



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Humus



1. Bedeutung und Funktion
2. Humusuntersuchungen
3. Humus und Landwirtschaft
4. Aktuelle Forschung der LfL

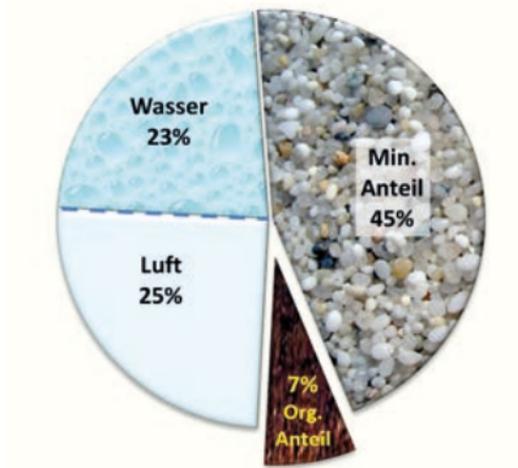


1. Bedeutung und Funktion

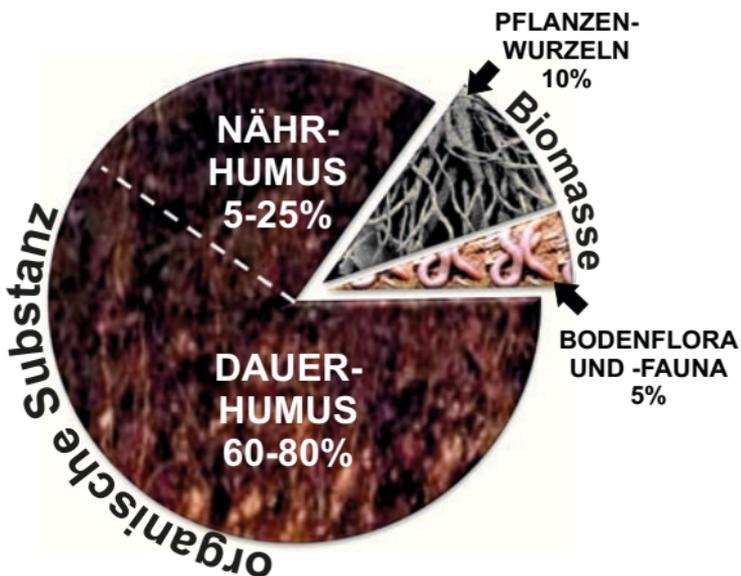
Was ist Humus?

Humus ist die unbelebte organische Bodensubstanz. Sie entsteht durch Zersetzung von Pflanzenresten und Bodenorganismen und unterteilt sich in leicht abbaubaren Nährhumus und stabilen Dauerhumus.

Bodenbestandteile (% Volumen)



Organischer Anteil (% Gewicht Trockensubstanz)



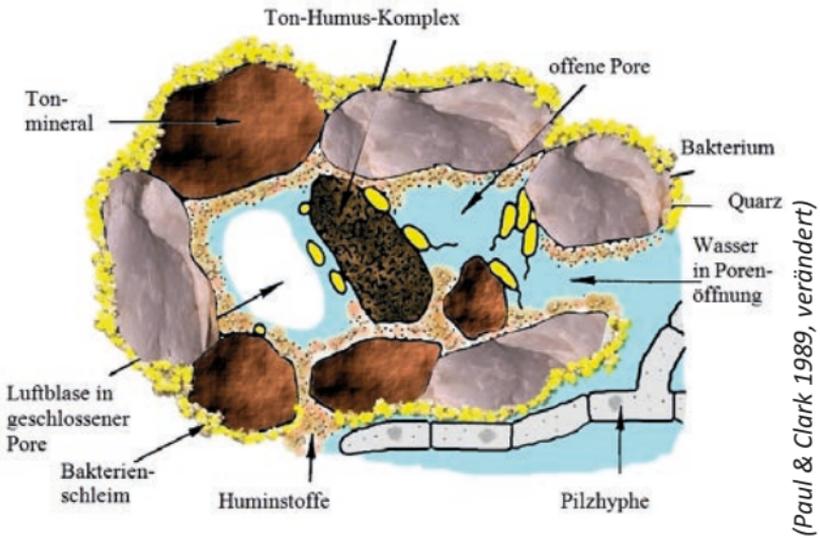
Unsere Böden in Mitteleuropa sind nach der letzten Eiszeit im Laufe von etwa 10.000 Jahren entstanden. Während der Entwicklung humoser Böden kommt es zur Ausbildung eines Bodengefüges (Aggregation)

