlin**, 15. 8. 2018 [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/chemikalien-in-der-umwelt/strukturdaten-chemikalien-chemisch-pharmazeutische#textpart-7> [Zugriff am 5. 2. 2020].
- [31] **S. Neuhoff und J. Feyrer**, *BRANDschutz*, Bd. 08, Nr. 08, S. 59 ff., 2008.
- [32] **D. Hesel, U. Kopp und S. Roller**, *Erfahrungen aus Abwehrmaßnahmen bei chemischen Unfällen*, Bundesamt für Zivilschutz, Bonn, 1997.
- [33] **vfdb**, *Einsatzplanung Großveranstaltung*, vfdb-Richtlinie 03/03, 2010.
- [34] **M. f. I. u. K. N. MIK**, *Orientierungsrahmen für die kommunale Planung, Genehmigung, Durchführung und Nachbereitung von Großveranstaltungen im Freien*, 15. 8. 2012.
- [35] **B. S. d. I. BStMI**, *AG Konsequenzen aus Duisburg*, IC5 – Einsatz der Polizei, 06/2012.
- [36] **H. M. d. I. u. f. S. HMdIuS**, *Sicherheit bei Großveranstaltungen*, Leitfaden, 10. 9. 2013.
- [37] **Bruker Corp.**, *Fernerkundung, SIGIS 2*, <https://www.bruker.com>, [Online]. Available: <https://www.bruker.com/de/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/remote-sensing.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [38] **Bruker Corp.**, *RAPIDplus und RAPIDplus, FTIR-Fernerkundungssystem, scannend*, <https://www.bruker.com>, [Online]. Available: <https://www.bruker.com/de/products/cbrne-detection/ft-ir/rapidplus-rapidplus-control-20-vom/technical-details.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [39] **Bruker Corp.**, *HI-90, FTIR-Fernerkundungssystem, Gefahrstoffkamera mit Sofortbildmodus*, <https://www.bruker.de>, [Online]. Available: <https://www.bruker.com/de/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/remote-sensing.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].

- [40] **Block Engineering**, *PORTHOS, FTIR-Fernerkundungssystem, Gefahrstoffkamera mit Sofortbildmodus über QCL-Technologie*, <http://www.blockeng.com>, [Online]. Available: <https://www.blockeng.com/products/porthos.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [41] **Honeywell**, <https://www.reasystems.com> [Online]. Available: <https://www.raesystems.com/products/rdk-host> [Zugriff am 19. 2. 2020].
- [42] **Block Engineering**, *LaserWarn, FTIR-Fernerkundungssystem, aktiv, Open-Path-System*, <https://www.blockeng.com> [Online]. Available: <https://www.blockeng.com/products/laserwarn.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [43] **Bruker Optik GmbH**, *FV 371: Kontaminationskamera: Verfahren und System zur berührungslosen, abbildenden Detektion von Oberflächenverunreinigungen*, BBK, Bonn, 2015.
- [44] **Block Engineering**, *LaserScan™ Analyzer*, pdf file: <http://www.insight-scientific.com/block/2-laserscan.pdf>, Block Engineering, LLC, Marlborough, MA 01752, 2013.
- [45] **Bruker Corp.**, *FTIR-Fernerkundungssysteme, aktiv, Open-Path-Systeme: EM 27, OPS*, <http://www.bruker.com> [Online]. Available: <https://www.bruker.com/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/remote-sensing.html> [Zugriff am 18. 2. 2020].
- [46] **Fraunhofer Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme (IMM)**, *BMBF-Projekt: MAusKat, Entwicklung eines Raumluf-Überwachungssystems*, <https://www.imm.fraunhofer.de/de/presse-publikationen/mauskat.html>, IMM, Mainz, 2015.
- [47] **Statistisches Bundesamt (DESTATIS)**, *Statistisches Jahrbuch, Deutschland und Internationales 2019*, S. 609, Kapitel 25.3.1, <https://www.destatis.de>, 2019. [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/statistisches-jahrbuch-2019-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Jahrbuch/statistisches-jahrbuch-2019-dl.pdf?__blob=publicationFile) [Zugriff am 19. 2. 2020].
- [48] **D. G. U. (DGUV)**, *Gefahren beim Öffnen und Entladen von Frachtcontainern*, DGUV Information 208-051, S. 41, Anhang 3, 1 Begasungsmittel, Berlin, 2017.
- [49] **Vgl. ebd.**, Begasungsmittel, Anhang 3, 1, S. 41.
- [50] **Vgl. ebd.**, Industriechemikalien, Anhang 3, 2, S. 43.

