



**LfL**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

# **Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern**



16  
2006

**Schriftenreihe**

**ISSN 1611-4159**

**Impressum:**

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

Redaktion: Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz  
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan  
E-Mail: [Agrarökologie@LfL.bayern.de](mailto:Agrarökologie@LfL.bayern.de)  
Tel.: 08161/71-3640

1. Auflage August / 2006

Druck: ES-DRUCK, 85356 Freising

© LfL



# **Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern**

**Peter Capriel**

Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft



## Inhaltsverzeichnis

Seite

1.	Einleitung .....	10
2.	Ziel .....	11
3.	Material und Methoden .....	12
3.1	Auswahl der konventionellen und ökologischen Betriebe .....	12
3.2	Bodenprobenahme .....	12
3.3	Humusparameter, Methoden .....	13
4.	Ergebnisse, Diskussion .....	13
4.1	Einfluss der Standortfaktoren .....	16
4.1.1	Einfluss der Bodenart .....	16
4.1.2	Einfluss des Klimas .....	25
4.2	Einfluss der Viehhaltung .....	29
5.	Standorttypische Humuskennwerte für Ackerland in Bayern .....	32
6.	Hinweise für die Praxis .....	33
7.	Literaturverzeichnis.....	36
8.	Anhang.....	36

Abb. 1: Beziehung Humus, Standortfaktoren, Bewirtschaftung, Bodeneigenschaften .....	11
Abb. 2: Bodenprobenahme für die Humusuntersuchung.....	12
Abb. 3: Verteilung der Humusgehalte ( $C_{org}$ , $N_t$ ) .....	14
Abb. 4: Verteilung der Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) .....	15
Abb. 5: Verteilung der Carbonat-Kohlenstoffgehalte .....	15
Abb. 6: Anteil der carbonathaltigen Böden in den Bodenartgruppen .....	16
Abb. 7: Verteilung der Bodenarten der untersuchten Ackerböden .....	17
Abb. 8: $C_{org}$ – Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen .....	19
Abb. 9: Spannweiten der $C_{org}$ – Gehalte .....	19
Abb. 10: $N_t$ – Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen .....	21
Abb. 11: Spannweiten der $N_t$ – Gehalte .....	22
Abb. 12: $C_{org} / N_t$ – Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen .....	24
Abb. 13: Spannweiten der $C_{org} / N_t$ Verhältnisse .....	24
Abb. 14: Verteilung der Höhenlage der Teilflächen .....	25
Abb. 15: Spannweiten der $C_{org}$ - Gehalte in Abhängigkeit von Höhe .....	26
Abb. 16: Spannweiten der $N_t$ - Gehalte in Abhängigkeit von Höhe .....	26
Abb. 17: Spannweiten der $C_{org} / N_t$ Verhältnisse in Abhängigkeit von Höhe .....	27
Abb. 18: $C_{org}$ – Mediane in Abhängigkeit von Höhe .....	27
Abb. 19: $N_t$ – Mediane in Abhängigkeit von Höhe .....	28
Abb. 20: $C_{org} / N_t$ - Mediane in Abhängigkeit von Höhe .....	28
Abb. 21: Spannweiten der $C_{org}$ - Gehalte in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	29
Abb. 22: Spannweiten der $N_t$ - Gehalte in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	29
Abb. 23: Spannweiten der $C_{org} / N_t$ Verhältnisse in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	30
Abb. 24: $C_{org}$ – Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	30
Abb. 25: $N_t$ – Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	31
Abb. 26: $C_{org} / N_t$ - Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung .....	31

## Tabellenverzeichnis

Seite

Tab. 1: Bodenarteinteilung nach Ton- und Schluffgehalten .....	16
Tab. 2: Statistische Kennwerte $C_{org}$ der konventionellen Teilflächen .....	18
Tab. 3: Statistische Kennwerte $C_{org}$ der ökologischen Teilflächen .....	18
Tab. 4: Statistische Kennwerte $C_{org}$ (konventionell + ökologisch) .....	20
Tab. 5: Statistische Kennwerte $N_t$ der konventionellen Teilflächen .....	20
Tab. 6: Statistische Kennwerte $N_t$ der ökologischen Teilflächen .....	21
Tab. 7: Statistische Kennwerte $N_t$ (konventionell + ökologisch) .....	22
Tab. 8: Statistische Kennwerte $C_{org} / N_t$ der konventionellen Teilflächen .....	23
Tab. 9: Statistische Kennwerte $C_{org} / N_t$ der ökologischen Teilflächen .....	23
Tab. 10: Standorttypische Humusgehalte ( $C_{org}$ , $N_t$ ) für konventionelle und ökologische Bewirtschaftung .....	32
Tab. 11: Standorttypische Humusqualitäten ( $C_{org} / N_t$ ) .....	33



# Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern

Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Peter Capriel

## **Zusammenfassung**

In 2001 hat das Institut für Agrarökologie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Zusammenarbeit mit den Sachgebieten Agrarökologie und Boden an den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten damit begonnen, eine Humusdatenbank für Bayern zu erstellen. Zur Zeit enthält sie Daten (Humuskennwerte, Textur, Bewirtschaftung, Klima) von 327 konventionell und 62 ökologisch bewirtschafteten Ackerschlägen, die für Bayern repräsentativ sind. Basierend auf diesen Daten wurden standorttypische Spannweiten für Humusgehalte (organischer Kohlenstoff, Gesamtstickstoff) und Humusqualität (Verhältnis organischer Kohlenstoff : Gesamtstickstoff) von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von der Bodenart bestimmt. Damit steht für Landwirte und Berater ein Instrument zur Verfügung, mit dem man die Bewertung von Humuskennwerten vornehmen und schließlich die Humusversorgung von Ackerböden optimieren kann. Das bedeutet zudem, dass die praktische Umsetzung des §17 des Bundes-Bodenschutzgesetzes in Bayern hinsichtlich Humus jetzt möglich ist.

## **Summary**

In 2001 the Institute for Agricultural Ecology, Organic Farming and Soil Protection at the Bavarian State Research Center for Agriculture in cooperation with the Sachgebieten Agricultural Ecology and Soil at the Offices for Agriculture and Forestry has started developing a humus data base. Currently it contains data concerning humus, soil texture, agricultural management and climate of 327 conventional and 62 organic farms which are representative for Bavaria. These data have been used to determine site-typical ranges of humus content (organic carbon, total nitrogen) and humus quality (ratio organic carbon : total nitrogen) of agricultural fields in Bavaria in relation to their clay and silt content. Therewith farmers and advisers can now evaluate humus data and optimize the humus content and humus quality of agricultural fields. Moreover, the §17 of the Bundes-Bodenschutzgesetz regarding humus can now be put into practice in Bavaria.

## 1. Einleitung

Die Bedeutung des Humus (Organische Bodensubstanz) liegt in der komplexen Beeinflussung nahezu aller Bodeneigenschaften und Bodenfunktionen (Abb. 1 ).

Der Humus hat u. a. folgende Funktionen:

Speichern von Nährstoffen: Der Humus stellt eine langsam fließende Nährstoffquelle für die Pflanzen dar. Durch mikrobiellen Abbau der Humusbestandteile werden organisch gebundene Elemente (Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Phosphor, Schwefel) in pflanzenaufnehmbare Verbindungen umgewandelt. Der Humus ist auch die Nahrungsquelle für Bodenmikroorganismen und Bodentiere. Zahlreiche experimentelle Ergebnisse belegen, dass zwischen dem Humusgehalt eines Bodens und der Menge an mikrobieller Biomasse eine enge Beziehung besteht.

Beeinflussen der Bodenstruktur: Der Humus wirkt gefügeschaffend und gefügestabilisierend und beeinflusst damit wesentlich den Luft- und Wasserhaushalt. Dadurch werden die Wasser- und Nährstoffzufuhr zur Pflanzenwurzel, die Wurzelentwicklung, die Durchlüftung und somit die mikrobielle Aktivität, die Wasserspeicherfähigkeit, die Wasserversickerung, die Wasserstabilität der Bodenaggregate und die Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens beeinflusst. Gefährdungen durch Bodenschadverdichtung und Erosion können durch optimale Humusgehalte vermindert werden.

Filtern und Puffern: Der Humus kann die für die Pflanzenernährung wichtigen Kationen (Magnesium, Calcium, Kalium etc.) austauschbar binden und so vor Auswaschung schützen, ein Vorgang, der insbesondere bei sandigen Böden von Bedeutung ist. Die Proteine, ein bedeutsamer Bestandteil des Humus, wirken als Puffer und verhindern größere Schwankungen des pH-Wertes, eine wichtige Voraussetzung für die biochemischen Prozesse im Boden. Schließlich vermindert der Humus durch eine Vielzahl von Adsorptionsmechanismen die Auswaschung und Abbaurate von Pflanzenschutzmitteln und Umweltchemikalien und schützt damit die Umwelt.

Aufgrund dieser vielfältigen Wirkungen stellt eine geordnete, standortangepasste Humuswirtschaft in landwirtschaftlichen Betrieben eine wesentliche Grundlage zur nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit und Ertragssicherung dar.

Der Humusgehalt und die Humusqualität von Ackerböden hängen von Standortfaktoren (Klima, Korngrößenverteilung, Grundwasser, chemische Zusammensetzung und Struktur des anorganischen Bodenanteils, der in Abb. 1 als anorganische Matrix bezeichnet wird) und von der Bodenbewirtschaftung (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung) ab (Abb. 1). Ein bestimmter Boden kann also nur eine bestimmte, für den Standort typische Humusmenge speichern.

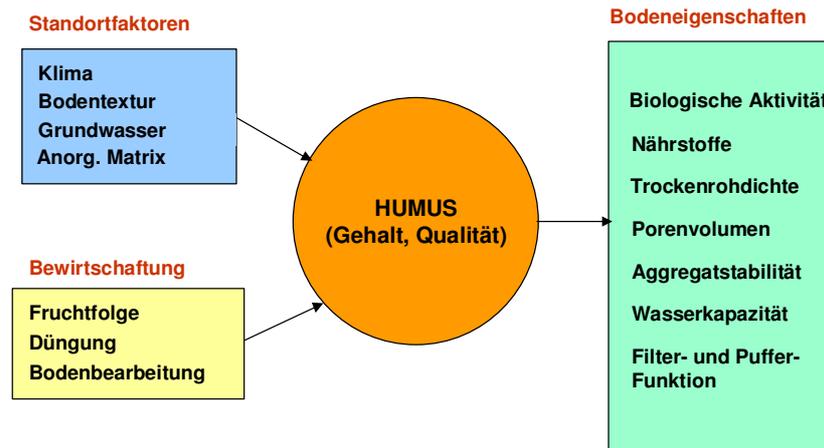


Abb. 1: Beziehung Humus, Standortfaktoren, Bewirtschaftung, Bodeneigenschaften

Der Verlust an Humus wird neben Erosion und Kontamination als derzeit besonders dringlich zu behandelnde Ursache für die Verschlechterung von Böden betrachtet (Mitteilung EU Kommission, "Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie", 16.04.2002).

Der §17 des BBodSchG (12.07.1999) fordert die Erhaltung der standorttypischen Humusgehalte. Die praktische Umsetzung war aber bisher wegen fehlender Referenzwerte (Humusgehalte, Kennwerte für die Humus-Qualität) nicht möglich, da in der Vergangenheit die Bestimmung der Humuskennwerte nicht zur Standardbodenuntersuchung gehörte.

Zur Umsetzung des §17 des BBodSchG hat im Jahr 2001 das Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (IAB) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Zusammenarbeit mit den Sachgebieten Agrarökologie und Boden bei den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten (ÄLF) mit dem Aufbau einer Humusdatenbank begonnen. Zur Zeit enthält sie Daten von 327 konventionellen und 62 ökologischen Praxisbetrieben, die für Bayern repräsentativ sind. Darunter sind auch 100 Dauerbodenbeobachtungsflächen (BDF) mit Ackernutzung des IAB.

## 2. Ziel

Das Ziel dieses Projektes ist es, standorttypische Spannweiten für Humusgehalt und Humusqualität von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von Bodenart und Klima zu bestimmen. Zudem soll auch der Einfluss der Viehhaltung auf die Humuskennwerte erfasst werden.

Ferner soll geklärt werden, ob für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen gesonderte Spannweiten für die Humuskennwerte erforderlich sind.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Auswahl der konventionellen und ökologischen Betriebe

Die konventionell und ökologisch bewirtschafteten Ackerschläge wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- langjährige Bewirtschaftung nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis, keine „Extreme“ hinsichtlich Fruchtfolge, organische Düngung, Viehbesatz etc. (soweit rückwirkend festzustellen war)
- langjährige (> 10 Jahre) ökologische Bewirtschaftung
- viehhaltende und viehlose Betriebe
- keine Erosionsflächen
- Grundbodenbearbeitung mit Pflug
- breites Spektrum an Bodenarten

Die Auswahl der Betriebe wurde von den Sachgebieten Agrarökologie und Boden bei den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten getroffen.

#### 3.2 Bodenprobenahme

Die Probenahme erfolgte im Frühjahr (Februar – April) vor der Ausbringung der Gülle und des mineralischen Stickstoff-Düngers oder frühestens zwei Wochen danach. Details sind dem folgenden Schema zu entnehmen (Abb. 2).

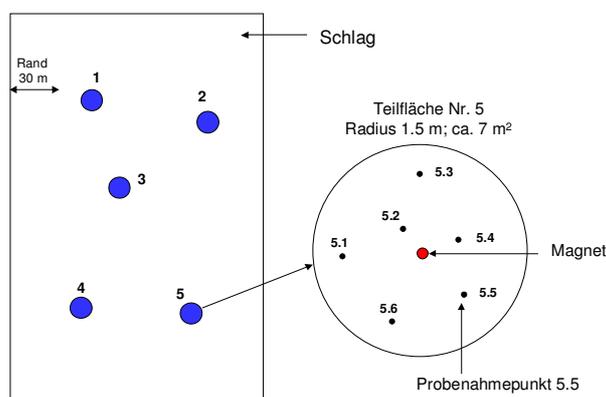


Abb. 2: Bodenprobenahme für die Humusuntersuchung

Pro Ackerfläche wurden fünf kleine kreisförmige, gleichmäßig auf dem Schlag verteilte Teilflächen (ca. 7 m<sup>2</sup>) beprobt. Um diese Teilflächen auch nach Jahren leicht wiederzufinden, wurden ihre GPS - Koordinaten gemessen. Um die Genauigkeit der Wiederfindung zu erhöhen, wurde zusätzlich in der Mitte von jeder Teilfläche ein Magnet in 50 cm Tiefe vergraben, dessen Position mit Hilfe eines Magnetsuchgerätes jederzeit exakt festgestellt werden kann. Aus jeder Teilfläche wurden mit dem N<sub>min</sub>-Bohrer (D = 35 mm) an sechs

zufällig verteilten Punkten jeweils ca. 200 g Boden (1 Einstich) aus einer Tiefe von 0 - 15 cm entnommen. Pro Teilfläche wurden also sechs Einzelproben gezogen.