1. Bedeutung und Funktion

Stabilisierung des Humus

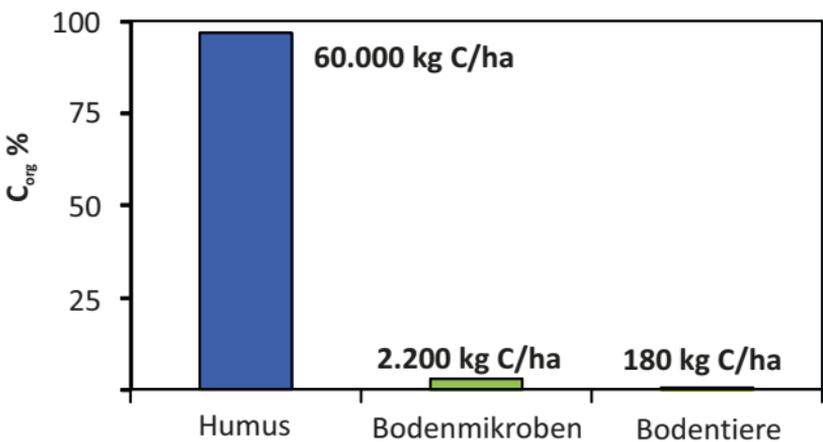
Die organische Bodensubstanz wird durch verschiedene Stabilisierungsprozesse gegen fortschreitenden Abbau durch Mikroorganismen geschützt. Von besonderer Bedeutung ist dabei eine Bindung an Tonminerale (Ton-Humus-Komplex). Zudem stellen Bodenaggregate einen physikalischen Schutz dar.

Modell eines Bodenaggregats



Verteilung des organischen Kohlenstoffgehaltes im Oberboden eines Ackers

C_{org} -Verteilung bezogen auf Trockensubstanz (TS)



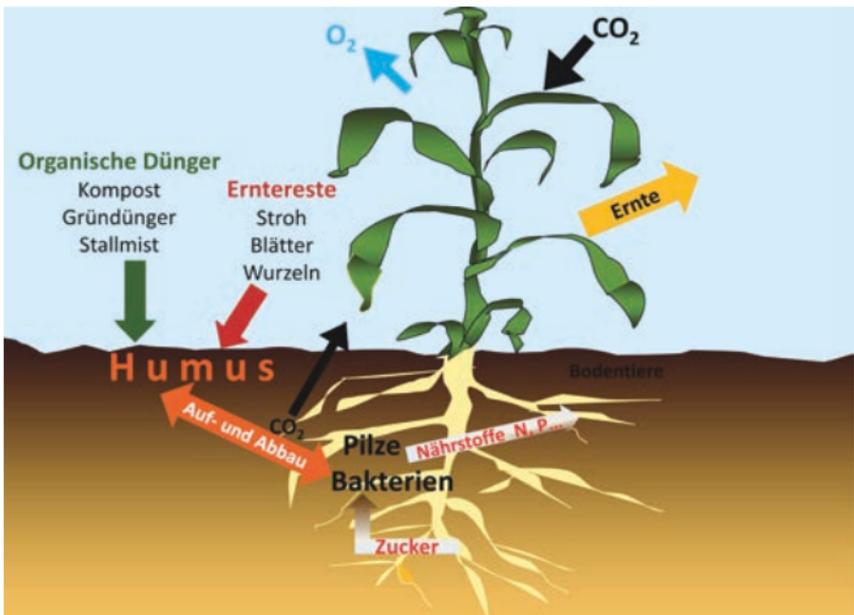
Der höchste Anteil ist die unbelebte organische Bodensubstanz, **der Humus**.

Die unsichtbare mikrobielle Biomasse ist mehr als 10-mal so hoch wie die sichtbare Biomasse (Bodentiere).

1. Bedeutung und Funktion

Humus und Kohlenstoff

Kohlenstoff ist Hauptbestandteil des Humus. Pflanzen benötigen keinen Humus-Kohlenstoff, da sie mittels der Photosynthese Zucker ($C_6H_{12}O_6$) aus atmosphärischem Kohlenstoff vom Kohlendioxid (CO_2) bilden, daher erfolgt kein Kohlenstoffentzug aus dem Humusvorrat durch die Ernte. Die Pflanzen geben sogar über ihre Wurzeln bis zu 30 % von diesem Zucker an Pilze und Bakterien im Boden ab, die in Symbiose mit ihnen leben. Es sind die Symbionten, welche organische Bodensubstanz (Humus) abbauen, dadurch Nährstoffe (N, P, S) gewinnen und diese pflanzenverfügbar machen. Weitere Bodenorganismen bauen organische Dünger und Erntereste ab und bilden zusammen mit ihrer abgestorbenen Biomasse wiederum neuen Humus.



Humusbilanz versus Humusuntersuchung

Die Humusbilanz dient zur Einschätzung (Berechnung) der jährlichen Humuswirkung der angebauten Früchte und der zugeführten organischen Dünger. Als Maß gilt dabei die Menge des im Humus gebundenen Kohlenstoffs, die in Humus-Äquivalenten (HÄ) ausgedrückt wird (1 HÄ = 1 kg Humus-Kohlenstoff). **Die Humusbilanz ist ungeeignet zur Ermittlung des tatsächlichen Humusgehaltes.** Deshalb empfehlen wir, alle 5 bis 6 Jahre den Humusgehalt durch Probenahme im Frühjahr auf der gleichen Teilfläche (von 10 bis 20 m²) im Bodenlabor bestimmen zu lassen, um Humusveränderungen festzustellen.

