LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Humus

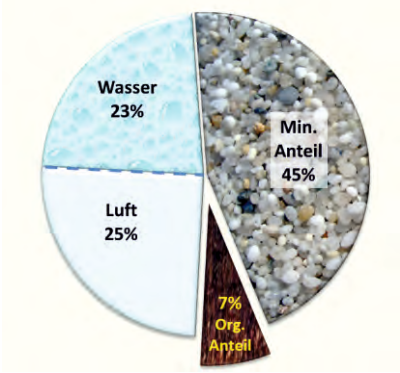
1. Bedeutung und Funktion
2. Humusuntersuchungen
3. Humus und Landwirtschaft
4. Aktuelle Forschung der LfL

1. Bedeutung und Funktion

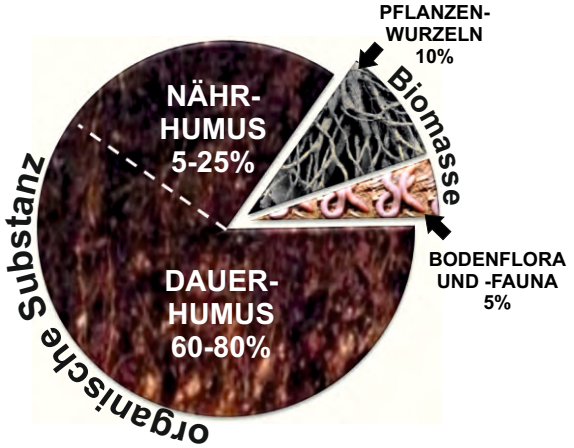
Was ist Humus?

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)



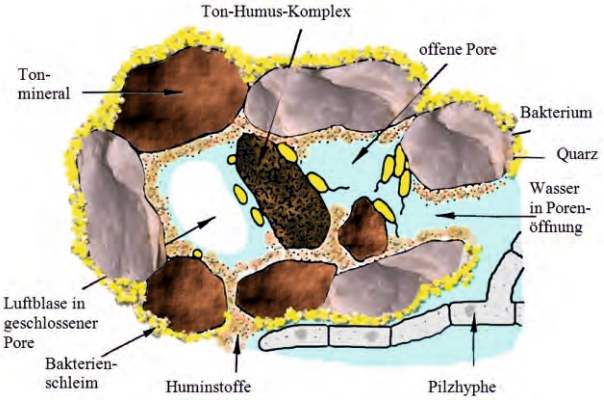
Unsere Böden in Mitteleuropa sind nach der letzten Eiszeit im Laufe von etwa 10.000 Jahren entstanden. Während der Entwicklung humoser Böden kommt es zur Ausbildung eines Bodengefüges (Aggregierung)

1. Bedeutung und Funktion

Stabilisierung des Humus

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

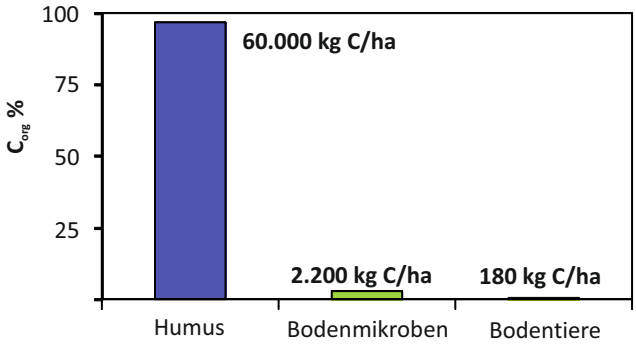
Modell eines Bodenaggregats



(Paul & Clark 1989, verändert)