Von jeder Acker - BDF (ca. 30 x 30 m) wurden jeweils 4 repräsentative Mischproben (Tiefe 0 – 15 cm; je ca. 50 Einstiche) gezogen (Capriel, 2005).

Die Probenahme wurde von den Sachgebieten Agrarökologie und Boden bei den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten durchgeführt.

### 3.3 Humusparameter, Methoden

Folgende Humus-Kennwerte wurden bestimmt: organischer Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ ), Gesamtstickstoff ( $N_t$ ),  $C_{\text{org}} / N_t$  Verhältnis.  $C_{\text{org}}$  und  $N_t$  charakterisieren den Humusgehalt, das  $C_{\text{org}} / N_t$  Verhältnis die Humusqualität eines Bodens. Die Bestimmung von Gesamtkohlenstoff ( $C_t$ ) und  $N_t$  erfolgte simultan und quantitativ mittels Elementaranalyse (vario EL; DIN ISO 10694). Bei carbonathaltigen Böden wurde der Carbonat-Kohlenstoff ( $C_{\text{carbonat}}$ ) nach Scheibler bestimmt (VDLUFA-Methodenbuch, Band I, 1991). Der organische Kohlenstoff wurde nach der Gleichung  $C_{\text{org}} = C_t - C_{\text{carbonat}}$  berechnet. Der Stickstoff in der Ackerkrume liegt überwiegend in organischer Form vor. Der Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) ist also ein guter Indikator für den organischen Stickstoff. Der Anteil des anorganischen Stickstoffs – im wesentlichen Nitrat und Ammonium – in der Ackerkrume ist im allgemeinen kleiner als 5 %. Diese Humusparameter ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ,  $C_{\text{org}} / N_t$ ) sind weltweit anerkannte Standardparameter.

Die Bodentextur (Prozentanteil von Ton, Schluff und Sand) wurde nach DIN ISO 11277 bestimmt.

## 4. Ergebnisse, Diskussion

Von jeder Teilfläche wurden die sechs Einzelproben auf  $C_{\text{org}}$  und  $N_t$  untersucht. Somit liegen für jede Teilfläche Mittelwerte von  $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$  und  $C_{\text{org}} / N_t$  mit den entsprechenden Standardabweichungen und Variationskoeffizienten vor. Diese Mittelwerte wurden für die Bestimmung der Spannweiten der Humusparameter verwendet. Die Bodentextur jeder Teilfläche wurde aus einer Mischprobe bestimmt, die aus den jeweils sechs Einzelproben hergestellt wurde. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine Bewertung der Einheitlichkeit der untersuchten Acker- und der dazugehörigen Teilflächen hinsichtlich der Humusparameter ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ,  $C_{\text{org}} / N_t$ ). Der Vergleich der Variationskoeffizienten zeigt, dass die Teilflächen wesentlich einheitlicher sind, verglichen mit der entsprechenden Ackerfläche. Für die Praxis bedeutet dies, dass die Beprobung kleiner Teilflächen ( $< 10 \text{ m}^2$ ), deren Position z. B. mittels GPS festgelegt wird, die Methode der Wahl für die Erfassung und Bewertung der langfristigen Entwicklung der Humusgehalte und der Humusqualität ist.

Bei den BDF Parzellen wurden aus den jeweils 4 Wiederholungen Mittelwerte für  $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$  und  $C_{\text{org}} / N_t$  errechnet.

In Abb. 3 ist die Verteilung der Humusgehalte ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) der untersuchten konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen ( $n = 1542$ ) dargestellt. Jede BDF-Parzelle

wurde als eine Teilfläche betrachtet. Es ist auffallend, dass 98 % der Teilflächen  $C_{org}$  - Gehalte haben, die oberhalb der Cross Compliance Grenzwerte liegen ( $C_{org} = 0,6\%$  bei einem Tonanteil  $< 13\%$  bzw.  $C_{org} = 0,9\%$  bei einem Tonanteil  $> 13\%$ ). Allerdings bei etwa 10 % der Teilflächen liegen die  $C_{org}$  - Gehalte in einem labilen Bereich zwischen 0,91 und 1,1 %. Etwa ein Drittel der Teilflächen weist relativ niedrige  $C_{org}$  - Gehalte (1,1 – 1,5 %) auf.

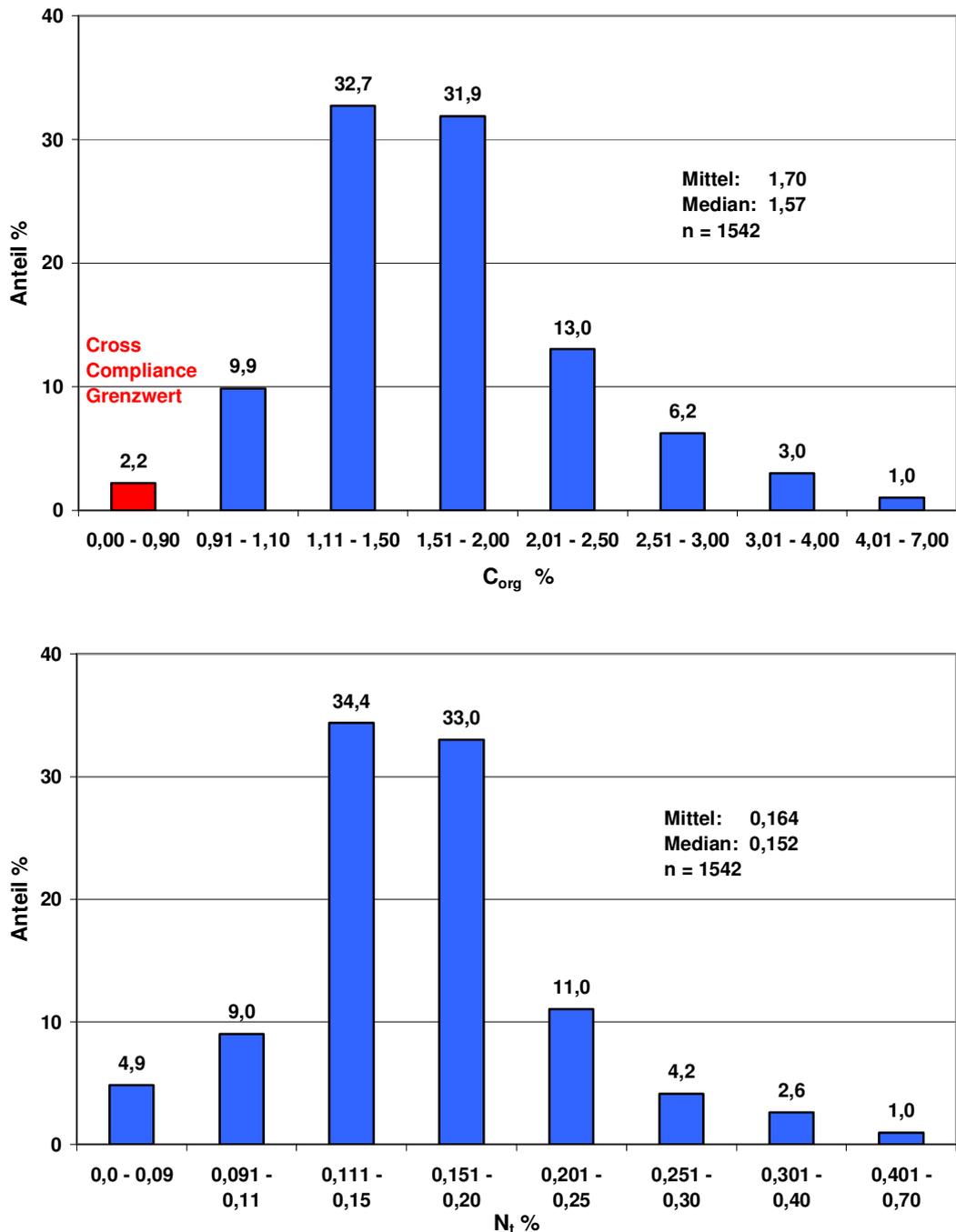


Abb.3: Verteilung der Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ )

Das  $C_{org} / N_t$  - Verhältnis der untersuchten konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen ( $n = 1542$ ) liegt in einem weiten Bereich von 8 bis 17 (Abb. 4), was auf sehr unterschiedliche chemische Zusammensetzungen des Humus (Humusqualität) hindeutet.

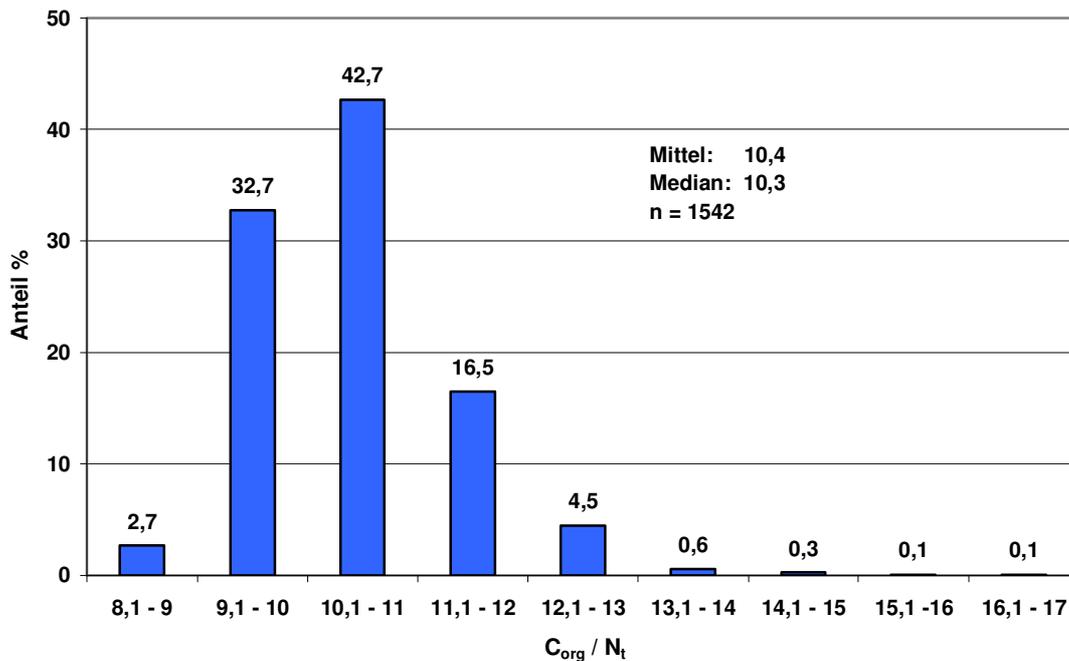


Abb. 4: Verteilung der Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ )

In Anbetracht der Anzahl (389) und der gleichmäßigen Verteilung der untersuchten Standorte innerhalb Bayerns (s. 8. Anhang) kann die Verteilung der Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) und der Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) als repräsentativ für ackerbaulich genutzte Böden in Bayern betrachtet werden (Abb. 3 und 4).

Etwa ein Drittel (468) der 1542 Teilflächen ist carbonathaltig. Der Carbonat-Kohlenstoff variiert stark zwischen 0,01 und 8,3 % (Abb. 5). Erwähnenswert ist auch die Abhängigkeit von der Bodenart. Der Anteil der carbonathaltigen Böden in den jeweiligen Bodenartgruppen nimmt mit steigendem Tongehalt zu. Die Gruppe der lehmigen Tone (Tonanteil 45 – 65 %) weist den höchsten Anteil an carbonathaltigen Böden auf (Abb. 6).