2. Humusuntersuchungen

Probenahme

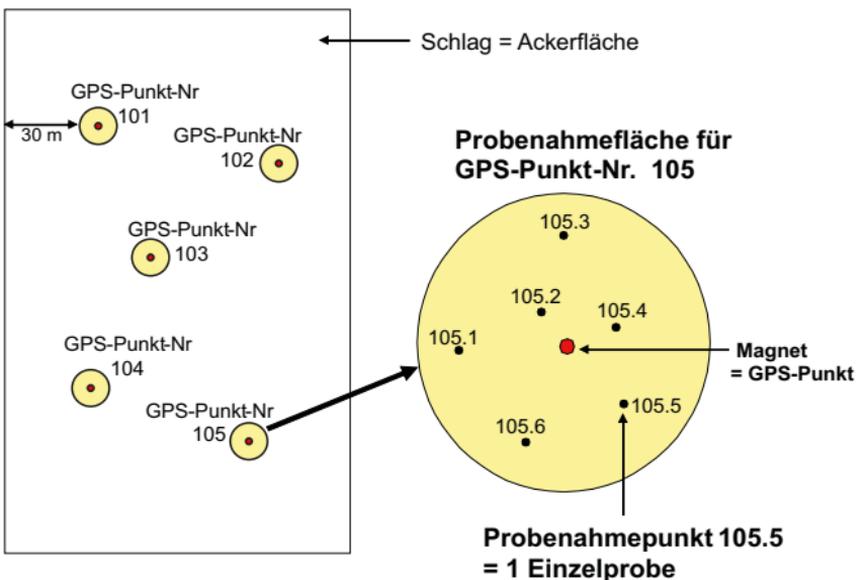
Die Bodenprobenahme soll im Frühjahr erfolgen, vor der Ausbringung von organischem oder mineralischem Dünger.

Probenahme



Die Probenahme-Teilflächen müssen zuvor mit GPS oder anderen Systemen möglichst genau eingemessen werden, um sicherzustellen, dass auch nach mehreren Jahren die gleiche Stelle beprobt wird. Von dieser Teilfläche wird eine Mischprobe aus mehreren Einstichen (z.B. mit dem N_{\min} -Bohrer) bis 15 cm Tiefe gezogen.

Schema der Probenahme für die LfL-Humus-Datenbank



Bodenaufbereitung

Im Labor werden die Proben luftgetrocknet, gesiebt, fein gemahlen und homogenisiert. Anschließend können sie auf ihre Bestandteile analysiert werden.

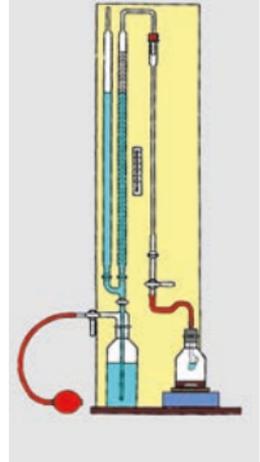
2. Humusuntersuchungen

Humuskennwerte: Bestimmung im Humus-Labor der LfL

Der **Gesamt-Kohlenstoff (C_t)** und **-Stickstoffgehalt (N_t)** des Bodens, werden simultan und umweltfreundlich durch Verbrennung und Gasanalyse in einem Elementaranalysator bestimmt.

Der anorganische Kohlenstoff in Form von Carbonat (C_{anorg}) wird durch die klassische Scheibler-Methode ermittelt.

Scheiblergerät



Zur Berechnung des **organischen Kohlenstoffs (C_{org})** wird vom Gesamt-Kohlenstoff (C_t) der anorganische Kohlenstoff (C_{anorg}) abgezogen.

$$C_{org} = C_t - C_{anorg}$$

Der C_{org} -Gehalt sollte bevorzugt als messbares Äquivalent für den Humusgehalt verwendet werden (C_{org} -Gehalt x 1,72 = Humusgehalt). Für quantitative Aussagen ist eine Berechnung von C_{org} -Vorräten notwendig.

Infrarot-Spektroskopie (IR)

Die IR-Spektroskopie dient als Carbonat-Schnelltest und zur Bestimmung der wasserabweisenden, organischen Humusbestandteile.

Da jeder Boden ein charakteristisches IR-Spektrum hat, wird dieses in einer Spektren-Bibliothek gespeichert und für Bodenvergleiche genutzt.

2. Humusuntersuchungen

Bodenaufbereitung und Humusuntersuchungen

Bodenaufbereitung



Bestimmung von
Gesamt Kohlenstoff
(C_t) und Stickstoff (N_t)
mittels Elementar-
Analysator