- [51] **X. Baur, T. Ollesch und andere**, *Begasungsmittelrückstände und toxische Industriechemikalien in Import-Containern*, <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F9783349112.pdf>, S. 97, 4. Diskussion, Springer, Hamburg, 2007.
- [52] **D. G. U. (DGUV)**, *Gefahren beim Öffnen und Entladen von Frachtcontainern*, DGUV Information 208-051, S. 56 ff., Anhang 6, Berlin, 2017.
- [53] **B. f. G. (BAG)**, *Einsatzberichte*, Köln, 2011, 2014.
- [54] **L. B. (LKA Berlin)**, *Einsatzberichte*, Berlin, 1999, 2003, 2011.
- [55] **M. Höfer**, *Chemie in unserer Zeit*, 36. Jahrgang, Nr. 3, S. 148, 2002.
- [56] **W. I. f. S. - A. S. (WIS)**, *Interner Vortrag: Chemische Waffen, Kampfstoffe*, Münster.
- [57] **Spiegel**, *Die Terror-Internationale*, Dossier, Spiegel-Special, Bd. Nr. 2, 2004.
- [58] **Spiegel**, *Der Spiegel*, Bd. Nr. 18, 1999.
- [59] **B. (BKA)**, *Einsatzberichte*, u. a. 1992.
- [60] **E. B. f. D. u. D. (EMCDDA)**, *Drogenbericht 2016: Trends und Entwicklungen*, S. 14 ff., Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg, 2016.
- [61] **Vgl. ebd.**, Abb. 1.15, S. 36.
- [62] **Vgl. ebd.**, S. 11.
- [63] **BKA/LKA**, *Einsatzberichte*.
- [64] **M. Ridgeway, M. Lubeck, J. Jordens, M. Mann und M. A. Park**, *Trapped ion mobility spectrometry: A short review*, International Journal of Mass Spectrometry, 2018.
- [65] **F. Schuppe**, *Möglichkeiten und Grenzen portabler RAMAN- und ATR-IR-Spektrometer im Feuerwehreinsatz*, Institutsbericht Nr. 472, S. 11, Heyrothsberge, 2014.
- [66] **M. W. Allan und Y. Mattley**, <https://onlinelibrary.wiley.com/> [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/opph.201300033> [Zugriff am 19. 2. 2020].

[67] **F. Schuppe**, *Möglichkeiten und Grenzen portabler RAMAN- und ATR-IR-Spektrometer im Feuerwehreinsatz*, Institutsbericht Nr. 472, S. 47 ff., Heyrothsberge, 2014.

[68] **F. Schuppe**, *Möglichkeiten und Grenzen portabler RAMAN- und ATR-IR-Spektrometer im Feuerwehreinsatz*, Institutsbericht Nr. 472, S. 38 ff., 2014. [Online]. Available: [https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik\\_und\\_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo\\_Publikationen/sonst\\_ber/LaFo\\_2013\\_Bericht\\_RAMAN\\_ATR-IR-Spektroskopie\\_Schuppe\\_final\\_19.09.2014.pdf](https://ibk-heyrothsberge.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MI/IDF/IBK/Dokumente/Forschung/Fo_Publikationen/sonst_ber/LaFo_2013_Bericht_RAMAN_ATR-IR-Spektroskopie_Schuppe_final_19.09.2014.pdf) [Zugriff am 19. 2. 2020].

[69] **W. Funk, V. Dammann und G. Donnevert**, *Qualitätssicherung in der Analytischen Chemie*, S. 9 ff., WILEY-VCH GmbH & Co. KGaA, 2. Auflage, Weinheim, 2005.

[70] **IFA, Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung**, <https://www.dguv.de/ifa/gestis/gestis-stoffdatenbank/index.jsp>; GESTIS, Gefahrstoffinformationssystem, Acetonitrileintrag, Maßnahmen bei Bränden [Online]. Available: [http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis\\_de/013660.xml?f=templates\\$fn=default.htm\\$3.0](http://gestis.itrust.de/nxt/gateway.dll/gestis_de/013660.xml?f=templates$fn=default.htm$3.0) [Zugriff am 20. 2. 2020].

[71] **D. h. Landesamt für Umwelt Bayern**, *Beurteilung von Kunststoffbränden*, S. 13.

[72] **R. D. Maier und S. Schiller**, *Kunststoff-Additive*, Handbuch, S. 156.

[73] **S. Franke**, *Lehrbuch der Militärchemie*, Band 1, 2. Auflage, Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik, Berlin, 1977.