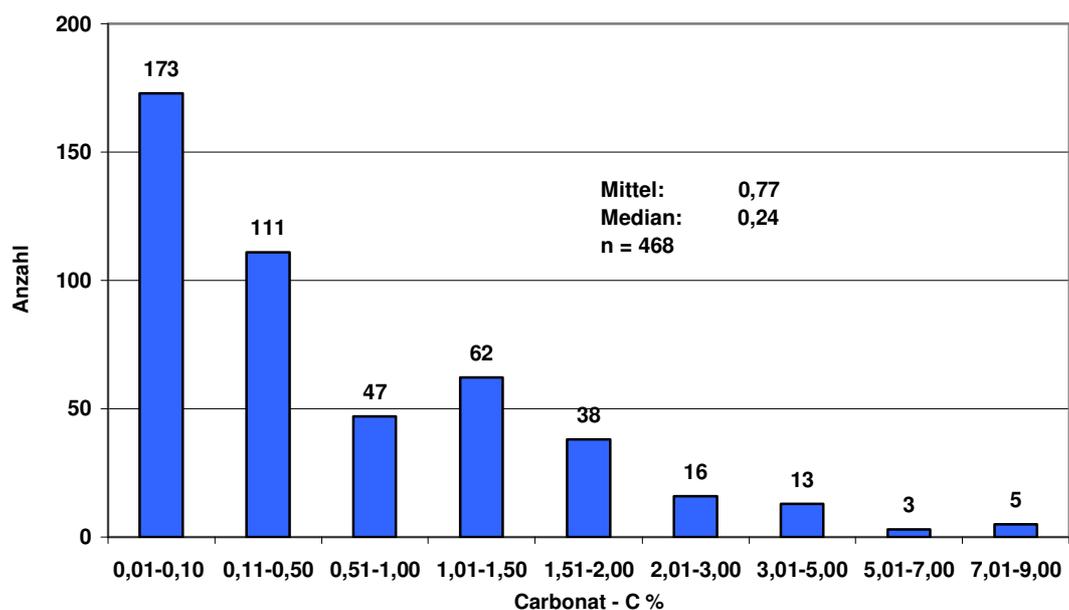


Abb. 5: Verteilung der Carbonat-Kohlenstoffgehalte

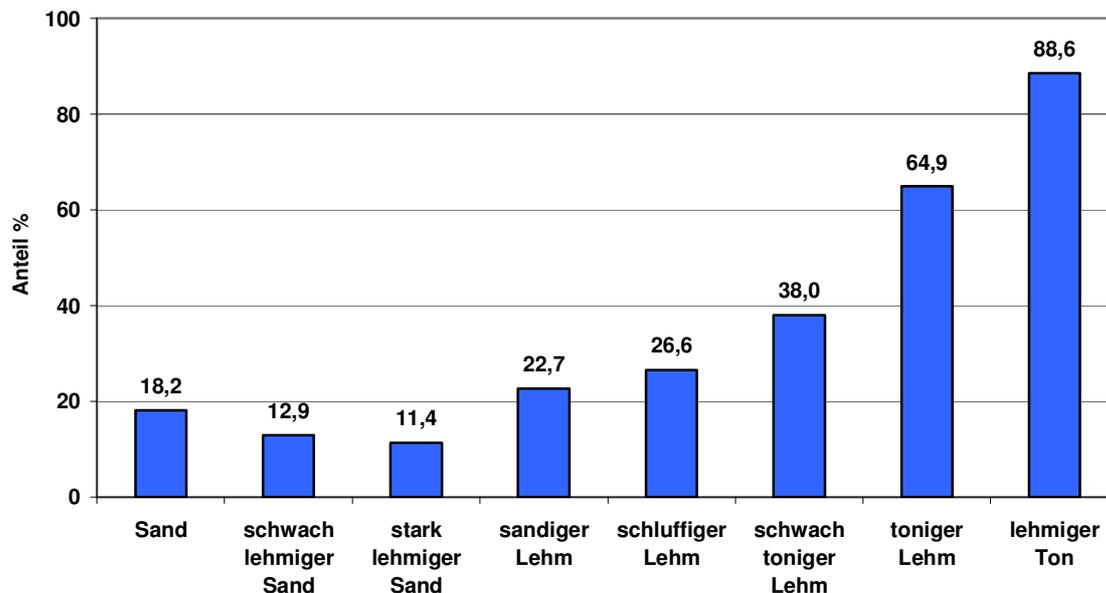


Abb. 6: Anteil der carbonathaltigen Böden in den Bodenartgruppen

## 4.1 Einfluss der Standortfaktoren

Von den Standortfaktoren, die den Humusgehalt und die Humusqualität beeinflussen (Abb. 1), ist die anorganische Matrix, d. h. die chemische Zusammensetzung und die chemische Struktur des anorganischen Bodenanteils, am schwierigsten zu erfassen. Der Grund dafür liegt in den begrenzten analytischen Möglichkeiten. Dieser Standortfaktor wird deshalb in dieser Arbeit nicht mitberücksichtigt. Ein weiterer Standortfaktor ist das Grundwasser. Da es sich bei den ausgewählten Ackerschlägen um grundwasserferne Standorte handelt, kann dieser Faktor vernachlässigt werden.

In dieser Arbeit wird deshalb nur der Einfluss von Bodenart und Klima auf Humus untersucht.

### 4.1.1 Einfluss der Bodenart

Alle Teilflächen (n = 1542) wurden in acht Bodenartgruppen eingeteilt. Die Bodenarteinstufung erfolgte im wesentlichen nach VDLUFA (Tab. 1).

Tab. 1: Bodenarteinteilung nach Ton- und Schluffgehalten

Bodenartgruppe	Ton %	Schluff %	
Sand	< 5	< 50	leichte Böden
schwach lehmiger Sand	> 5 - 12	< 50	
stark lehmiger Sand	> 12 - 17	< 50	
sandiger Lehm	> 17 - 25	< 50	mittlere Böden
schluffiger Lehm	< 25	> 50	
schwach toniger Lehm	> 25 - 35	nicht	schwere Böden
toniger Lehm	> 35 - 45	maßgeblich	
lehmiger Ton	> 45 - 65		

Nach dem Bodenartenschlüssel Bayerns wird die VDLUFA Bodenartgruppe „sandig/schluffiger Lehm“ in 2 Gruppen geteilt, nämlich „sandiger Lehm“ und „schluffiger Lehm“. Außerdem werden die Bodenartgruppen „schwach toniger Lehm“ und „toniger Lehm“ unter der Bezeichnung „toniger Lehm“ (Ton % > 25 – 45) zusammengefasst.

Die Verteilung der Bodenarten mit überwiegend mittleren (56 % Anteil) und schweren (33 % Anteil) Böden kann als repräsentativ für ackerbaulich genutzte Böden in Bayern betrachtet werden (Abb. 7; s. auch S. 15). Die Bodenartgruppe Sand ist mit lediglich 11 Teilflächen schwach vertreten.

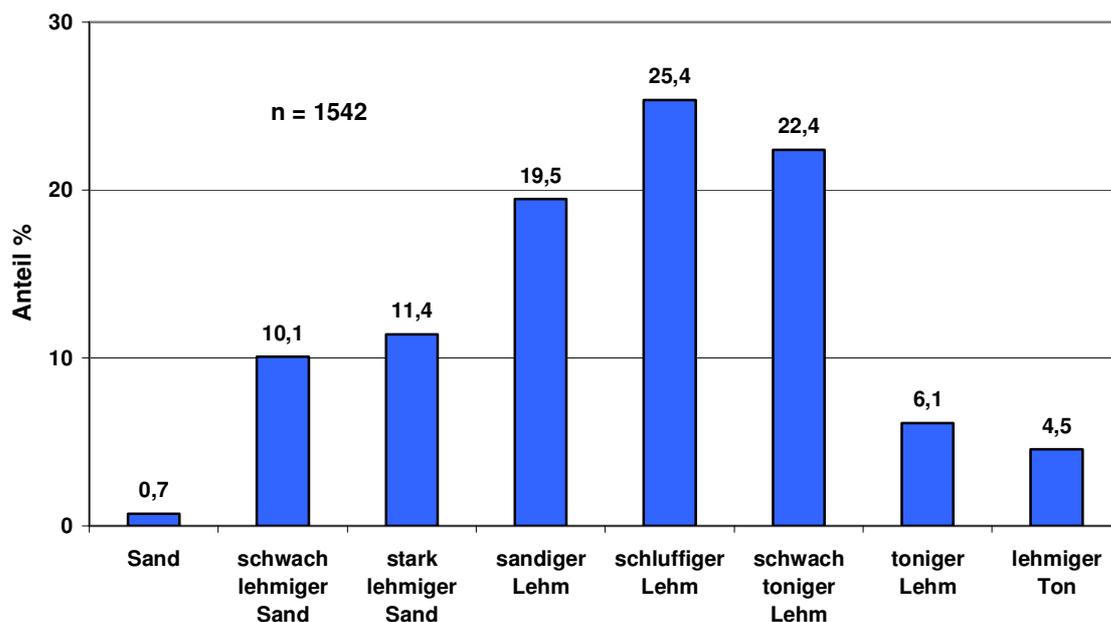


Abb. 7: Verteilung der Bodenarten der untersuchten Ackerböden

In jeder Bodenartgruppe wurde die Verteilung der  $C_{\text{org}}$  -,  $N_{\text{t}}$  - und  $C_{\text{org}} / N_{\text{t}}$  - Werte statistisch analysiert. Um nicht repräsentative sehr niedrige und sehr hohe Werte zu eliminieren, wurde für jede Bodenartgruppe das 75 % Quantil berechnet. Das bedeutet, dass jeweils 12,5 % der extremen Werte an den Enden der Verteilung unberücksichtigt bleiben. Das 75 % Quantil wird also als Spannweite für den entsprechenden Parameter betrachtet.

Die statistischen Kennwerte für  $C_{\text{org}}$  der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen in Abhängigkeit von der Bodenart sind in Tab. 2 und 3 zusammengefasst. Die Variationskoeffizienten (CV) zeigen eine breite Streuung der Werte innerhalb der jeweiligen Bodenartgruppen. Die  $C_{\text{org}}$  - Werte innerhalb jeder Bodenartgruppe sind nicht normal verteilt.

Tab. 2: Statistische Kennwerte  $C_{org}$  der konventionellen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	11	1,17	21,7	0,85	0,89	1,08	1,38	1,69
schwach lehmiger Sand	117	1,26	34,6	0,65	0,87	1,13	1,96	2,85
stark lehmiger Sand	128	1,67	34,8	0,73	1,00	1,57	2,36	3,67
sandiger Lehm	218	1,76	30,1	0,92	1,18	1,68	2,48	3,92
schluffiger Lehm	326	1,46	30,1	0,76	1,07	1,41	1,82	6,24
schwach toniger Lehm	289	1,94	45,3	0,86	1,21	1,64	2,91	6,83
toniger Lehm	74	2,00	29,9	1,22	1,52	1,85	2,59	4,44
lehmiger Ton	69	2,09	23,5	1,46	1,59	1,96	2,71	4,03
<b>Summe</b>	<b>1232</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Tab. 3: Statistische Kennwerte  $C_{org}$  der ökologischen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	0	-	-	-	-	-	-	-
schwach lehmiger Sand	38	1,31	19,0	0,87	1,09	1,27	1,58	2,14
stark lehmiger Sand	48	1,73	42,0	0,82	1,10	1,52	2,59	3,84
sandiger Lehm	82	1,88	34,1	0,93	1,28	1,88	2,34	4,61
schluffiger Lehm	65	1,47	20,0	1,04	1,19	1,38	1,91	2,18
schwach toniger Lehm	56	2,05	41,9	1,02	1,28	1,73	3,33	4,50
toniger Lehm	20	1,93	14,5	1,29	1,67	1,92	2,24	2,48
lehmiger Ton	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe</b>	<b>310</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Die  $C_{org}$  - Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen sind in Abb. 8 dargestellt. Bei 4 Bodenartgruppen ist eine gewisse Tendenz zu höheren  $C_{org}$  - Gehalten bei den ökologisch bewirtschafteten Teilflächen erkennbar. Die jeweiligen  $C_{org}$  - Werte unterscheiden sich jedoch nicht signifikant von denen der konventionell bewirtschafteten (U - Test,  $p = 0,05$ ).

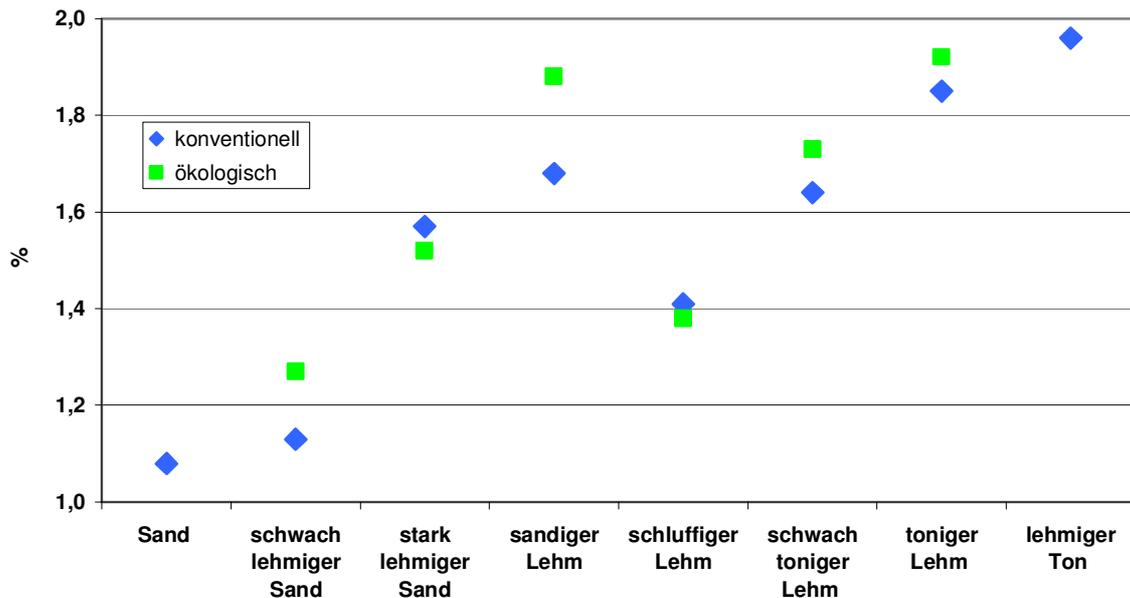


Abb. 8: C<sub>org</sub> – Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen

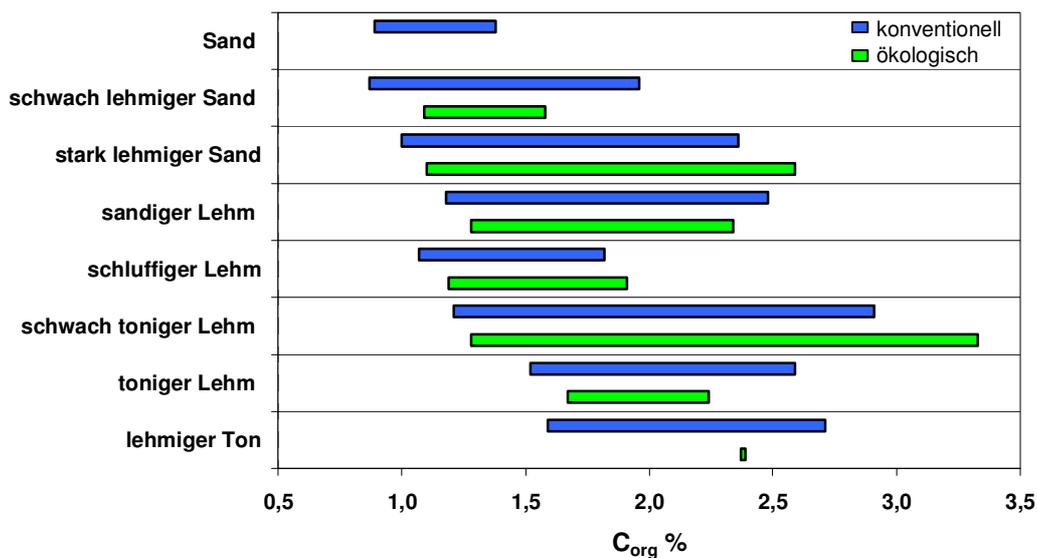


Abb. 9: Spannweiten der C<sub>org</sub> - Gehalte

Die 75 % Quantile (Spannweiten) der C<sub>org</sub> – Werte der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen sind als Balken in Abb. 9 dargestellt. Die Balkenlänge entspricht also dem 75 % Quantil. Der Einfluss der Bodenart ist deutlich erkennbar. Mit zunehmendem Tonanteil verschieben sich die Balken von links nach rechts zu höheren C<sub>org</sub> – Werten. Der Anstieg der Humusgehalte mit zunehmendem Tonanteil hat mehrere Ursachen. Durch Adsorption an die Oberfläche der Tonminerale wird die organische Bodensubstanz (Humus) dem direkten Zugriff von Bodenmikroorganismen entzogen und damit stabilisiert (Oades, 1995). Die schlechtere Durchlüftung mit zunehmendem Tonanteil

verlangsamt den mikrobiellen Abbau der organischen Bodensubstanz und hat damit auch eine stabilisierende Wirkung.