Messung des
anorganischen
Kohlenstoffs (C_{anorg})
mit der Scheibler-
Apparatur

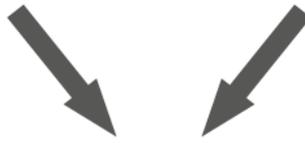


Infrarot-
Spektroskopie

3. Humus und Landwirtschaft

Standortfaktoren

Bewirtschaftung



Klima



Bodenart



Grundwasser



beeinflussen den
HUMUS

mit seinen
Funktionen:

als Lebensraum
und Nahrungsquelle
für Pflanzen,
Bodentiere und
Mikroorganismen

Reinigung und Spei-
cherung von Wasser

Regulierung des
Wärmehaushalts

Stabilisierung der
Bodenstruktur

Verminderung der
Erosion

Nährstoffspeicherung
und -nachlieferung

Pufferung der
pH-Schwankungen

Förderung des
Abbaus und Umbaus
von Schadstoffen

Speicherung von
Kohlenstoff und
Klimaregulierung

Fruchtfolge



organische Düngung



Boden- bearbeitung

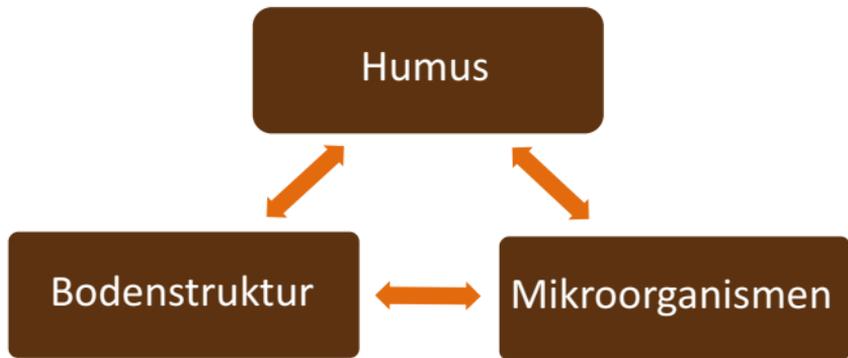


Der Landwirt hat nur über die
Bewirtschaftungsmaßnahmen
Einfluss auf den Humusgehalt.

3. Humus und Landwirtschaft

Das Dreieck der Bodenfruchtbarkeit

Der Humus, die Bodenstruktur und die Mikroorganismen haben eine große Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit und beeinflussen sich gegenseitig.



Landwirtschaftliche Maßnahmen die den Humus erhalten und fördern:

- Ausgewogene vielfältige Fruchtfolge, Zwischenfrucht, Untersaat.
- Ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz, durch Einarbeitung von Pflanzenresten oder organischen Düngern.
- Dem Standort angepasste Bodenbearbeitung, um Erosion und Verdichtung zu vermeiden.
- Beachtung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei Düngungsmaßnahmen.
- Bedarfsgerechte Kalkversorgung: Bodenmikroorganismen benötigen einen neutralen pH-Wert, saure Böden verringern das bakterielle Bodenleben und damit die Bodenfruchtbarkeit.
- Grünlanderhalt.

3. Humus und Landwirtschaft

Versuch zum Einfluss der Fruchtfolge

Laufzeit seit 1953	Weizen Fruchtfolge	Weizen Daueranbau	Silomais Fruchtfolge	Silomais Daueranbau	Schwarz- brache
C_{org}	100	92	91	83	54
Aggregatstabilität	100	82	77	59	18
Infiltrationsrate	100	46	22	3	0
Mikrobielle Biomasse	100	100	85	70	29

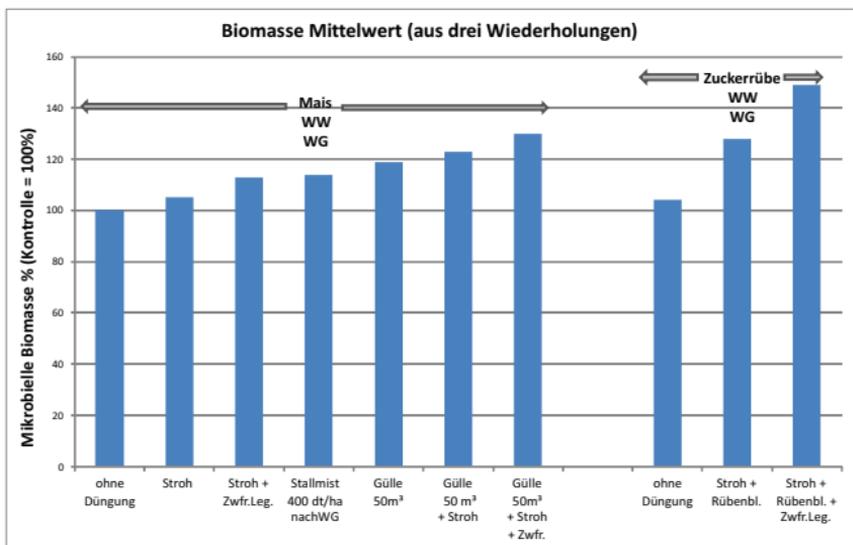
Humuszehrend: Silomais, Zuckerrübe, Kartoffel

Werte bezogen auf Weizenfruchtfolge = 100%

Humusmehrend: Leguminosen, Zwischenfrucht zur Gründüngung

Ein 60-jähriger Dauerversuch in Puch zeigt eine sukzessive Abnahme des Humus-Gehaltes (C_{org}) beim Daueranbau von Weizen und Silomais im Vergleich zur Weizenfruchtfolge.