Verteilung des organischen Kohlenstoffgehaltes im Oberboden eines Ackers

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



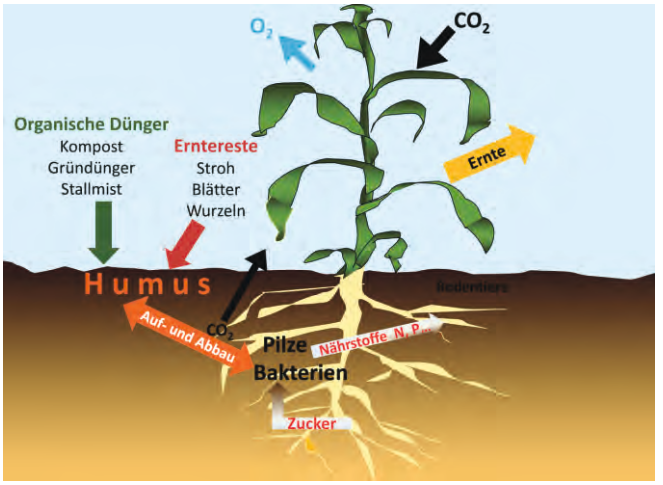
Der höchste Anteil ist die unbelebte organische Bodensubstanz, **der Humus.**

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 m^2) im Bodenlabor bestimmen zu lassen, um Humusveränderungen festzustellen.

2. Humusuntersuchungen

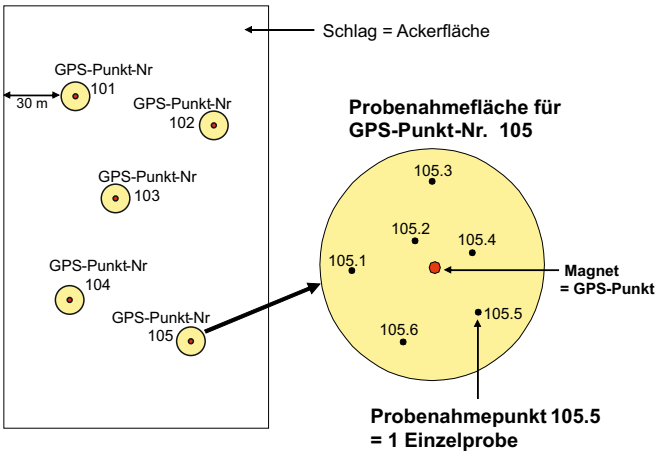
Probenahme

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

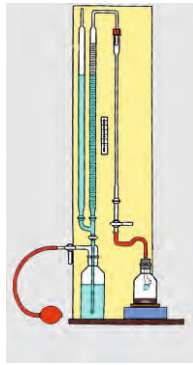
Im Labor werden die Proben luftgetrocknet, gesiebt, fein gemahlen und homogenisiert. Anschließend können sie auf ihre Bestandteile analysiert werden.

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 Speicherung von Wasser

Regulierung des Wärmehaushalts

Stabilisierung der Bodenstruktur

Verminderung der Erosion

Nährstoffspeicherung und -nachlieferung

Pufferung der pH-Schwankungen

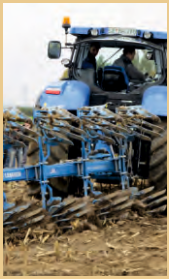
Förderung des Abbaus und Umbaus von Schadstoffen

Speicherung von Kohlenstoff und Klimaregulierung

Fruchtfolge

organische Düngung

Boden-bearbeitung

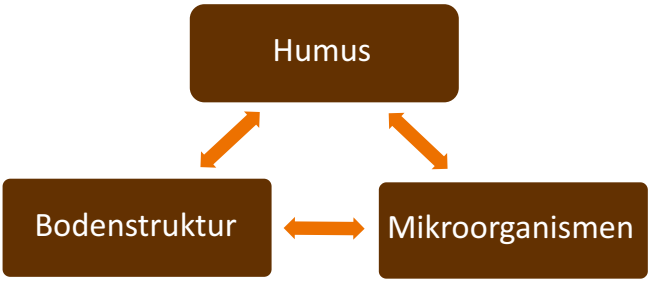


Der Landwirt hat nur über die Bewirtschaftungsmaßnahmen Einfluss auf den Humusgehalt.