[74] **R. Stöhr**, *Die chemischen Kampfstoffe*, Deutscher Militärverlag, Berlin, 1961.

[75] **M. Höfer**, *Chemie in unserer Zeit*, Nr. 3 Chemische Kampfstoffe, 36. Jahrgang, S. 148–155, 2002.

[76] <https://de.wikipedia.org>

[77] <https://www.stern.de>

[78] <https://www.welt.de>

[79] <http://www.spiegel.de>

[80] <http://www.chemie.de>

[81] **M. Müller und K. Schmiechen**, *Forschung im Bevölkerungsschutz: Entwicklung eines zeitgemäßen ABC-Selbsthilfe-Sets für den Katastrophenschutz*, Band 10, S. 45–46, 2009.

# Bisherige Publikationen

8

## Forschung im Bevölkerungsschutz

- 
- 1 **Band 1 – Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Entwicklung | Datenbank | Task-Force | Finanzierung**  
I. Beerlage, T. Hering, S. Springer, D. Arndt, L. Nörenberg/2008 ISBN-10: 3-939347-02-7 bzw.  
ISBN-13: 978-3-939347-02-6
- 
- 2 **Band 2 – Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Qualität in Aus- und Fortbildung**  
I. Beerlage, S. Springer, T. Hering, L. Nörenberg, D. Arndt/2008  
ISBN-10: 3-939347-03-5 bzw. ISBN-13: 978-3-939347-03-3
- 
- 3 **Band 3 – Netzwerk Psychosoziale Notfallversorgung – Umsetzungsrahmenpläne  
Belastungen und Belastungsfolgen in der Bundespolizei**  
I. Beerlage, D. Arndt, T. Hering, L. Nörenberg, S. Springer/2009  
ISBN-10: 3-939347-04-3 bzw. ISBN-13: 978-3-939347-04-0
- 
- 4 **Band 4 – Vulnerabilität Kritischer Infrastrukturen**  
S. Lenz (Dipl.-Geogr., M.Sc.)/2009  
ISBN-13: 978-3-939347-11-8
- 
- 5 **Band 5 – 2. Auflage – Empfehlungen für die Probenahme zur Gefahrenabwehr  
im Bevölkerungsschutz**  
U. Bachmann, N. Derakshani, M. Drobig, J. Eisheh, M. König, J. Mentfewitz, B. Niederwöh-  
rmeier, H. Prast, D. Sebastian, G. Uelpenich, M. Vidmayer, S. Wilbert, M. Wolf/2016  
ISBN-13: 978-3-939347-15-6
- 
- 6 **Band 6 – Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland – Kongressbericht der  
GERMAN BIOSAFTEY 2005**  
2011  
ISBN-13: 978-3-939347-05-7
- 
- 7 **Band 7 – Städtebauliche Gefährdungsanalyse**  
C. Mayrhofer/2010  
ISBN-13: 978-3-939347-08-8
- 
- 8 **Band 8 – Sekundäre Prävention einsatzbedingter Belastungsreaktionen und -störungen**  
W. Butollo, R. Karl, M. Krüsmann/2012  
ISBN: 978-3-939347-09-5
-



- 9 **Band 9 – Dekontamination von Verletzten im Krankenhaus bei ABC-Gefahrenlagen**  
F. Martens/2009  
ISBN-13: 978-3-939347-20-0
- 
- 10 **Band 10 – Entwicklung eines zeitgemäßen ABC-Selbsthilfe-Sets für den Katastrophenschutz**  
M. Müller, K. Schmiechen/2009  
ISBN-13: 978-3-939347-22-4
- 
- 11 **Band 11 – Bevölkerungsverhalten und Möglichkeiten des Krisenmanagements und Katastrophenmanagements in multikulturellen Gesellschaften**  
E. Geenen/2010  
ISBN-13: 978-3-939347-26-2
- 
- 12 **Band 12 – Vulnerabilität der Kritischen Infrastruktur Wasserversorgung gegenüber Naturkatastrophen**  
A. Braubach/2010  
ISBN-13: 978-3-939347-30-9
- 
- 13 **Band 13 – Indikatoren zur Abschätzung von Vulnerabilität und Bewältigungspotenzialen am Beispiel von wasserbezogenen Naturgefahren in urbanen Räumen**  
J. Birkmann, S. Krings, M. Vollmer, J. Wolfertz, T. Welle, W. Kühling, K. Meisel, M. Wurm, H. Taubenböck, M. Gähler, H. Zwenzner, A. Roth, S. Voigt & S. Dech/2011  
ISBN-13: 978-3-939347-31-6
- 
- 14 **Band 14 – Infrarot-Gefahrstoffkamera**  
R. Harig, P. Rusch/2011  
ISBN-13: 978-3-939347-32-3
- 
- 15 **Band 15 – Empirische Untersuchung der Realisierbarkeit von Maßnahmen zur Erhöhung der Selbstschutzzfähigkeit der Bevölkerung**  
H. G. Goersch, U. Werner/2011  
ISBN-13: 978-3-939347-36-1
- 
- 16 **Band 16 – Humanbiomonitoring im Bevölkerungsschutz**  
M. Müller, K. Schmiechen/2012  
ISBN-13: 978-3-939347-39-2
- 
- 17 **Band 17 – Desinfektion von Persönlicher Schutzausrüstung**  
K. Lemmer, A. Roder, H. Nattermann, I. Schwebke, M. Mielke, B. Dorner, G. Pauli, R. Grunow/2012  
ISBN-13: 978-3-939347-42-2
-