Es ist auffallend, dass die  $C_{org}$  - Spannweiten für konventionelle und ökologische Bewirtschaftung innerhalb jeder Bodenartgruppe ziemlich ähnlich sind. Es ist deshalb nicht notwendig getrennte Spannweiten für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen zu definieren.

Die statistischen Kennwerte für  $C_{org}$  (konventionell + ökologisch) in Abhängigkeit von der Bodenart sind in Tab. 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Statistische Kennwerte  $C_{org}$  (konventionell + ökologisch)

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	11	1,16	21,7	0,85	0,89	1,08	1,38	1,69
schwach lehmiger Sand	155	1,28	31,3	0,65	0,89	1,19	1,83	2,85
stark lehmiger Sand	176	1,69	36,9	0,73	1,06	1,57	2,36	3,84
sandiger Lehm	300	1,80	31,4	0,92	1,19	1,70	2,46	4,61
schluffiger Lehm	391	1,46	28,7	0,76	1,08	1,41	1,84	6,24
schwach toniger Lehm	345	1,96	44,7	0,86	1,23	1,64	2,92	6,83
toniger Lehm	94	1,99	27,5	1,22	1,53	1,87	2,53	4,44
lehmiger Ton	70	2,09	23,3	1,46	1,59	1,97	2,71	4,03
<b>Summe</b>	<b>1542</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Tab. 5: Statistische Kennwerte  $N_t$  der konventionellen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	11	0,095	26,9	0,068	0,071	0,088	0,124	0,154
schwach lehmiger Sand	117	0,111	33,5	0,060	0,076	0,100	0,164	0,240
stark lehmiger Sand	128	0,151	31,1	0,075	0,095	0,145	0,203	0,305
sandiger Lehm	218	0,167	28,5	0,080	0,117	0,161	0,229	0,377
schluffiger Lehm	326	0,146	29,2	0,078	0,110	0,141	0,182	0,636
schwach toniger Lehm	289	0,193	44,3	0,098	0,128	0,165	0,291	0,692
toniger Lehm	74	0,203	30,5	0,135	0,156	0,185	0,274	0,485
lehmiger Ton	69	0,209	23,6	0,142	0,164	0,197	0,266	0,423
<b>Summe</b>	<b>1232</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Die statistischen Kennwerte für  $N_t$  der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen in Abhängigkeit von der Bodenart sind in Tab. 5 und 6 zusammengefasst. Ähnlich wie bei  $C_{org}$  deuten die Variationskoeffizienten (CV) auf eine ziemlich breite Streuung der Werte hin. Die  $N_t$  - Werte innerhalb jeder Bodenartgruppe sind nicht normal verteilt.

Tab. 6: Statistische Kennwerte  $N_t$  der ökologischen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	0	-	-	-	-	-	-	-
schwach lehmiger Sand	38	0,116	18,7	0,077	0,096	0,114	0,138	0,193
stark lehmiger Sand	48	0,153	37,9	0,073	0,102	0,134	0,235	0,325
sandiger Lehm	82	0,173	30,9	0,089	0,115	0,165	0,221	0,387
schluffiger Lehm	65	0,143	20,0	0,094	0,119	0,135	0,184	0,207
schwach toniger Lehm	56	0,203	46,2	0,090	0,126	0,162	0,344	0,476
toniger Lehm	20	0,188	13,2	0,126	0,160	0,191	0,208	0,241
lehmiger Ton	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe</b>	<b>310</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Die  $N_t$  - Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen sind in jeder Bodenartgruppe relativ ähnlich. Im Gegensatz zum  $C_{org}$  ist hier keine Tendenz erkennbar (Abb. 10).

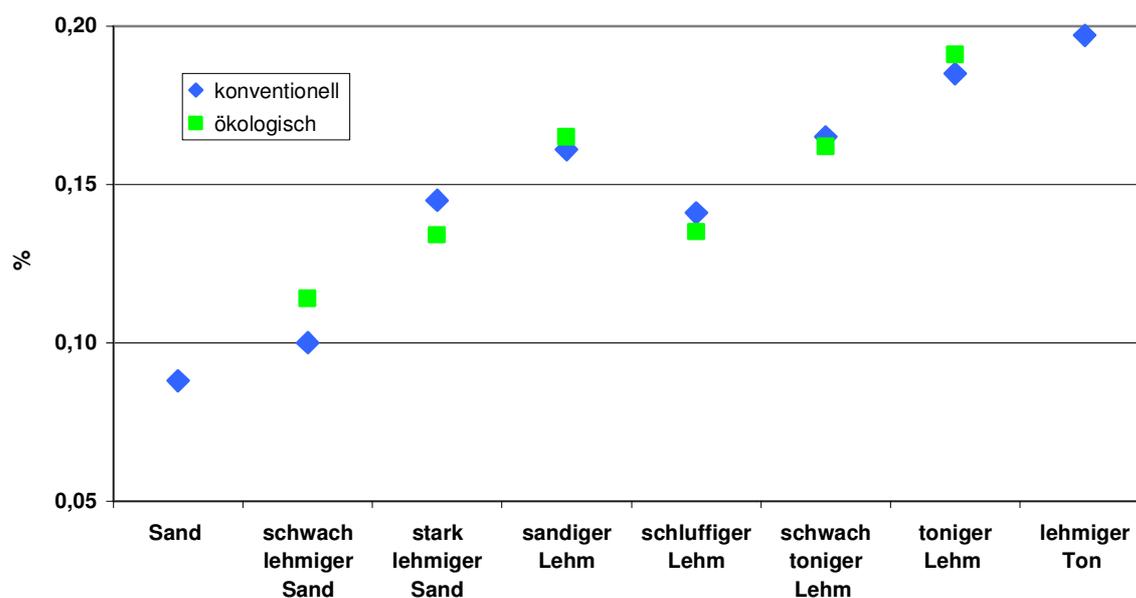


Abb. 10:  $N_t$  – Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen

Die 75 % Quantile (Spannweiten) der  $N_t$  – Werte der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen sind als Balken in Abb. 11 dargestellt. Ähnlich wie bei  $C_{org}$  ist auch bei  $N_t$  der Einfluss der Bodenart deutlich erkennbar. Mit zunehmendem Tonanteil verschieben sich die Balken von links nach rechts zu höheren  $N_t$  – Werten. Die Ursachen für diesen Effekt sind dieselben wie oben. Innerhalb der Bodenartgruppen sind keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Spannweiten (Balkenlängen) der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen vorhanden. Es ist folglich auch bei  $N_t$  nicht erforderlich, getrennte Spannweiten für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen festzulegen.

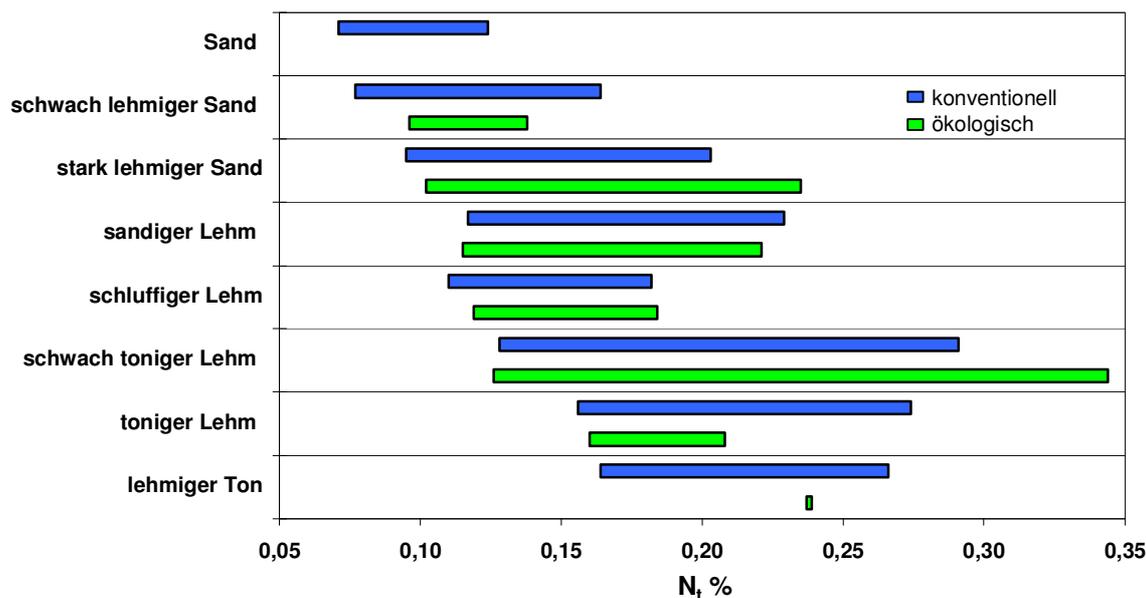


Abb. 11: Spannweiten der  $N_t$  - Gehalte

Die statistischen Kennwerte für  $N_t$  (konventionell + ökologisch) in Abhängigkeit von der Bodenart sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Statistische Kennwerte  $N_t$  (konventionell + ökologisch)

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	11	0,095	26,9	0,068	0,071	0,088	0,124	0,154
schwach lehmiger Sand	155	0,112	30,4	0,060	0,078	0,105	0,148	0,240
stark lehmiger Sand	176	0,151	33,0	0,073	0,096	0,143	0,205	0,325
sandiger Lehm	300	0,169	29,2	0,080	0,117	0,161	0,228	0,387
schluffiger Lehm	391	0,145	27,9	0,078	0,110	0,140	0,183	0,636
schwach toniger Lehm	345	0,194	44,6	0,090	0,128	0,165	0,296	0,692
toniger Lehm	94	0,200	28,2	0,126	0,156	0,187	0,241	0,485
lehmiger Ton	70	0,210	23,5	0,142	0,164	0,199	0,266	0,423
<b>Summe</b>	<b>1542</b>							

alle Werte in %  
CV = Variationskoeffizient

Die statistischen Kennwerte für das  $C_{org} / N_t$  – Verhältnis der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen in Abhängigkeit von der Bodenart sind in Tab. 8 und 9 zusammengefasst. Im Gegensatz zu  $C_{org}$  und  $N_t$  sind die Variationskoeffizienten (CV) wesentlich kleiner, was auf eine geringere Streuung der Werte hindeutet. Die  $C_{org} / N_t$  - Werte innerhalb jeder Bodenartgruppe sind nicht normal verteilt.

Tab. 8: Statistische Kennwerte  $C_{org} / N_t$  der konventionellen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	11	12,38	11,9	10,77	10,96	12,22	13,10	16,36
schwach lehmiger Sand	117	11,32	9,5	9,40	10,35	11,02	12,56	15,48
stark lehmiger Sand	128	10,99	8,1	9,43	9,91	10,99	12,14	12,90
sandiger Lehm	218	10,52	6,9	8,72	9,72	10,46	11,31	12,42
schluffiger Lehm	326	10,03	5,7	8,67	9,42	9,95	10,68	12,38
schwach toniger Lehm	289	10,01	6,5	8,23	9,26	9,98	10,85	12,83
toniger Lehm	74	9,87	6,7	8,31	9,03	9,94	10,70	11,23
lehmiger Ton	69	10,00	7,9	8,28	9,11	9,90	10,90	12,45
<b>Summe</b>	<b>1232</b>							

CV = Variationskoeffizient in %

Tab. 9: Statistische Kennwerte  $C_{org} / N_t$  der ökologischen Teilflächen

Bodenartgruppe	n	Arithm. Mittel	CV	Minimum	12,5 % Quantil	Median	87,5 % Quantil	Maximum
Sand	0	-	-	-	-	-	-	-
schwach lehmiger Sand	38	11,30	4,0	10,10	10,74	11,34	11,84	12,01
stark lehmiger Sand	48	11,23	7,7	9,08	10,14	11,23	12,38	12,72
sandiger Lehm	82	10,85	8,7	9,09	9,94	10,67	12,01	14,84
schluffiger Lehm	65	10,34	5,1	9,25	9,87	10,29	11,16	11,48
schwach toniger Lehm	56	10,26	6,3	9,08	9,57	10,18	10,99	12,69
toniger Lehm	20	10,27	4,8	9,32	9,79	10,32	10,86	11,12
lehmiger Ton	1	-	-	-	-	-	-	-
<b>Summe</b>	<b>310</b>							

CV = Variationskoeffizient in %

Die Mediane der  $C_{org} / N_t$  - Verhältnisse der konventionellen und ökologischen Teilflächen sind in Abb. 12 zusammengefasst. Erwähnenswert ist die klare Tendenz bei den ökologischen Teilflächen. In 4 Bodenartgruppen weisen die ökologisch bewirtschafteten Teilflächen signifikant höhere  $C_{org} / N_t$  - Werte auf (U - Test,  $p = 0,05$ ).