Versuch zum Einfluss der organischen Düngung



Ein 20-jähriger Versuch zur organischen Düngung zeigt, dass die mikrobielle Biomasse durch diverse Maßnahmen der organischen Düngung zunimmt.

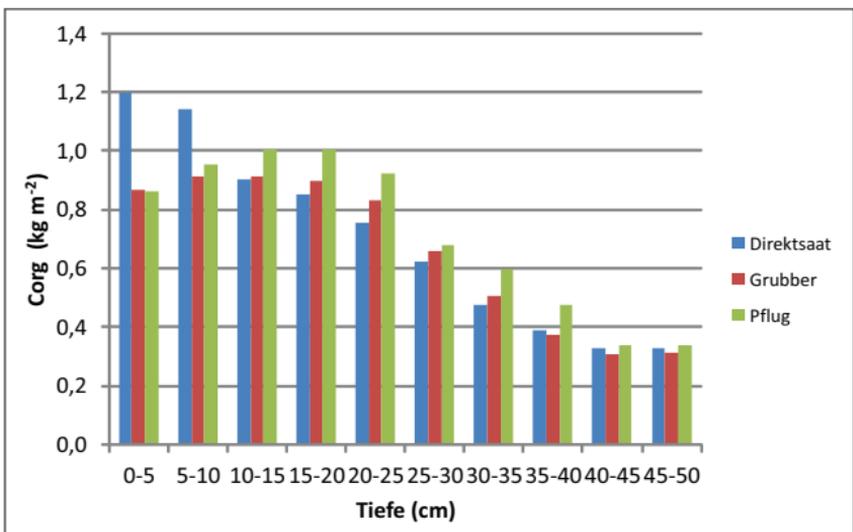
Die mikrobielle Biomasse steht im deutlichen Bezug zum Humusgehalt und ist ein Maß für die Bioaktivität im Boden.

3. Humus und Landwirtschaft

Versuch zum Einfluss der Bodenbearbeitung

Die Auswirkung der Bodenbearbeitung auf den Humusvorrat (C_{org}) wurde in einer 21-jährigen (1992-2013) Versuchsreihe in der Versuchsstation in Puch (Landkreis Fürstenfeldbruck) untersucht.

C_{org} -Mittelwerte aus drei Bodenprofilen



Die Bodenbearbeitung mit Direktsaat, Grubber oder Pflug bestimmt die Tiefenverteilung des Humus im Boden. Unter Direktsaat werden erhöhte C_{org} -Vorräte in den obersten 10 cm des Bodens durch verringerte C_{org} -Vorräte in tieferen Bereichen ausgeglichen.

Über alle Probenahme-Tiefen gesehen ändert die Art der Bodenbearbeitung kaum die Gesamtmenge des organischen Kohlenstoffs.

Die Auswertung des 21-jährigen Dauerversuchs zum Thema Bodenbearbeitung und Humusgehalt belegt, dass der Pflugeinsatz nicht humuszehrend wirkt.

3. Humus und Landwirtschaft

Humus und mikrobielle Aktivität

Die Bestimmung bodenmikrobiologischer Kenngrößen ergänzt die Humusanalytik an der LfL. Der Gehalt der mikrobiellen Biomasse im Boden (C_{mic}) ist dabei ein empfindlicher Indikator für Änderungen der Bodenbewirtschaftung. Eine Aussage über die C-Dynamik im Boden ermöglicht das Verhältnis C_{mic}/C_{org} , das den Anteil der metabolisch aktiven mikrobiellen Biomasse am Humusgehalt wiedergibt.



SIR-Anlage nach Heinemeyer

Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse erfolgt mittels des SIR-Verfahrens (substrat-induzierte Respiration) nach Glucose-Zugabe als leicht verfügbare Kohlenstoff-Quelle unter Verwendung der von Heinemeyer et al. (1989) beschriebenen IR-Gasmessanlage.

4. Aktuelle Forschung der LfL

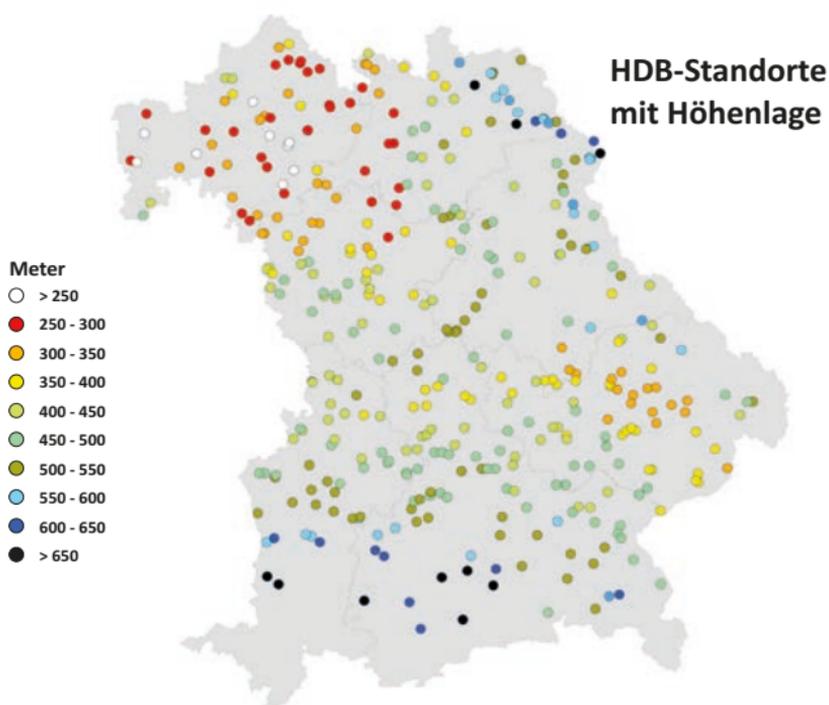
Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden

Jeder Acker kann auf Grund seiner Lage, Nutzung und Bewirtschaftung eine **für den Standort typische Humusmenge speichern**.

Laut § 17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes, besteht die gute fachliche Praxis bezüglich der Humusversorgung darin, **die standorttypischen Humusgehalte zu erhalten**.

Zur praktischen Umsetzung des Gesetzes wurden **Spannweiten der standorttypischen Humusgehalte in Bayern** vom Humuslabor der LfL ermittelt. Die Probenahme geschah durch die Fachzentren Agrarökologie der Landwirtschaftsämter (AELF).

Es werden seit 2001 bayernweit Böden von 454 Betrieben (375 konventionelle und 79 ökologische) beprobt, 11000 Humusanalysen durchgeführt und die **Daten in einer Humus-Datenbank (HDB)** hinterlegt.



4. Aktuelle Forschung der LfL

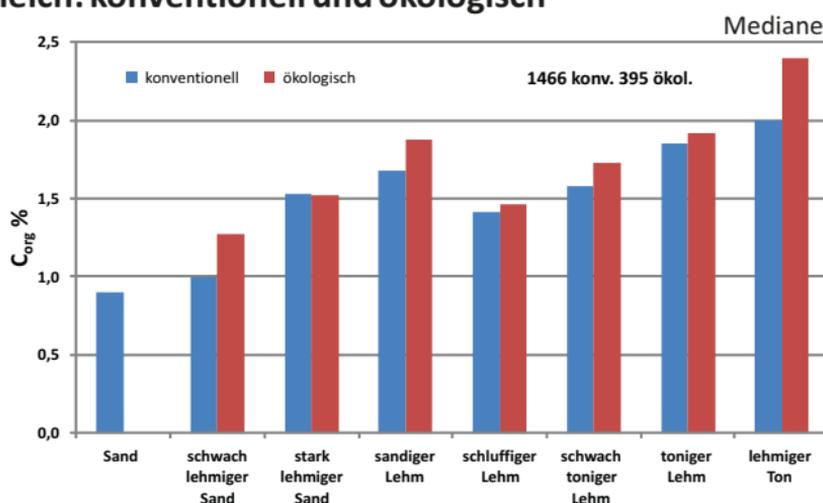
Standorttypische Humusgehalte

Die Tabelle zeigt die ermittelten Spannweiten der standorttypischen Humusparameter in Bayern in Abhängigkeit von der Bodenart und der Höhenlage.

Bodenart	Höhe m	C _{org} %	N _t %	C/N
Sande	< 350	0,70 - 1,37	0,058 - 0,116	10,4 - 12,6
	350 – 550	0,75 - 1,57	0,066 - 0,140	
Lehme	< 350	1,00 - 1,64	0,092 - 0,160	9,6 - 11,6
	350 – 550	1,16 - 2,32	0,113 - 0,222	
	> 550	1,80 - 3,55	0,163 - 0,336	
Schluffe	< 350	0,96 - 1,56	0,100 - 0,149	9,4 - 10,7
	350 – 550	1,17 - 1,88	0,119 - 0,186	
	> 550	1,20 - 2,19	0,123 - 0,217	
Tone	< 350	1,23 - 2,16	0,125 - 0,223	9,2 - 10,7
	350 - 550	1,31 - 2,52	0,135 - 0,241	
	> 550	2,33 - 4,19	0,235 - 0,461	

Mit **zunehmenden Tongehalten** steigen die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte. Gleichzeitig erhöhen sich innerhalb einer Bodenart die Humusparameter mit der **Höhenlage**.

Organischer Kohlenstoff (C_{org}) bayerischer Äcker im Vergleich: konventionell und ökologisch



Der Humusgehalt steigt mit zunehmendem Tongehalt. Ökologisch bewirtschaftete Flächen haben einen leicht erhöhten C_{org} in der Tiefe von 0 bis 15 cm.

4. Aktuelle Forschung der LfL

Langzeitbeobachtungen: Humusdatenbank

Veränderungen der Humuskennwerte nach 10 Jahren

Für genaue Langzeitstudien ist der Humusgehalt einer **großen Ackerfläche zu heterogen**. Aus diesem Grund wurden für die Humus-Datenbank je Ackerfläche fünf kleine Teilflächen (ca. 7 m²) ausgewählt, mit GPS eingemessen und nach 10 Jahren wieder beprobt.