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

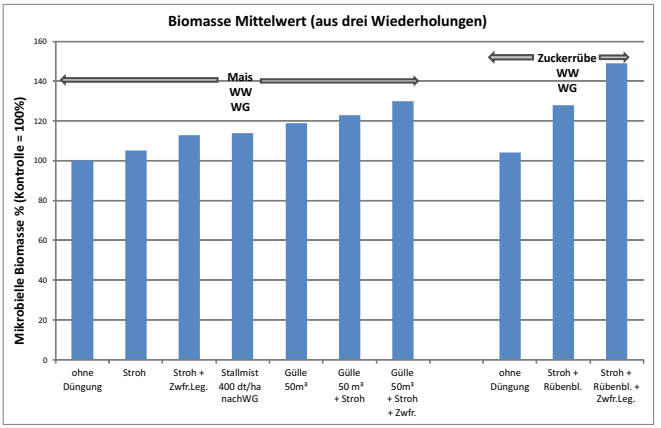
Laufzeit seit 1953	Weizen Fruchtfolge	Weizen Daueranbau	Silomais Fruchtfolge	Silomais Daueranbau	Schwarz-brache
C_{org}	100	92	91	83	54
Aggregatstabilität	100	82	77	59	18
Infiltrationsrate	100	46	22	3	0
Mikrobielle Biomasse	100	100	85	70	29

Werte bezogen auf Weizenfruchtfolge = 100%

Humuszehrend: Silomais, Zuckerrübe, Kartoffel
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.

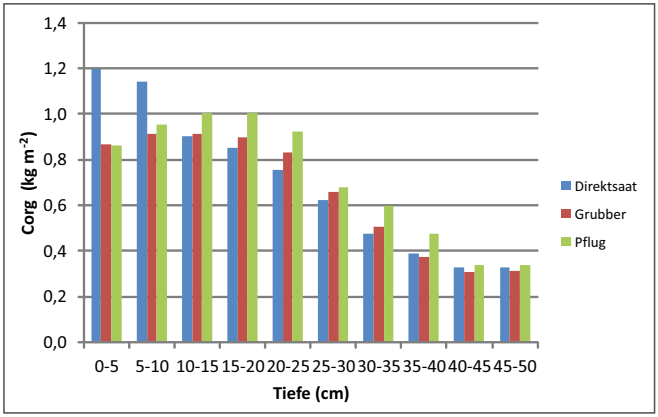
Die mikrobielle Biomasse steht im deutlichen Bezug zum Humusgehalt und ist ein Maß für die Bioaktivität im Boden.

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.

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

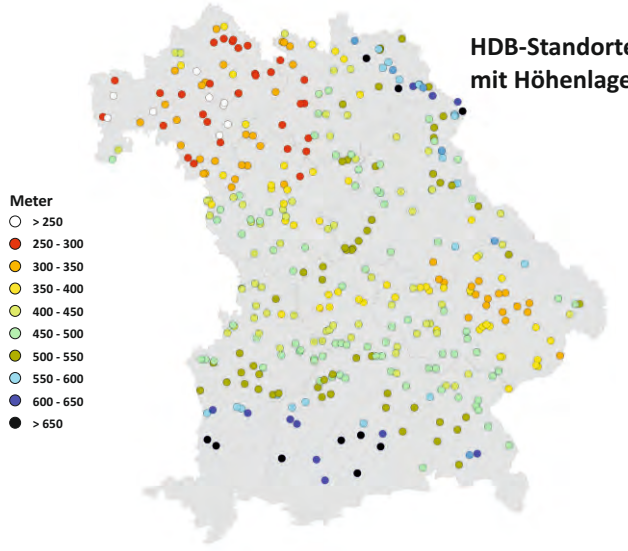
Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden

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 347 Betrieben (266 konventionelle und 81 ökologische) beprobt, über 20.000 Humusanalysen durchgeführt und die **Daten in einer Humus-Datenbank (HDB)** hinterlegt.