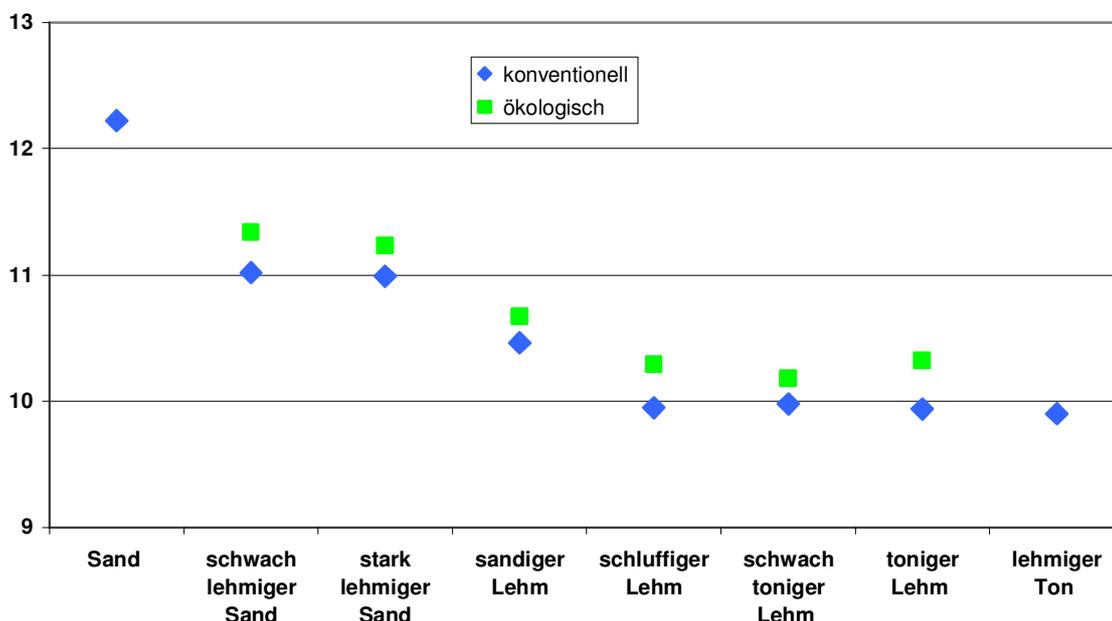


Abb. 12:  $C_{org} / N_t$  - Mediane der konventionellen und ökologischen Teilflächen

Die 75 % Quantile (Spannweiten) der  $C_{org} / N_t$  - Verhältnisse der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen sind als Balken in Abb. 13 dargestellt.

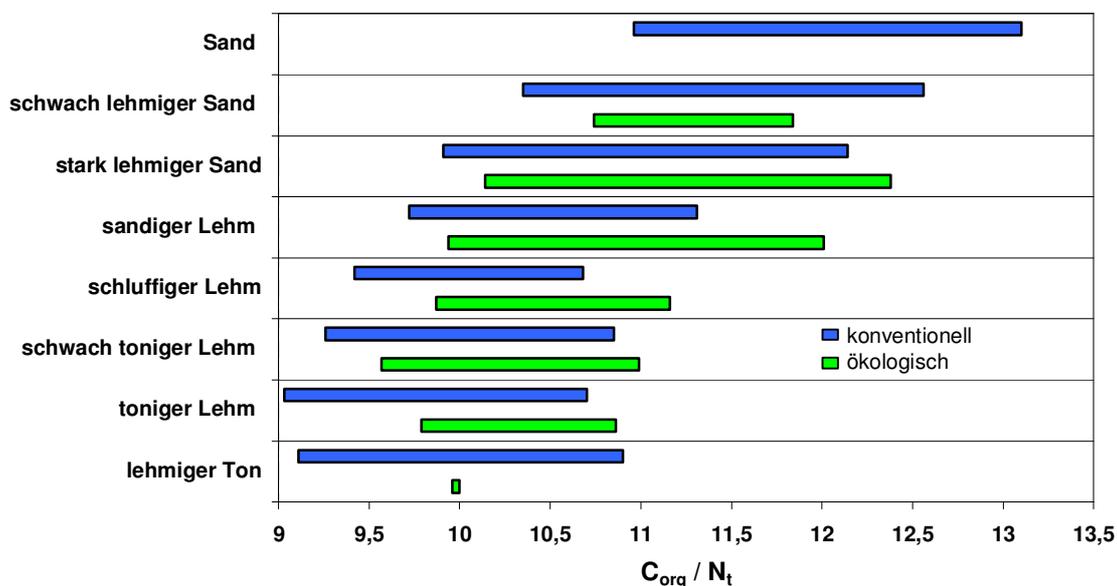


Abb. 13: Spannweiten der  $C_{org} / N_t$  Verhältnisse

Das  $C_{org} / N_t$  - Verhältnis, das als klassischer Indikator für die Humusqualität gilt, weist eine deutliche Abhängigkeit von der Bodenart auf (Abb. 13). Im Gegensatz zum

Humusgehalt ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) nimmt das  $C_{\text{org}} / N_t$  - Verhältnis aber mit zunehmendem Tonanteil ab. Demnach haben sandige Böden höhere  $C_{\text{org}} / N_t$  - Verhältnisse als tonige. Mit anderen Worten, der Humus sandiger Böden enthält weniger organische Stickstoff-Verbindungen wie z. B. Proteine. Bekanntlich werden Proteine, der wichtigste organische Stickstoffspeicher im Boden, durch Adsorption an die Oberfläche der Tonminerale geschützt. Mit abnehmendem Tonanteil nimmt die Schutzwirkung ab und die Proteine können mikrobiell leichter abgebaut werden (Oades, 1995).

Bemerkenswert ist auch die deutliche Tendenz bei den Spannweiten (Balken) der konventionell und ökologisch bewirtschafteten Teilflächen innerhalb der Bodenartgruppen. So weisen die ökologisch bewirtschafteten Teilflächen generell höhere  $C_{\text{org}} / N_t$  - Verhältnisse auf als die der konventionell bewirtschafteten. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Zum einen sind die unterschiedlichen Fruchtfolgen im ökologischen und konventionellen Landbau. Zum anderen dürften im ökologischen Landbau geringere Stickstoffmengen im Boden vorhanden sein als Folge der fehlenden mineralischen Stickstoffdüngung.

Für das  $C_{\text{org}} / N_t$  - Verhältnis sind deshalb getrennte Spannweiten für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen gerechtfertigt. Allerdings ist die Datenbasis für Ökobetriebe wegen der geringen Anzahl der ökologisch bewirtschafteten Teilflächen ( $n = 310$ ) in der Humusdatenbank relativ klein. Vor allem Sand und lehmiger Ton sind hier schwach vertreten.

#### 4.1.2 Einfluss des Klimas

Die langfristige Erfassung (1961 - 1990) der Wetterdaten in Bayern des Deutschen Wetterdienstes zeigt eine deutliche Beziehung zwischen Topographie (Höhe) und Niederschlagsmenge bzw. Temperatur (Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern).

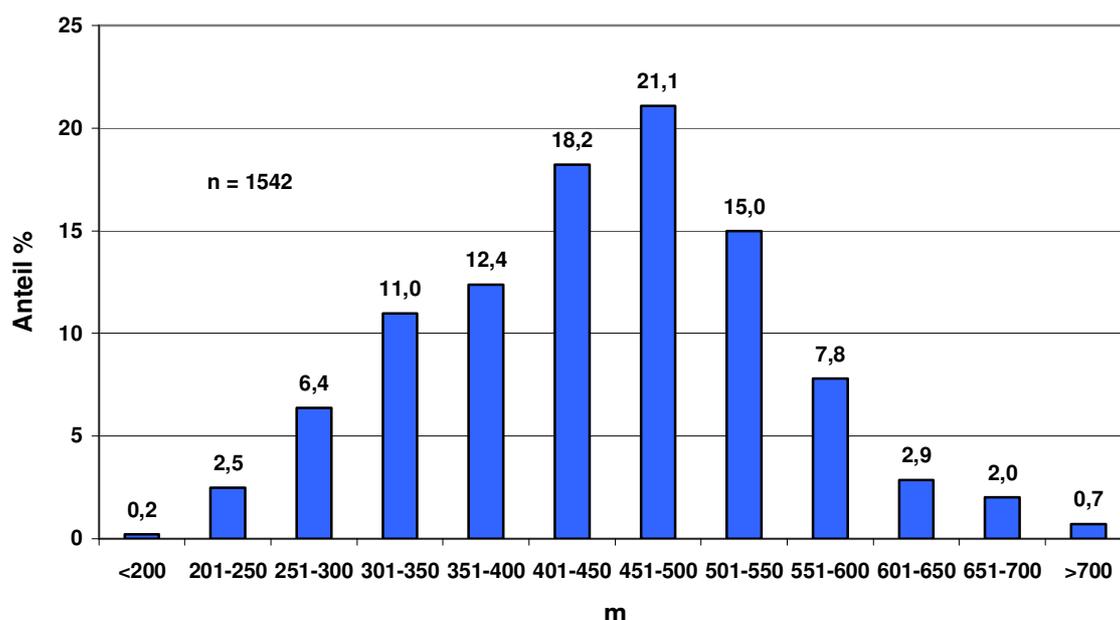


Abb. 14: Verteilung der Höhenlage der Teilflächen

Es ist also naheliegend, die Höhe als Maß für den Klimaeinfluss (Niederschlag und Temperatur) zu betrachten. Für jede Teilfläche liegen die GPS-Koordinaten einschließlich Höhe vor. Die Verteilung der Höhenlage der 1542 Teilflächen ist in Abb. 14 dargestellt. Etwa zwei Drittel der Teilflächen liegen in einer Höhe unterhalb 500 m und ein Drittel oberhalb 500 m. Diese Verteilung dürfte für Bayern repräsentativ sein (Topographiekarte, Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern). Die Ackerbauggebiete mit guten Erzeugungsbedingungen liegen überwiegend unterhalb 500 m.

In jeder Bodenartgruppe wurden die Teilflächen (konventionell + ökologisch) in zwei Gruppen (Höhe < 500 m und > 500 m) eingeteilt. Für jede Gruppe wurde das 75 % Quantil für die  $C_{org}$  -,  $N_t$  - und  $C_{org} / N_t$  - Werte berechnet. Die Ergebnisse sind in Abb. 15, 16, 17 dargestellt.