Veränderungen der Humuskennwerte in den bayerischen Regierungsbezirken nach 10 Jahren

Regierungs- Bezirk	Betriebe Anzahl	Teilflächen Anzahl	Veränderungen	
			C _{org} %	N _t %
Oberpfalz	16	80	-2,8	-4,6
Schwaben	16	80	+6,4	+4,9
Oberbayern-Süd	20	100	-1,8	-2,9
Oberbayern-Nord	20	100	+1,7	+1,6
Niederbayern	18	90	+3,9	+5,8
Mittelfranken	21	105	-0,5	+0,5
Oberfranken	22	110	-2,0	-0,1
Unterfranken	21	105	+1,6	+4,8
Summe	154	770		
Mittelwerte			+0,8	+1,3

Im Mittel sind die organischen Kohlenstoffwerte und Stickstoffwerte **nahezu unverändert** geblieben.

4. Aktuelle Forschung der LfL

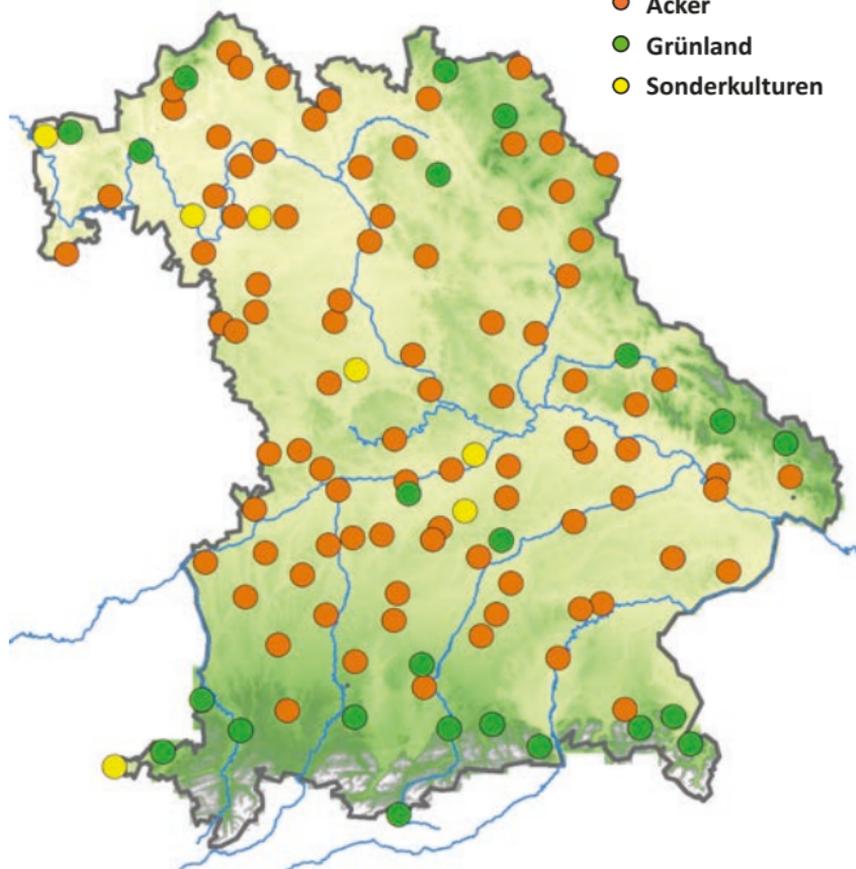
Langzeitbeobachtungen: Bodendauerbeobachtungs-Programm (BDF)

Veränderungen der Humuskennwerte in Bayern

Um Rückschlüsse zur langfristigen Entwicklung der Humusversorgung abzuleiten und eine Prognose zu stellen, werden **in Bayern seit 1986** im Rahmen eines Boden-Monitorings regelmäßig Humusuntersuchungen auf ausgewählten, repräsentativen, landwirtschaftlich genutzten Flächen (91 Acker-, 23 Grünland-, 7 Obst- und Sonderkultur-Standorte) durchgeführt.