- 18 **Band 18 – CT-Analyst; Ausbreitungsprognose bei Gefahrstofffreisetzung in bebauter Umgebung**  
Schlussbericht zum Forschungsvorhaben  
B. Leitl, D. Hertwig, F. Harms und M. Schatzmann/2017  
ISBN: 978-3-939347-74-3
- 
- 19 **Band 19 – i. V.**
- 
- 20 **Band 20 – Interkulturelle Kompetenz im Bevölkerungsschutz**  
S. Schmidt, C. Hannig, D. Kietzmann, D. Knuth, M. Mösko und M. Schönefeld/2018  
ISBN-13: 978-3-939347-82-8
- 
- 21 **Band 21 – Führungskräfte PSNV, Anforderungen und Qualifizierung**  
M. Mähler, G. Hofinger, L. Künzer, R. Zinke und F. Kather/2019  
ISBN-13: 978-3-939374-87-3
- 
- 22 **Band 22 – Lebensmittelversorgung in Krisen und Katastrophen**  
L. Gerhold, K. Cortez Garcia und A. Guerrero Lara/2019  
ISBN-13: 978-3-939347-89-7
- 
- 23 **Band 23 – Konzept zur grenzüberschreitenden großräumigen Evakuierungsplanung am Beispiel Deutschland – Schweiz. Ergebnisse des Projektes ECHD**  
U. Pohl-Meuthen, S. Schäfer, P. Blatt und F. Steyer/2018  
ISBN-13: 978-3-939347-90-3
- 
- 24 **Band 24 – Untersuchung zur Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln für den Einsatz in biologischen Gefahrenlagen**  
S. Papp, K. Kimmerl, J. Gatz, R. Grunow und O. Kaspari/2019  
ISBN-13: 978-3-939347-96-5
- 

## Zivilschutzforschung, Neue Folge

ISSN 0343-5164

- 
- 25 **Band 1 – vergriffen –  
Zur Akzeptanz staatlicher Informationspolitik bei technischen Großunfällen und Katastrophen**  
L. Clausen und W. R. Dombrowsky  
1990, 115 Seiten
-

- 26      **Band 2 – vergriffen –**  
**Gammastrahlung aus radioaktivem Niederschlag – Berechnung von Schutzfaktoren**  
G. Hehn  
1990, 66 Seiten
- 
- 27      **Band 3 – vergriffen –**  
**Der Nachweis schneller Neutronen in der Katastrophendosimetrie mit Hilfe von Ausweisen aus Plastikmaterial**  
B. Lommler, E. Pitt, A. Scharmann und R. Simmer  
1990, 66 Seiten
- 
- 28      **Band 4 – vergriffen –**  
**Computereinsatz im Zivil- und Katastrophenschutz – Möglichkeiten und Grenzen**  
W. R. Dombrowsky  
1991, 94 Seiten
- 
- 29      **Band 5 – vergriffen –**  
**Strahlenexposition durch Ingestion von radioaktiv kontaminiertem Trinkwasser**  
R. E. Grillmaier und F. Kettenbaum  
1991, 104 Seiten
- 
- 30      **Band 6 – vergriffen –**  
**Neutronenschäden. Untersuchungen zur Pathophysiologie, Diagnostik, Prophylaxe und Therapie**  
O. Messerschmidt und A. Bitter  
1991, 96 Seiten
- 
- 31      **Band 7 – vergriffen –**  
**Das Schädel-Hirn-Trauma**  
Klinische und tierexperimentelle Untersuchungen zur Pathogenese und neuen Behandlungsansätzen im Rahmen der Katastrophenmedizin  
E. Pfenninger und F. W. Ahnefeld  
1991, 208 Seiten
- 
- 32      **Band 8 – vergriffen –**  
**Beiträge zur dezentralen Trinkwasserversorgung in Notfällen**  
Teil I: K. Haberer und U. Stürzer: Einfache anorganische und radiologische Methoden zur Wasseruntersuchung an Ort und Stelle  
1991, 78 Seiten
-