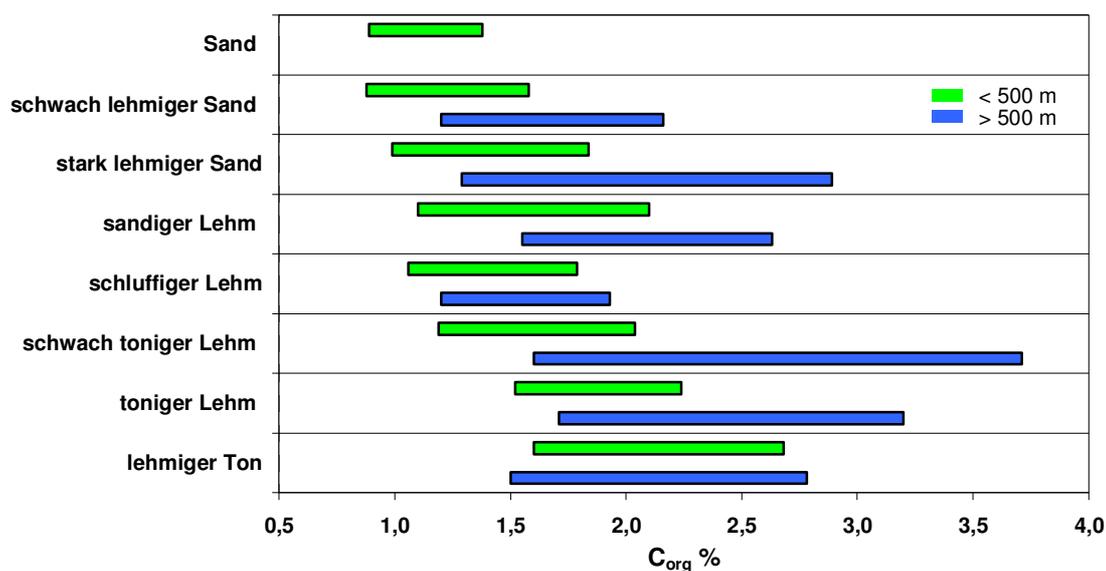


Abb. 15: Spannweiten der  $C_{org}$  - Gehalte in Abhängigkeit von Höhe

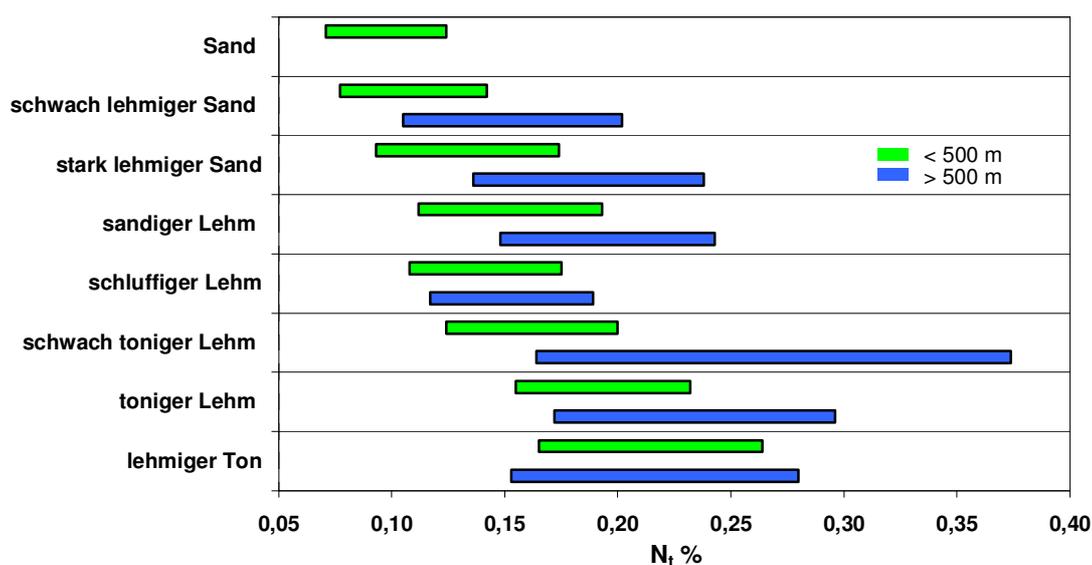


Abb. 16: Spannweiten der  $N_t$  - Gehalte in Abhängigkeit von Höhe

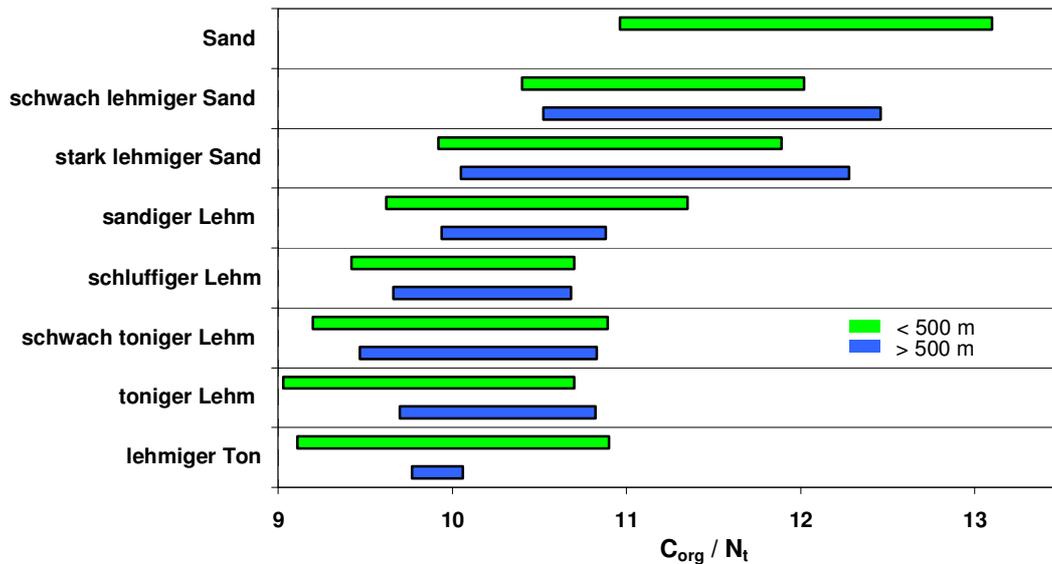


Abb. 17: Spannwerten der  $C_{org} / N_t$  Verhältnisse in Abhängigkeit von Höhe

Die Mediane der  $C_{org}$  -,  $N_t$  - und  $C_{org} / N_t$  - Werte sind in Abb. 18, 19 und 20 dargestellt.

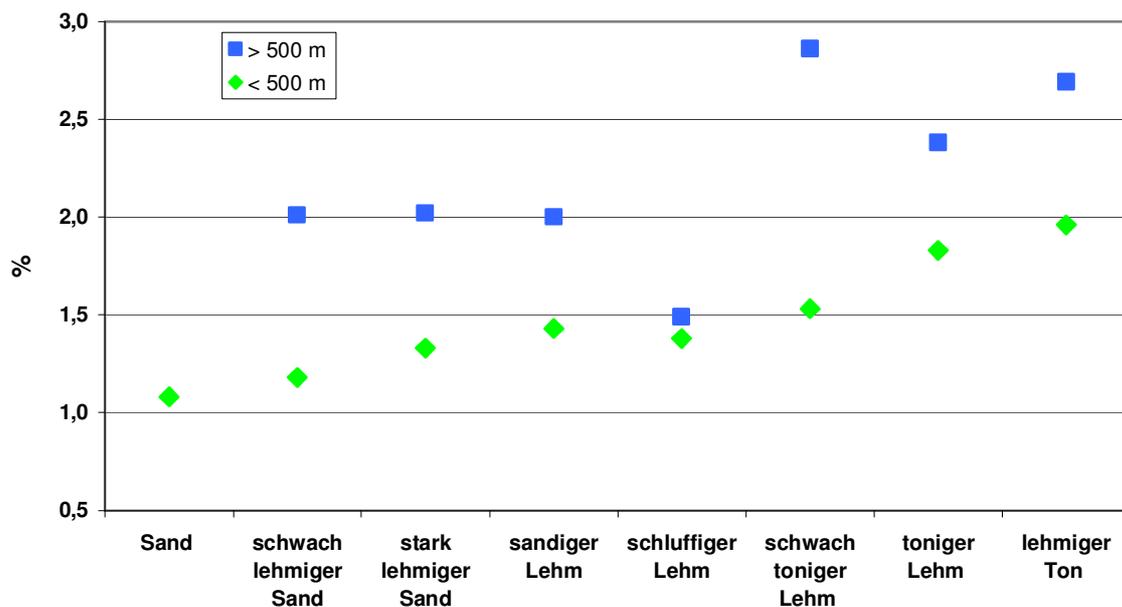


Abb. 18:  $C_{org}$  - Mediane in Abhängigkeit von Höhe

Die Ergebnisse belegen die Abhängigkeit des Humusgehalts ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) vom Klima. Mit steigender Höhe nimmt die Bodentemperatur ab. Die Folge ist ein langsamer mikrobieller Abbau der organischen Bodensubstanz und damit verbunden eine Humusanreicherung. Sowohl der  $C_{org}$  - als auch der  $N_t$  - Gehalt nehmen mit steigender Höhe zu (Abb. 18, 19). In 6 Bodenartgruppen sind die Unterschiede signifikant (keine Normalverteilung, U - Test,  $p = 0,05$ ). Auch die Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) wird von der Höhe beeinflusst. Der untere Wert der grünen Balken ist in allen Bodenartgruppen niedriger als der der blauen Balken (Abb. 17). In 3 Bodenartgruppen sind die  $C_{org} / N_t$  - Mediane bei <500 m signifi-

kant niedriger als die bei >500 m (Abb. 20; keine Normalverteilung, U – Test,  $p = 0,05$ ). Die mikrobielle Aktivität ist stärker unterhalb 500 m, wo in der Regel die Temperaturen höher sind. Die Folge ist, dass der Abbau der Pflanzenrückstände im Boden schneller verläuft und das führt zu einer Abnahme des  $C_{org} / N_t$  - Verhältnisses.

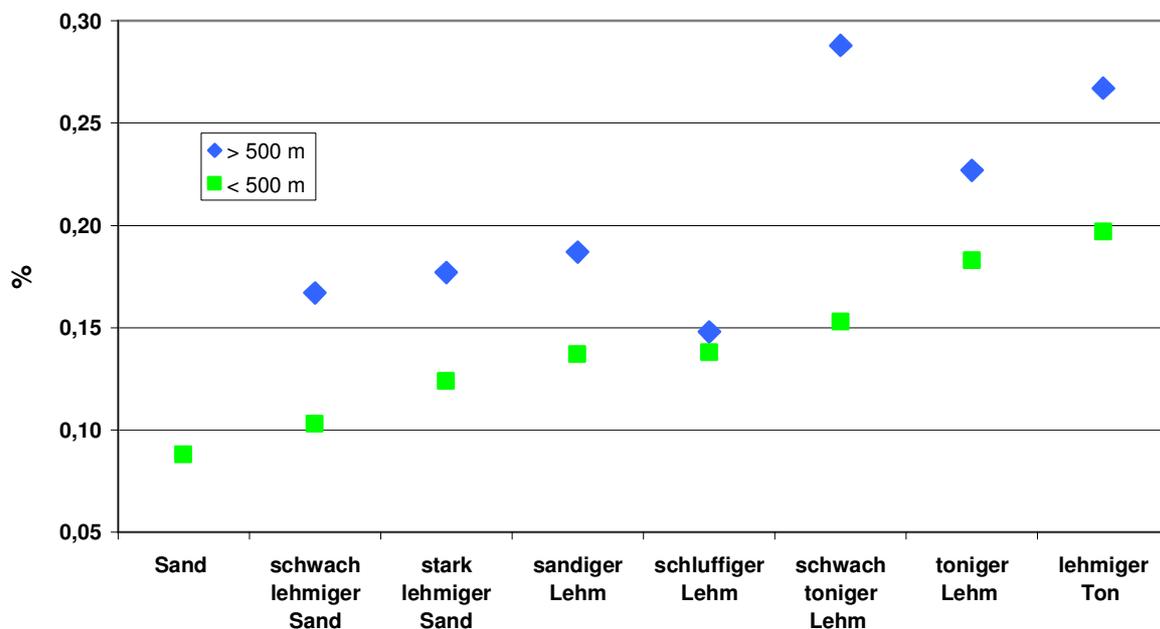


Abb. 19:  $N_t$  – Mediane in Abhängigkeit von Höhe

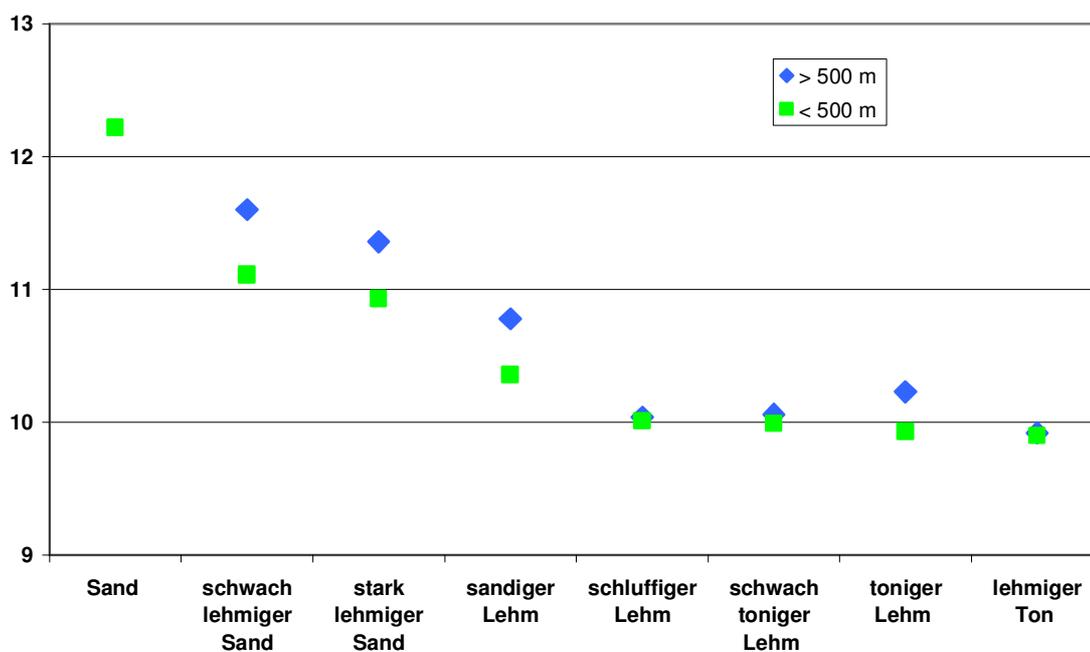


Abb. 20:  $C_{org} / N_t$  - Mediane in Abhängigkeit von Höhe

Durch die Einteilung der Teilflächen in zwei Gruppen (Höhe < 500 m und > 500 m) verringert sich allerdings die Anzahl der Teilflächen in der jeweiligen Gruppe und damit die Datenbasis zur Ermittlung der Spannweiten der Humuskennwerte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ,  $C_{org} / N_t$ ) in Abhängigkeit von der Höhe. Deshalb werden zunächst die Humuskennwerte nicht nach der Höhenlage differenziert.

### 4.2 Einfluss der Viehhaltung

Von den 1542 Teilflächen werden 318 (21 %) viehlos bewirtschaftet. In jeder Bodenartgruppe wurden die Teilflächen (konventionell + ökologisch) in zwei Gruppen (viehlos und viehhaltend) eingeteilt. Für jede Gruppe wurde das 75 % Quantil für die  $C_{org}$  -,  $N_t$  - und  $C_{org} / N_t$  - Werte berechnet. Die Ergebnisse sind in Abb. 21, 22 und 23 dargestellt.