BDF Standorte

- Acker
- Grünland
- Sonderkulturen

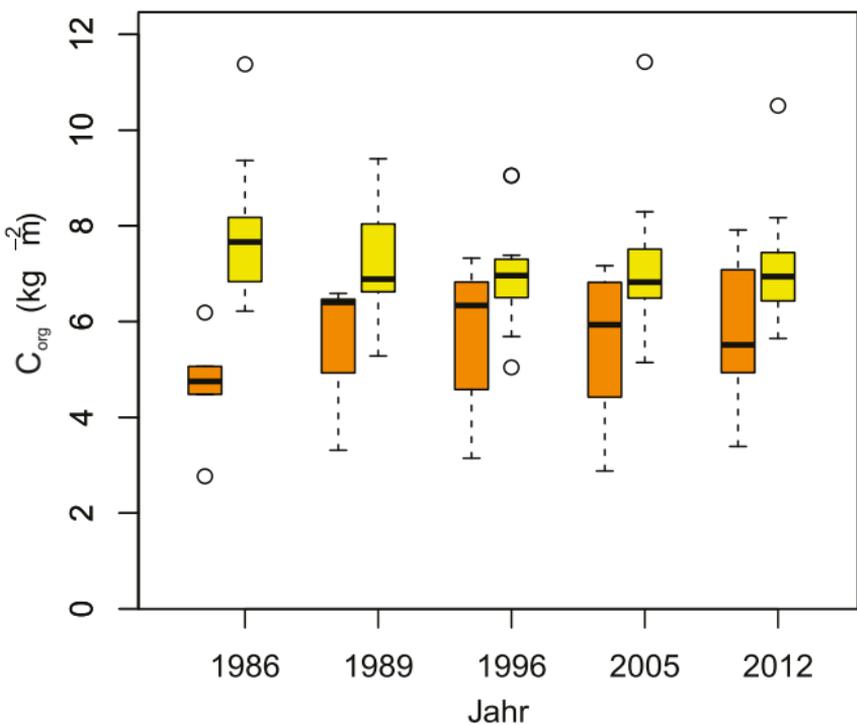


4. Aktuelle Forschung der LfL

Langzeitbeobachtungen: Bodendauerbeobachtungs-Programm (BDF)

Veränderungen der Humusvorräte in Bayern

Eine vorläufige Auswertung der Veränderung der C_{org} -Vorräte von BDF-Standorten unter Grünland zeigte zwei unterschiedliche Entwicklungen in Abhängigkeit vom Ausgangsvorrat. An Standorten mit niedrigen initialen C_{org} -Vorräten nahmen die Vorräte tendenziell zu, bei höheren anfänglichen Vorräten zeigte sich eine Abnahme. Bei den untersuchten Ackerstandorten ergab sich ebenfalls keine einheitliche Entwicklung. Die Frage, welchen Anteil der Klimawandel an den beobachteten Veränderungen hat, kann derzeit nicht beantwortet werden.



Median der C_{org} -Vorräte (0-10 cm) in BDF-Standorten unter Grünland 1986-2012 (gelb: Standorte mit rückläufigen C_{org} -Trend; orange: Standorte mit ansteigendem C_{org} -Trend)

4. Aktuelle Forschung der LfL

Biokohle, Bodenfruchtbarkeit und Klima

Es ist davon auszugehen, dass die Landwirtschaft aufgrund des Klimawandels sich auf zunehmende Trockenheit, Starkregenereignisse sowie Veränderungen bei der Nährstoffverfügbarkeit einstellen muss.

Der Einsatz von Biokohle im Ackerbau kann möglicherweise einen Beitrag zur Klimaverbesserung durch langfristige Festlegung von klimaschädlichem CO₂ leisten.

Durch Einbringung von Biokohle in den Boden, besonders bei leichten Böden, soll, aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften der Biokohle, die Speicherfähigkeit für Wasser und Nährstoffe erhöht werden und damit zu einer langfristigen Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit führen.



Seit 2013 läuft ein Forschungsprojekt zu diesem Thema. Bis zu 60 t/ha Kohle werden in leichte Böden eingearbeitet. Die Wirkung verschiedener Biokohlen auf wichtige Merkmale der Bodenfruchtbarkeit (Aggregatstabilität, Humusvorrat, mikrobielle Aktivität) soll erstmals in Bayern unter Praxisbedingungen aufgezeigt werden.

4. Aktuelle Forschung der LfL

Wirkung von Biogasgärresten auf die Bodenfruchtbarkeit

Ist-Situation:

- Jährlich 13,5 Mio. m³ Biogasgärreste in Bayern
- Menge ist steigend
- Hoher Nährstoffgehalt, Eignung als org. Dünger
- gesteigerter Ammoniumgehalt
- Separierung fest flüssig

Fragen – Probleme:

- Verschiedene Gärreste (Nährstoffe schwanken)
- Hygienisierung (mesophile Anlagen)
- Anreicherung potentieller Schadstoffe
- Kohlenstoffarmut (Energiearmut): Humuswirkung



Versuch mit 10-jähriger Laufzeit: 2009 – 2019
auf 4 Standorten in Bayern mit einer Fruchtfolge
Silomais-Winterweizen und Prüfung auf Ertrag,
Bodenfauna, Mikrobiologie, Humus, Bodenphysik.

***„Der Boden
ist eines der kostbarsten
Güter der Menschheit.
Er ermöglicht es Pflanzen, Tieren
und Menschen auf der Erdoberfläche
zu leben“.
(Europäische Bodencharta)***

Weitere Informationen:

Ausführliche Informationen zum Thema Humus:

www.lfl.bayern.de/Humus

Schriftenreihe der LfL: Standorttypische Humusgehalte von
Ackerböden in Bayern

www.lfl.bayern.de/Humusgehalte

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und
Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising
E-Mail: Agrarökologie@LfL.bayern.de
Tel.: 08161 71-3640

6. überarbeitete Auflage, Juli 2017

Druck: diedruckerei.de, 91413 Neustadt a. d. Aisch

© LfL alle Rechte vorbehalten, Schutzgebühr: 0.50 €