- 33      **Band 9 – vergriffen –**  
**39. und 40. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
1993, 264 Seiten
- 
- 34      **Band 10 – vergriffen –**  
**Bürgerkonzeptionierter Zivil- und Katastrophenschutz**  
Das Konzept einer Planungszelle Zivil- und Katastrophenschutz  
W. R. Dombrowsky  
1992, 79 Seiten
- 
- 35      **Band 11 – vergriffen –**  
**Beiträge zur Katastrophenmedizin**  
1993, 135 Seiten
- 
- 36      **Band 12 – vergriffen –**  
**Biologische Dosimetrie**  
I. – H. Mönig, W. Pohlit, E. L. Sattler: Einleitung: Dosisabschätzung mit Hilfe der Biologischen Dosimetrie  
II. – H. J. Egner et al.: Ermittlung der Strahlenexposition aus Messungen an Retikulozyten  
III. – H. Mönig, G. Konermann: Strahlenbedingte Änderung der Chemilumineszenz von Granulozyten als biologischer Dosisindikator  
IV. – P. Bidon et al.: Zellmembranänderungen als biologische Dosisindikatoren. Strahleninduzierte Membranänderung im subletalen Bereich. Immunbindungsreaktionen an Lymphozyten  
1993, 206 Seiten
- 
- 37      **Band 13**  
**Modifikation der Strahlenwirkung und ihre Folgen für die Leber**  
H. Mönig, W. Oehlert, M. Oehlert, G. Konermann  
1993, 90 Seiten
-

- 38 Band 14 – vergriffen –**  
**Beiträge zu Strahlenschäden und Strahlenkrankheiten**  
I. – H. Schüßler: Strahleninduzierte Veränderungen an Säugetierzellen als Basis für die somatischen Strahlenschäden  
II. – K. H. von Wangenheim, H.-P. Peterson, L. E. Feinendegen: Hämopoieseschaden, Therapieeffekte und Erholung  
III. – T. M. Fliedner, W. Nothdurft: Präklinische Untersuchungen zur Beschleunigung der Erholungsvorgänge in der Blutzellbildung nach Strahleneinwirkung durch Beeinflussung von Regulationsmechanismen  
IV. – G. B. Gerber: Radionuklid Transfer  
1993, 268 Seiten
- 
- 39 Band 15**  
**Beiträge zur dezentralen Trinkwasserversorgung in Notfällen**  
Teil II: K. Haberer und M. Drews  
1. Einfache organische Analysenmethoden  
2. Einfache Aufbereitungsverfahren  
1993, 144 Seiten
- 
- 40 Band 16**  
**Einfluß von Lipidmediatoren auf die Pathophysiologie der Verbrennungskrankheit**  
F. E. Müller, W. König, M. Köller  
1993, 42 Seiten
- 
- 41 Band 17 – vergriffen –**  
**41. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
1996, 197 Seiten
- 
- 42 Band 18 – vergriffen –**  
**Deutsche Regelsysteme. Vernetzungen und Integrationsdefizite bei der Erstellung des öffentlichen Gutes Zivil- und Katastrophenschutz in Europa**  
L. Clausen, W. R. Dombrowsky, R. L. F. Strangmeier  
1996, 130 Seiten
- 
- 43 Band 19**  
**Radioaktive Strahlungen**  
I. – B. Kromer unter Mitarbeit von K. O. Münnich, W. Weiss und M. Zähringer: Nuklidspezifische Kontaminationserfassung  
II. – G. Hehn: Datenaufbereitung für den Notfallschutz  
1996, 164 Seiten
-