4. Aktuelle Forschung der LfL

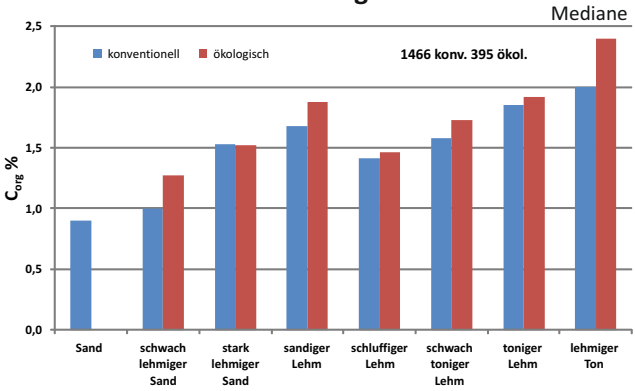
Standorttypische Humusgehalte

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



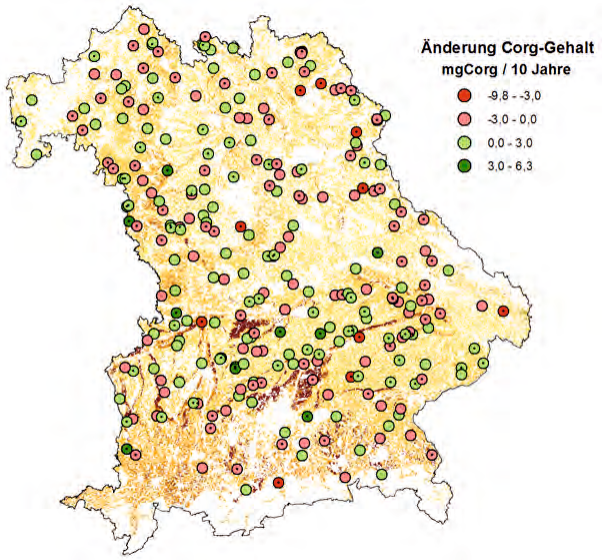
Der Humusgehalt steigt mit zunehmendem Tongehalt. Ökologisch bewirtschaftete Flächen haben einen leicht erhöhten C_{org} in der Tiefe von 0 bis 15 cm.

4. Aktuelle Forschung der LfL

Langzeitbeobachtungen: Humusdatenbank

Veränderungen der Humusgehalte im Zeitraum von 2001/2008 bis 2011/2018

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 m^2) ausgewählt, mit GPS eingemessen und nach 10 Jahren wieder beprobt.

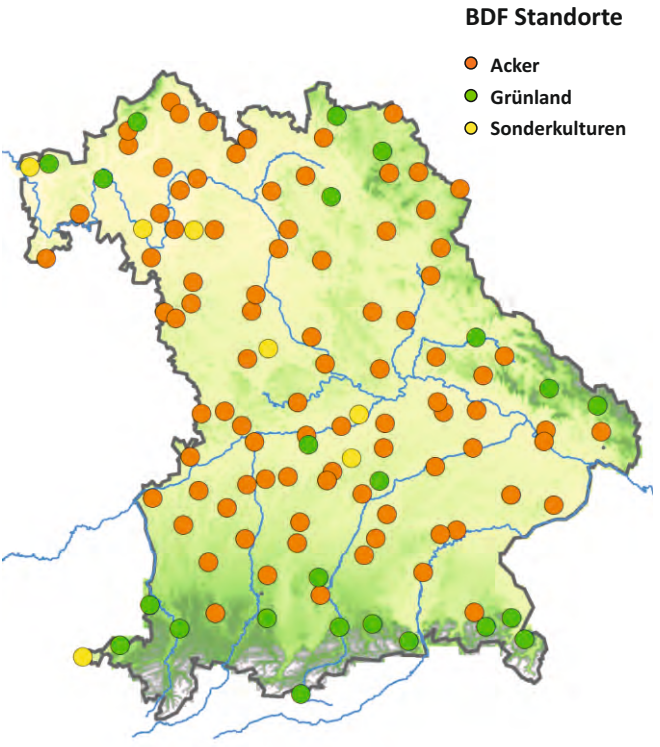


Eine Auswertung der Corg-Veränderungen für 279 Standorte der Humusdatenbank der ersten beiden Beprobungsserien (2001/2008 und 2011/2018) zeigte in allen Regionen Bayerns sowohl Zunahmen (28% der Standorte) als auch Abnahmen (22%) der Corg-Gehalte. Auf 50% der Flächen ergaben sich keine Veränderungen der Corg-Gehalte.