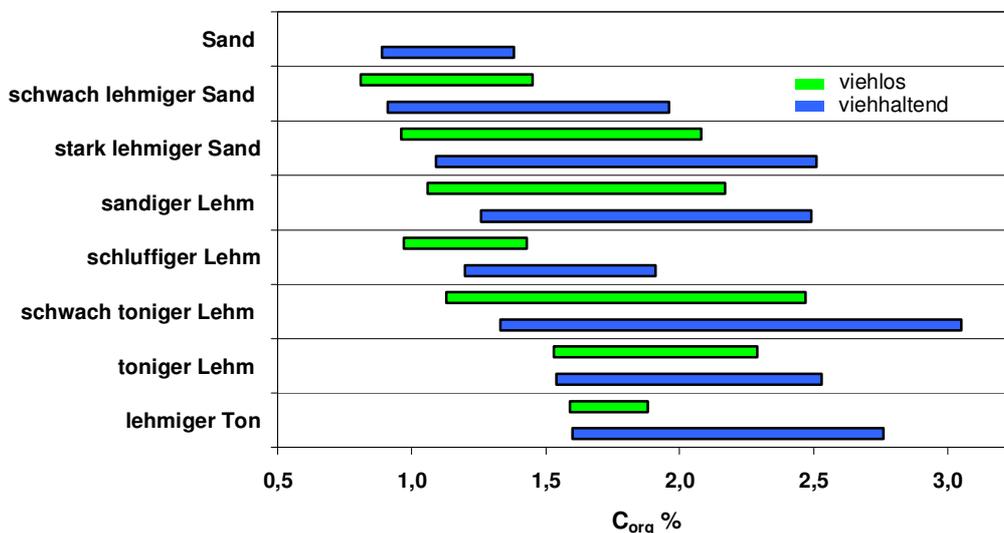


Abb. 21: Spannweiten der  $C_{org}$  - Gehalte in Abhängigkeit von Viehhaltung

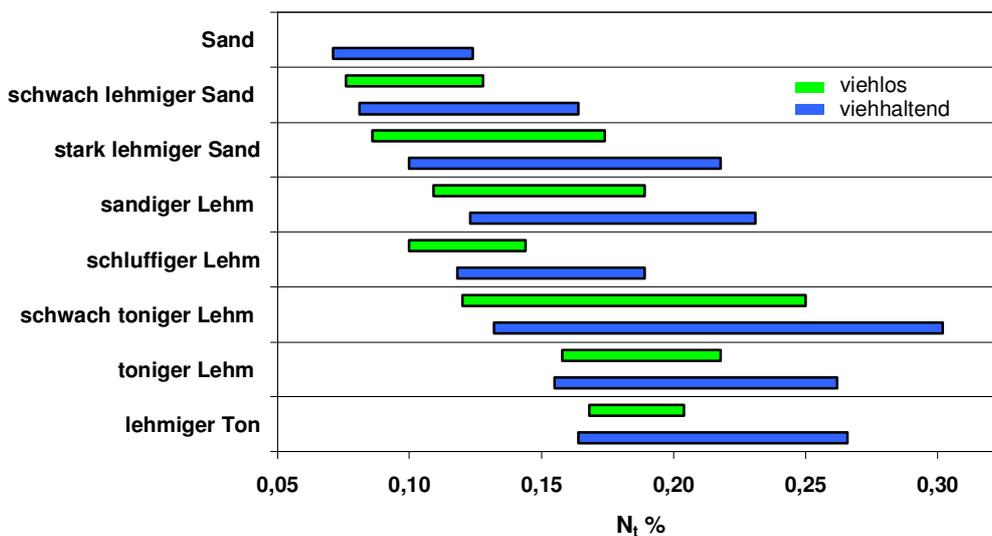


Abb. 22: Spannweiten der  $N_t$  - Gehalte in Abhängigkeit von Viehhaltung

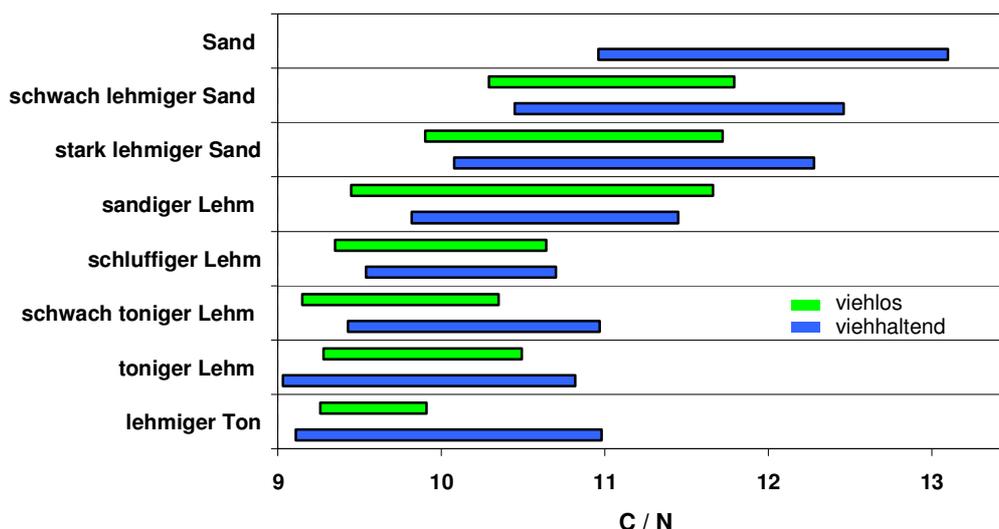


Abb. 23: Spannweiten der  $C_{org} / N_t$  Verhältnisse in Abhängigkeit von Viehhaltung

Die Mediane der  $C_{org}$ -,  $N_t$ - und  $C_{org} / N_t$ -Werte sind in Abb. 24, 25 und 26 dargestellt. Die Viehhaltung beeinflusst deutlich den Humus - Gehalt ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ). In 6 Bodenartgruppen sind die  $C_{org}$  - Unterschiede signifikant (Abb. 24; keine Normalverteilung, U - Test,  $p = 0,05$ ). Bei  $N_t$  ist das in 4 Bodenartgruppen der Fall (Abb. 25; keine Normalverteilung, U - Test,  $p = 0,05$ ). Auch bei der Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) ist der Einfluss der Viehhaltung erkennbar (Abb. 26). In 4 Bodenartgruppen sind die Unterschiede signifikant (keine Normalverteilung, U - Test,  $p = 0,05$ ). Bemerkenswert ist, dass die  $C_{org} / N_t$  - Verhältnisse der viehhaltenden Betriebe tendenziell höher sind als die der viehlosen.

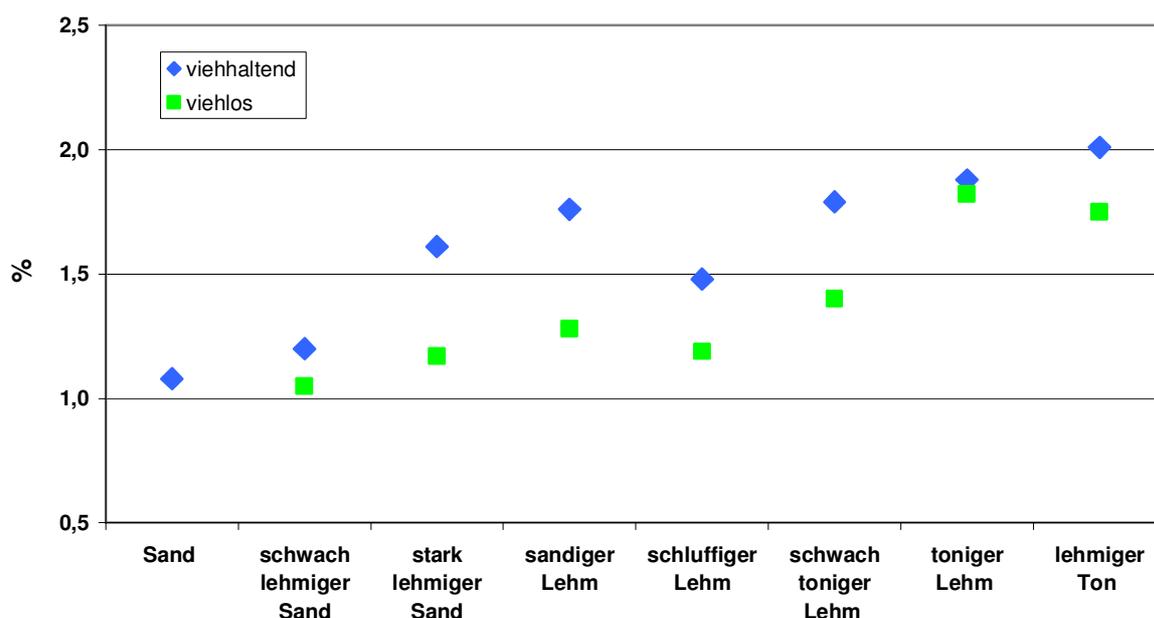


Abb. 24:  $C_{org}$  - Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung

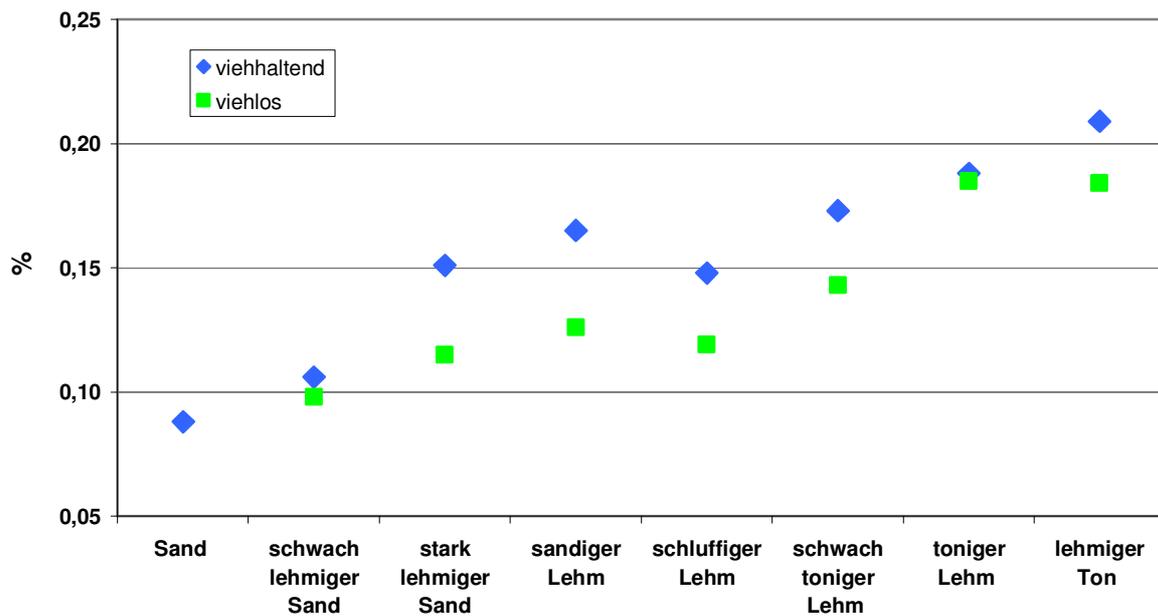


Abb. 25:  $N_t$ -Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung

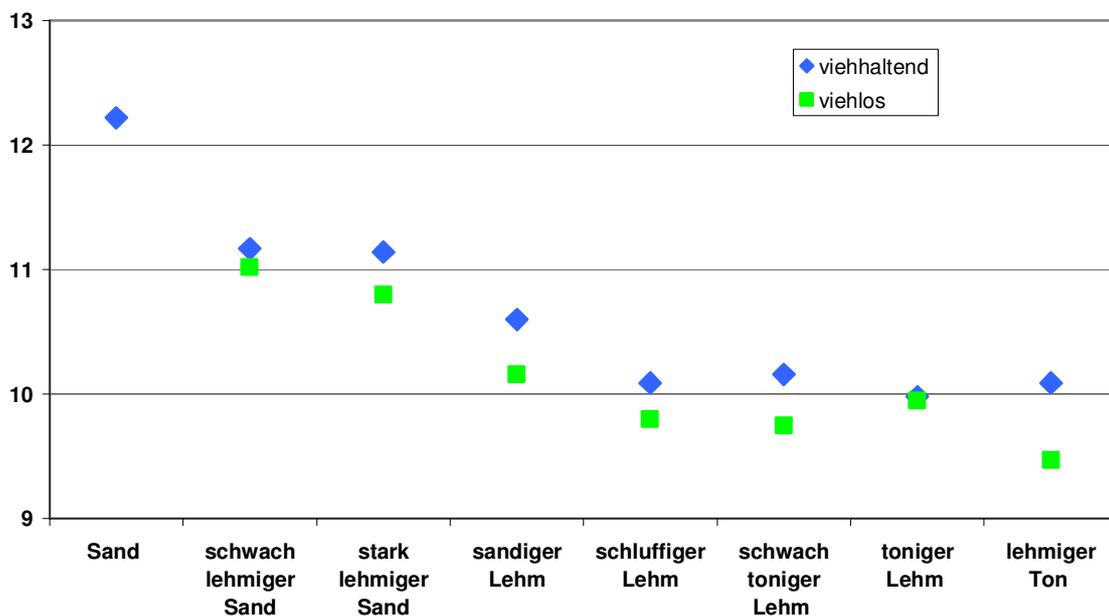


Abb. 26:  $C_{org} / N_t$  - Mediane in Abhängigkeit von Viehhaltung

Durch die Einteilung der Teilflächen in zwei Gruppen verringert sich allerdings die Anzahl der Teilflächen in der jeweiligen Gruppe und damit die Datenbasis zur Ermittlung der Spannweiten der Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) in Abhängigkeit von der Viehhaltung. Deshalb werden zunächst die Humuskennwerte nicht nach der Viehhaltung differenziert.

## 5. Standorttypische Humuskennwerte für Ackerland in Bayern

Die vorhandene Datenbasis ermöglicht die Bestimmung von Spannweiten der Humuskennwerte von Ackerböden in Bayern in Abhängigkeit von der Bodenart. Dafür wurde, wie oben bereits erläutert, in jeder Bodenartgruppe das 75 % Quantil für  $C_{org}$ ,  $N_t$  und  $C_{org} / N_t$  bestimmt. Wegen der oben erwähnten Schwierigkeit, der zu kleinen Datenbasis, wurde der Einfluss von Klima und Viehhaltung nicht mitberücksichtigt. Für den Humusgehalt ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) ist eine Trennung zwischen konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung nicht erforderlich. In Tab. 10 sind die standorttypischen Spannweiten der Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) in Abhängigkeit von der Bodenart zusammengestellt. Nach dem Bodenartschlüssel Bayerns werden die Bodenartgruppen „schwach toniger Lehm“ und „toniger Lehm“ in eine gemeinsame Bodenartgruppe „toniger Lehm“ zusammengefasst (Anhang Tab. 10). Diese Spannweiten gelten für grundwasserferne Ackerstandorte. In der Bodenartgruppe „Sand“ ist die Anzahl der Teilflächen ( $n = 11$ ; Tab. 4 und 7) offensichtlich zu gering für gesicherte Angaben.

Tab. 10: Standorttypische Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) für konv. und ökol. Bewirtschaftung

Bodenartgruppe	$C_{org}$ %	$N_t$ %
Sand	0,9 - 1,4	0,07 - 0,12
schwach lehmiger Sand	0,9 - 1,8	0,08 - 0,15
stark lehmiger Sand	1,1 - 2,4	0,10 - 0,21
sandiger Lehm	1,2 - 2,5	0,12 - 0,23
schluffiger Lehm	1,1 - 1,8	0,11 - 0,18
schwach toniger Lehm	1,2 - 2,9	0,13 - 0,30
toniger Lehm	1,5 - 2,5	0,16 - 0,24
lehmiger Ton	1,6 - 2,7	0,16 - 0,27

Anhang Tab. 10

Bodenartgruppe	$C_{org}$ %	$N_t$ %
toniger Lehm *	1,3 - 2,9	0,13 - 0,29

\* enthält die Bodenartgruppen "schwach toniger Lehm" und "toniger Lehm"

Für die Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) dagegen sind getrennte Spannweiten für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Flächen gerechtfertigt (Tab. 11). Sie gelten ebenfalls für grundwasserferne Ackerstandorte. Bei der Bodenartgruppe Sand ist lediglich eine und bei der Bodenartgruppe lehmiger Ton sind keine ökologisch bewirtschafteten Teilflächen vorhanden.