- 44 Band 20**  
**Arbeiten aus dem Fachausschuß V**  
I. – D. Henschler: Langzeitwirkungen phosphororganischer Verbindungen  
II. – H. Becht: Die zellvermittelte typübergreifende Immunantwort nach Infektion mit dem Influenzavirus  
III. – F. Hoffmann, F. Vetterlein, G. Schmidt: Die Bedeutung vasculärer Reaktionen beim akuten Nierenversagen nach großen Weichteilverletzungen (Crush-Niere)  
1996, 127 Seiten
- 
- 45 Band 21**  
**Arbeiten aus dem Fachausschuß III: Strahlenwirkungen – Diagnostik und Therapie**  
1996, 135 Seiten
- 
- 46 Band 22**  
**Inkorporationsverminderung für radioaktive Stoffe im Katastrophenfall**  
B. Gloebel, C. Graf  
1996, 206 Seiten
- 
- 47 Band 23 – vergriffen –**  
**Das Verhalten von Umweltchemikalien in Boden und Grundwasser**  
K. Haberer, U. Böttcher  
1996, 235 Seiten
- 
- 48 Band 24 – vergriffen –**  
**42. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
1996, 205 Seiten
- 
- 49 Band 25**  
**Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden**  
– Literaturstudie – Teilbereich Toxikologie  
K. Buff, H. Greim  
1997, 138 Seiten
- 
- 50 Band 26 – vergriffen –**  
**43. und 44. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
1997, 326 Seiten
-

- 51 **Band 27**  
**Staatliche Risikokommunikation bei Katastrophen**  
Informationspolitik und Akzeptanz  
G. Ruhrmann, M. Kohring  
1996, 207 Seiten
- 
- 52 **Band 28**  
**Wirkungen von Organophosphaten**  
R. Zech  
1997, 110 Seiten
- 
- 53 **Band 29**  
**Erfahrungen aus Abwehrmaßnahmen bei chemischen Unfällen**  
D. Hesel, H. Kopp und U. Roller  
1997, 152 Seiten
- 
- 54 **Band 30 – vergriffen –**  
**Untersuchung der Praxisanforderung an die Analytik bei der Bekämpfung großer Chemieunfälle**  
G. Matz  
1998, 192 Seiten
- 
- 55 **Band 31**  
**Beiträge zur Isolierung und Identifizierung von Clostridium sp. und Bacillus sp. sowie zum Nachweis deren Toxine**  
G. Schallehn und H. Brandis  
1998, 80 Seiten
- 
- 56 **Band 32**  
**Kriterien für Evakuierungsempfehlungen bei Chemikalienfreisetzungen**  
G. Müller  
1998, 244 Seiten + Faltkarte
- 
- 57 **Band 33**  
**Laserspektrometrischer Nachweis von Strontiumnukliden**  
J. Bernhardt, J. Haus, G. Hermann, G. Lasnitschka, G. Mahr, A. Scharmann  
1998, 128 Seiten
- 
- 58 **Band 34**  
**Untersuchung der Wirksamkeit von Selbstschutzausstattung bei Chemieunfällen**  
S. Bulheller, W. Heudorfer  
2003, 278 Seiten
-

- 59      **Band 35**  
**Praxisanforderungen an Atem- und Körperschutzausstattung zur Bekämpfung von Chemieunfällen**  
K. Amman, A.-N. Kausch, A. Pasternack, J. Schlobohm, G. Bresser, P. Eulenburg  
2003, 158 Seiten
- 
- 60      **Band 36**  
**Biologische Indikatoren für die Beurteilung multifaktorieller Beanspruchung Experimentelle, klinische und systemtechnische Untersuchung**  
M. Weiss, B. Fischer, U. Plappert und T. M. Fliedner  
1998, 104 Seiten
- 
- 61      **Band 37**  
**Entwicklung von Verfahren zur Abschätzung der gesundheitlichen Folgen von Großbränden**  
K.-J. Kohl, M. Kutz
- 
- 62      **Band 38 – vergriffen –**  
**Rechnergestütztes Beratungssystem für das Krisenmanagement bei chemischen Unfällen (DISMA®)**  
W. Kaiser, M. Schindler  
1999, 156 Seiten
- 
- 63      **Band 39**  
**Optimierung des Schutzes vor luftgetragenen Schadstoffen in Wohngebäuden**  
TÜV Energie und Umwelt GmbH  
2001, 108 Seiten
- 
- 64      **Band 40 – vergriffen –**  
**Entwicklung von Dekontaminationsmitteln und -verfahren bei Austritt von Industriechemikalien**  
F. Schuppe  
2001, 124 Seiten
- 
- 65      **Band 41**  
**Einfluss von Zytokinen und Lipidmediatoren auf die Kontrolle und Regulation spezifischer Infektabwehr bei Brandverletzung**  
W. König, A. Drynda, B. König, R. Arnold, P. Wachtler, M. Köller  
2001, 76 Seiten
-