Langzeitbeobachtungen: Bodendauerbeobachtungs-Programm (BDF)

Veränderungen der Humusvorräte in Bayern

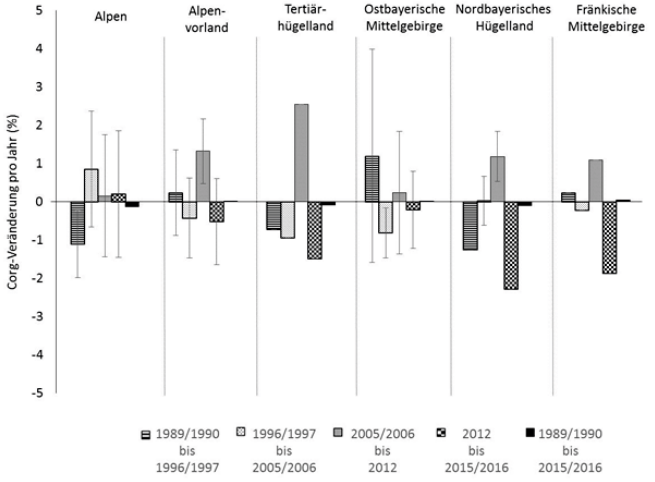
Um Rückschlüsse zur langfristigen Entwicklung der Humusversorgung abzuleiten und eine Prognose zu stellen, werden **in Bayern seit 1986** im Rahmen eines Boden-Monitorings regelmäßig Humusuntersuchungen auf ausgewählten, repräsentativen, landwirtschaftlich genutzten Flächen (91 Acker-, 23 Grünland-,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



4. Aktuelle Forschung der LfL

Langzeitbeobachtungen: Bodendauerbeobachtungs-Programm (BDF)

Veränderungen der Humusvorräte unter Grünland



Eine Auswertung von Corg-Veränderungen in Grünlandböden des BDF-Programms zeigte sowohl Zu- als auch Abnahmen im Zeitraum 1989 bis 2016, ohne bedeutende Unterschiede zwischen den Agrarregionen.

4. Aktuelle Forschung der LfL

Weitere aktuelle Forschungsprojekte:

·Projekt zur **„Wirkung karbonisierter organischer Reststoffe auf die Bodenfruchtbarkeit“** (Laufzeit 2013-2017, Abschlussbericht in LfL-Schriftenreihe 2018/3)

·Projekt **„Nachhaltige Nutzung von Grünland in den Alpen und im Alpenvorland im Klimawandel“** (SUSALPS, Laufzeit 2015-2021) , www.susalps.de

·Projekt zur „**Wirkung von Biogasgärresten auf die Bodenfruchtbarkeit“** (Laufzeit 2009-2019)

·Projekt zur **„Auswirkung reduzierter Bodenbearbeitung im Ökolandbau auf Humusvorräte“** (SOCORT, Laufzeit 2017-2020)

·Projekt zur **„Steigerung der Naturnahrungsproduktion in der Karpfenteichwirtschaft zur Förderung einer nachhaltigen und ökologischen Produktion in der Karpfenteichwirtschaft“** (NatKa, Laufzeit 2016-2019)

·Projekt **„Agroforstsysteme zur Energieholzerzeugung im ökologischen Landbau“** (Laufzeit 2009-2018)

·Untersuchung von **Dauerfeldversuchen zu reduzierter Bodenbearbeitung, Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Mais-, Getreide- und Leguminosenanteilen, Daueranbau mit unterschiedlichen Bracheformen, organischer Düngung, unterschiedlicher Kleegrasnutzung und Grünlandextensivierung** hinsichtlich Humus und Bodenmikrobiologie

„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, 5/2010

www.LfL.bayern.de/Humusgehalte

Wirkung karbonisierter organischer Reststoffe auf die Bodenfruchtbarkeit, 3/2018

www.LfL.bayern.de/Biokohle

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: Agraroekologie@LfL.bayern.de Tel.: 08161 71-3640
7. überarbeitete Auflage, Februar 2019	
Druck:	die**druckerei.de,** 91413 Neustadt a.d. Aisch
© LfL	alle Rechte vorbehalten, Schutzgebühr: 0,50 €