- 66      **Band 42**  
**45., 46. und 48. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
2000, 344 Seiten
- 
- 67      **Band 43**  
**Empirisch-psychologische Analyse des menschlichen Fehlverhaltens in Gefahren-**  
**situationen und seine verursachenden und modifizierenden Bedingungen sowie von**  
**Möglichkeiten zur Reduktion des Fehlverhaltens**  
D. Ungerer, U. Morgenroth  
2001, 300 Seiten
- 
- 68      **Band 44**  
**Medizinische Versorgung beim Massenanfall Verletzter bei Chemikalienfreisetzung**  
E. Pfenninger, D. Hauber  
2001, 140 Seiten
- 
- 69      **Band 45**  
**Technologische Möglichkeiten einer möglichst frühzeitigen Warnung der Bevölkerung –**  
**Kurzfassung –**  
Technological Options for an Early Alert of the Population – Short Version –  
V. Held  
2001, 144 Seiten
- 
- 70      **Band 46**  
**Methoden der Bergung Verschütteter aus zerstörten Gebäuden**  
F. Gehbauer, S. Hirschberger, M. Markus  
2001, 232 Seiten
- 
- 71      **Band 47 – vergriffen –**  
**Organisation der Ernährungsnotfallvorsorge**  
J. Rasche, A. Schmidt, S. Schneider, S. Waldtmann  
2001, 86 Seiten
- 
- 72      **Band 48**  
**2. Gefahrenbericht**  
Schutzkommission beim Bundesminister des Innern  
2001, 92 Seiten
-

- 73      **Band 49 – vergriffen –**  
**Task Force für die Schnellanalytik bei großen Chemieunfällen und Bränden**  
G. Matz, A. Schillings, P. Rechenbach  
2002, 268 Seiten
- 
- 74      **Band 50**  
**Entgiftung von Organophosphaten durch Phosphorylphosphatasen und Ethanolamin**  
R. Zech  
2002, 182 Seiten
- 
- 75      **Band 51**  
**Erstellung eines Schutzdatenatlases**  
W. R. Dombrowsky, J. Horenczuk, W. Streitz  
2003, 266 Seiten,
- 
- 76      **Band 52**  
**49. und 50. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
2003, 212 Seiten
- 
- 77      **Band 53**  
**Schwachstellenanalyse aus Anlass der Havarie der PALLAS**  
L. Clausen  
2003, 220 Seiten
- 
- 78      **Band 54**  
**Untersuchung zur Einbindung des öffentlichen Gesundheitsdienstes in die  
katastrophenmedizinische Versorgung in der Bundesrepublik Deutschland**  
E. Pfenninger, S. Himmelseher, S. König  
2005, 288 Seiten
- 
- 79      **Band 55**  
**51. und 52. Jahrestagung der Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
– Vorträge –  
2005, 234 Seiten
- 
- 80      **Band 56**  
**Aufbau und Ablauf der Dekontamination und Notfallversorgung Verletzter  
bei Zwischenfällen mit chemischen Gefahrstoffen**  
2005, 260 Seiten
-

81 **Band 57**  
**Entwicklungen von Standards und Empfehlungen für ein Netzwerk zur bundesweiten Strukturierung und Organisation psychosozialer Notfallversorgung**  
I. Beerlage, T. Hering, L. Nörenberg et al.  
2006, 304 Seiten

---

82 **Band 58**  
**Infrarot-Fernerkundungssystem für die chemische Gefahrenabwehr**  
R. Harig, G. Matz, P. Rusch  
2006, 134 Seiten

---

83 **Band 59**  
**Schutzkommission beim Bundesminister des Innern**  
3. Gefahrenbericht  
2006, 104 Seiten

---

## Zivilschutzforschung, Alte Folge

---

84 **Schutzkommission beim Bundesminister des Innern.**  
**25 Jahre Forschung für den Zivil- und Katastrophenschutz**  
1975/ISBN 3-7894-0038-6/Druckversion vergriffen

---

85 **Beiträge zur Frage der Erholung von Strahlenschäden**  
H. Muth, H. Pauly/1975/ISBN 3-7894-0039-4/ Druckversion vergriffen

---

86 **Strahlenempfindlichkeit und die akute und chronische Strahlenschädigung der Leber**  
R. Lesch/1976/ISBN 3-7894-0048-3/Druckversion vergriffen

---

87 **Untersuchungen zu Therapie und Prognose des Kreislaufschocks beim Menschen**  
H. Schönborn/1976/ISBN 3-7894-0048-3/Druckversion vergriffen

---

88 **Kombinationsschäden als Folge nuklearer Explosionen**  
O. Messerschmidt/1977/ISBN 3-7894-0055-6/Druckversion vergriffen

---

89 **Literaturübersicht zur Frage der Erholung nach Ganzkörperbestrahlung**  
A. Kindt, E.-L. Sattler/1977/ISBN 3-7894-0058-0/Druckversion vergriffen

---

90 **Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit von Kiesbeton aus dem Wassereindringverhalten**  
J. Steinert/1977/ISBN 3-7894-0056-4/Druckversion vergriffen

---

- 91 **Beiträge zur Neutronenwaffe**  
A. Sittkus, H. Mönig/1978/ISBN 3-7894-0061-0/Druckversion vergriffen
- 
- 92 **Veränderung von Befinden und Leistung bei einem Bunkerbelegungsversuch**  
J. F. Dirr, J. Kugler, M. C. Laub, K. Schröder/1979/ISBN 3-7894-0062-9/Druckversion vergriffen
- 
- 93 **Wirkungen des Luftstoßes von nuklearen und konventionellen Explosionen**  
G. Weigel/1980/ISBN 3-7894-0078-5/Druckversion vergriffen
- 
- 94 **Brandgefährdung von Wohngebieten durch Flächenbrände**  
O. Carlowitz, T. Krone, R. Jeschar/1980/ISBN 3-7894-0079-3/Druckversion vergriffen
- 
- 95 **Untersuchungen zum Strahlenrisiko**  
H. Schüssler, H. Pauly, B. Glöbel, H. Glöbel, H. Muth, E. Oberhausen/1981/  
ISBN 3-7894-0083-2/Druckversion vergriffen
- 
- 96 **30 Jahre Schutzkommission – Ausgewählte Vorträge**  
1981/ISBN 3-7894-0084-1/Druckversion vergriffen
- 
- 97 **Einführung in die Soziologie der Katastrophen**  
L. Clausen, W. R. Dombrowsky/1983/ISBN 3-7894-0090-4/Druckversion vergriffen
- 
- 98 **Ulmer Vorträge, Festschrift für Franz Gross**  
1983/ISBN 3-7894-0091-2/ Druckversion vergriffen
- 
- 99 **Streß und Individuum**  
M. Ackenheil, M. Albus, R. R. Engel, H. Hippus/1984/ISBN 3-7894-0092-0/Druckversion  
vergriffen
- 
- 100 **Chemischer Strahlenschutz**  
H. Mönig, O. Messerschmidt, C. Streffer/1984/ISBN 3-7894-0096-3/Druckversion vergriffen
- 
- 101 **Forschungen für den Zivil- und Katastrophenschutz 1975–1985,**  
Festschrift für Paul Wilhelm Kolb  
1986/ISBN 3-7894-0097-1/Druckversion vergriffen
- 
- 102 **Beiträge zur Wirkung von Kernwaffen**  
A. Sittkus, G. Hehn, H. Mönig/1989/Druckversion vergriffen
- 
- 103 **Beiträge zur Katastrophenmedizin**  
1988/ Druckversion vergriffen
-

**104**     **Arbeiten aus dem Fachausschuß II: Radioaktive Niederschläge**  
1988/Druckversion vergriffen

---

**105**     **Organophosphate Biochemie – Toxikologie – Therapie**  
G. Schmidt, R. Zech et al./1988/Druckversion vergriffen

---

## **Sonderveröffentlichungen**

---

**106**     **Notfall- und Katastrophenpharmazie I – Bevölkerungsschutz und  
Medizinische Notfallversorgung**  
2009/ISBN 978-3-939347-18-7

---

**107**     **Notfall- und Katastrophenpharmazie II – Pharmazeutisches Notfallmanagement**  
2009/ISBN 978-3-939347-19-4

---

**108**     **Katastrophenmedizin – Leitfaden für die ärztliche Versorgung im Katastrophenfall**  
2006/ISBN 3-939347-01-9 bzw. 978-3-939347-01-9

---

**109**     **Biologische Gefahren – Beiträge zum Bevölkerungsschutz, 2. Auflage**  
2005/ISBN 3-00-016733-1/Druckversion vergriffen

---

**110**     **Biologische Gefahren I – Handbuch zum Bevölkerungsschutz,  
3. vollständig überarbeitete Auflage**  
2007/ISBN 3-939347-06-X bzw. 978-3-939347-06-4

---

**111**     **Biologische Gefahren II – Entscheidungshilfen zu medizinisch angemessenen  
Vorgehensweisen in der B-Gefahrenlage**  
2007/ISBN 3-939347-07-8 bzw. 978-3-939347-07-1

---