Tab. 11: Standorttypische Humusqualitäten ( $C_{org} / N_t$ )

Bodenartgruppe	Konventionell	Ökologisch
Sand	11,0 - 13,1	-
schwach lehmiger Sand	10,4 - 12,6	10,7 - 11,8
stark lehmiger Sand	9,9 - 12,1	10,1 - 12,4
sandiger Lehm	9,7 - 11,3	9,9 - 12,0
schluffiger Lehm	9,4 - 10,7	9,9 - 11,2
schwach toniger Lehm	9,3 - 10,9	9,6 - 11,0
toniger Lehm	9,0 - 10,7	9,8 - 10,9
lehmiger Ton	9,1 - 10,9	-

Anhang Tab. 11

Bodenartgruppe	konventionell	ökologisch
toniger Lehm *	9,2 - 10,8	9,6 - 11,0

\* enthält die Bodenartgruppen "schwach toniger Lehm" und "toniger Lehm"

## 6. Hinweise für die Praxis

### Bodenprobenahme

Die Aussagekraft der Humuskennwerte hängt entscheidend von der Bodenprobenahme ab.

Die Beprobung von kleinen Teilflächen ( $< 10 \text{ m}^2$ ), deren Position bekannt ist (siehe Absatz 3.2), hat gegenüber der „üblichen“ Mischprobe einen entscheidenden Vorteil, nämlich, diese kleinen Teilflächen sind homogener im Vergleich zum Schlag. Damit sind auch kleine Veränderungen des Humusgehalts und der Humusqualität im Laufe der Zeit erfassbar, man kann also die Humusversorgung langfristig genau verfolgen.

Die Probenahme soll grundsätzlich in Frühjahr vor der Vegetationszeit stattfinden, wenn die Pflanzenreste (Wurzeln, Stoppeln, Stroh, Blätter) weitgehend abgebaut sind. Die Pflanzenreste werden bei der Humusuntersuchung mit erfasst und verfälschen die Messergebnisse. Die Beprobung in Wintergetreide hat sich in der Praxis bewährt. Die Beprobung in Klee gras soll wegen der störenden Pflanzenreste vermieden werden. Die Probenahme soll vor der Ausbringung der Gülle und des mineralischen Stickstoff-Düngers oder frühestens zwei Wochen danach erfolgen. Die Probenahmetiefe beträgt 0 - 15 cm. Bei kombinierter Bodenbearbeitung (pfluglose Bodenbearbeitung und gelegentliche Grundbodenbearbeitung mit Pflug) soll die Bodenprobenahme möglichst in dem der Herbstfurche (Pflugeinsatz) folgenden Frühjahr stattfinden. Das sichert langfristig eine bessere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

### Humusparameter, Humusuntersuchung

Bei der Humusuntersuchung soll neben dem organischen Kohlenstoff ( $C_{\text{org}}$ ) immer auch der Gesamtstickstoff ( $N_t$ ) als Maß für den organischen Stickstoff im Boden mitbestimmt werden. Diese beiden Humusparameter werden in den meisten Laboren in einem analytischen Schritt simultan und quantitativ analysiert. Somit kann nicht nur der Humusgehalt ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) sondern auch die Humusqualität ( $C_{\text{org}} / N_t$ ) bestimmt werden. Diese Humusparameter ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ,  $C_{\text{org}} / N_t$ ) sind weltweit anerkannte Standardparameter.

Die übliche Berechnung des Humusgehalts ( $C_{\text{org}} \times 1,72$ ) ist nicht gerechtfertigt, da der Faktor 1,72 nicht allgemein gültig ist (Capriel, 2005 a).

Die Humusuntersuchung soll in einem Turnus von 6 – 10 Jahren durchgeführt werden.

Die regelmäßige Humusuntersuchung ist der einzige Weg, um die Humusversorgung von Ackerböden sicher zu erfassen. Auf dieser Basis kann man die Humusversorgung mittels geeigneter Bewirtschaftung optimieren.

### Bestimmung der Bodentextur

Die Bestimmung der Ton-, Schluff- und Sandanteile ist erforderlich, um die Bodenart richtig festzustellen. Diese Bestimmung erfolgt im Labor meistens mittels Fingerprobe. Da die Fingerprobe oft mit Fehlern behaftet ist, soll ein Standardverfahren (z.B. DIN ISO 11277 oder VDLUFA Methode C 2.2.1) verwendet werden. Der finanzielle Mehraufwand ist vertretbar, da diese Standardverfahren genauer sind und die Bestimmung nur einmal erforderlich ist.

### Bewertung der Humuskennwerte

Für die Bewertung von Humusgehalten ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) sollen die Spannweiten der Tab. 10 herangezogen werden. Sie gelten für konventionell und ökologisch bewirtschaftete Acker-schläge.

Die Bewertung von Humusqualität ( $C_{\text{org}} / N_t$ ) soll getrennt für konventionell bzw. ökologisch bewirtschaftete Acker-schläge mit Hilfe der Spannweiten der Tab. 11 erfolgen.

Die Werte der Tab. 10 und 11 dienen der Beratung.

Bei Viehhaltung und (oder) Höhen über 500 m könnte der obere Bereich der jeweiligen Spannweiten in Betracht gezogen werden. Da der Einfluss der Viehhaltung bzw. der Höhe nicht quantifiziert werden konnte (unzureichende Datenbasis; siehe oben), soll diese Bewertung allerdings von einem Fachmann vorgenommen werden.

### Erhaltung der standorttypischen Humuskennwerte

Die Ergebnisse des Humusmonitorings in Bayern im Rahmen des Bodendauerbeobachtungsflächen-Programms (BDF) des IAB zeigen, dass in den letzten 20 Jahren bei etwa einem Viertel der Acker-BDF die Humusgehalte ( $C_{\text{org}}$ ,  $N_t$ ) abgenommen haben. Die Ursachen für die Abnahme der Humusgehalte sind vielfältig. Die Humusabnahme ist primär

von der Bewirtschaftung verursacht (hoher Hackfrucht- und Maisanteil, kein Futterleguminosenanbau, unzureichende organische Düngung) (Capriel, 2005).

Die Grenzwerte nach Cross Compliance für Humusgehalte,  $C_{\text{org}} = 0,6 \%$  bei einem Tonanteil  $< 13 \%$  bzw.  $C_{\text{org}} = 0,9 \%$  bei einem Tonanteil  $> 13 \%$ , sind für Bayern offensichtlich zu niedrig (siehe Abb. 3). Sie sind deshalb für Beratungszwecke in Bayern ungeeignet.

Allerdings soll man berücksichtigen, dass die Humusgehalte von etwa 43 % der Ackerböden in Bayern in einem sehr niedrigen ( $C_{\text{org}} = 0,6 - 1,1 \%$ ) bzw. niedrigem Bereich ( $C_{\text{org}} = 1,1 - 1,5 \%$ ) liegen. Der Rest hat Humusgehalte  $> 1,5 \%$  (siehe Abb. 3). In beiden Fällen ist eine optimale Humusversorgung (Bewirtschaftung) erforderlich, um die standorttypischen Humusgehalte zu erreichen bzw. zu erhalten.

Folgende landwirtschaftliche Maßnahmen erhalten und fördern den Humusgehalt und die Humusqualität:

- Standortgerechte vielfältige Fruchtfolge mit einem ausgewogenen Verhältnis zwischen humuszehrenden Fruchtarten (z. B. Zuckerrübe, Kartoffel, Mais, Raps, Sonnenblume, Getreide mit Strohabfuhr) und humusmehrenden (z. B. Klee gras, Luzerne, Körnerleguminosen, Zwischenfrüchte).
- Ausreichende Versorgung des Bodens mit organischer Substanz. Die Zufuhr von organischer Substanz erfolgt durch die bei der Ernte auf dem Feld verbleibenden Ernterückstände (Wurzeln, Stoppeln, Stroh, Sproßmasse), den gezielten Anbau von Zwischenfrüchten zur Gründüngung und durch Wirtschaftsdünger (Stallmist, Gülle, Kompost).
- Gleichmäßige Verteilung und Einarbeitung von Pflanzenresten und organischen Düngern.
- Standort- und bedarfsgerechte Bodenbearbeitung. Eine hohe Bearbeitungsintensität verstärkt den Humusabbau.
- Vermeidung von schädlichen Bodenverdichtungen. Eine gute Bodenstruktur ist die Voraussetzung für die Sauerstoff- und Wasserversorgung und damit für eine optimale mikrobielle Aktivität.
- Beachtung der Grundsätze der guten fachlichen Praxis bei Düngungsmaßnahmen.
- Standortgerechte Kalkversorgung. Die Bodenbakterien schränken ihre Aktivität mit zunehmender Versauerung ein. Die Kalkung hebt den pH-Wert an und fördert damit die mikrobielle Aktivität.

## 7. Literaturverzeichnis

Capriel P. (2005): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern: Humus-Gehalts- und Qualitätsveränderungen seit 1986. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, 8/2005, 53 - 56.

Capriel P. (2005 a): Humusversorgung der Böden,

<http://www.lfl.bayern.de/internet/stmlf/lfl/iab/bodenbearbeitung/13479/index.php>

“Hin zu einer spezifischen Bodenschutzstrategie“, Mitteilung der EU Kommission, Brüssel, 16.04.2002 , [celex-txt - 52002DC0179 -](#)

Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern (1961 – 1990), Ausgabe 1997, Deutscher Wetterdienst Weihenstephan.

Oades J.M.(1995): An overview of processes affecting the cycling of organic carbon in soils. In “Role of nonliving organic matter in the earth`s carbon cycle”, R.G. Zepp and Ch. Sonntag, Eds., John Wiley & Sons, 1995.

## 8. Anhang

### Karte Humusgehalte Acker

Graphische Darstellung der Humusgehalte ( $C_{org}$ ,  $N_t$ ) der 389 untersuchten Ackerstandorte in Bayern. Für jeden Standort wurden die  $C_{org}$  - bzw.  $N_t$  - Werte der 5 Teilflächen herangezogen und daraus wurde ein Mittelwert errechnet.

### Karte Humusqualität Acker

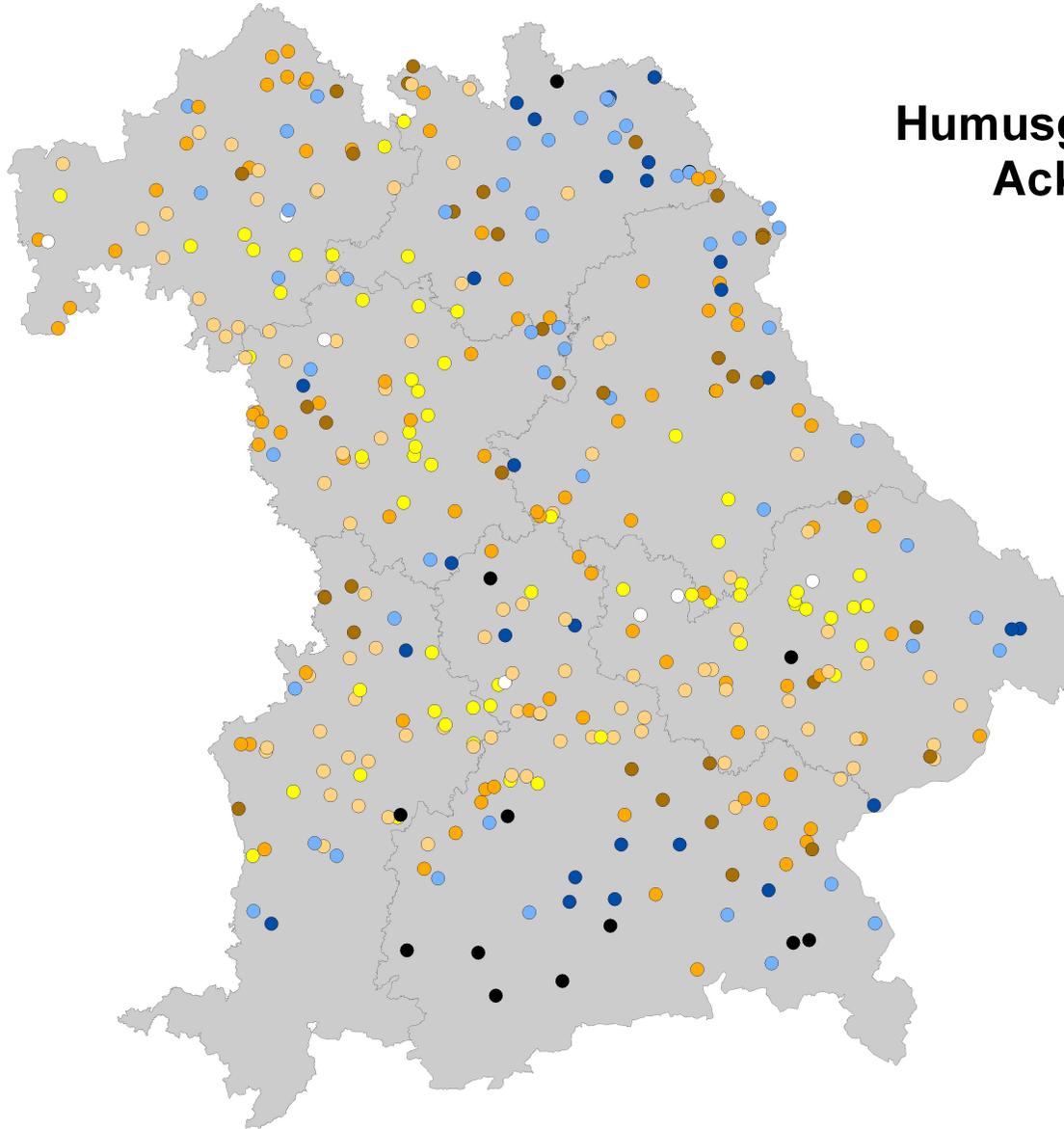
Graphische Darstellung der Humusqualität ( $C_{org} / N_t$ ) der 389 untersuchten Ackerstandorte in Bayern. Für jeden Standort wurden die  $C_{org} / N_t$  - Werte der 5 Teilflächen herangezogen und daraus wurde ein Mittelwert errechnet.

### Karte Bodenart Acker

Graphische Darstellung der Bodenarten der 389 untersuchten Ackerstandorte in Bayern.

Stand Juli 2006

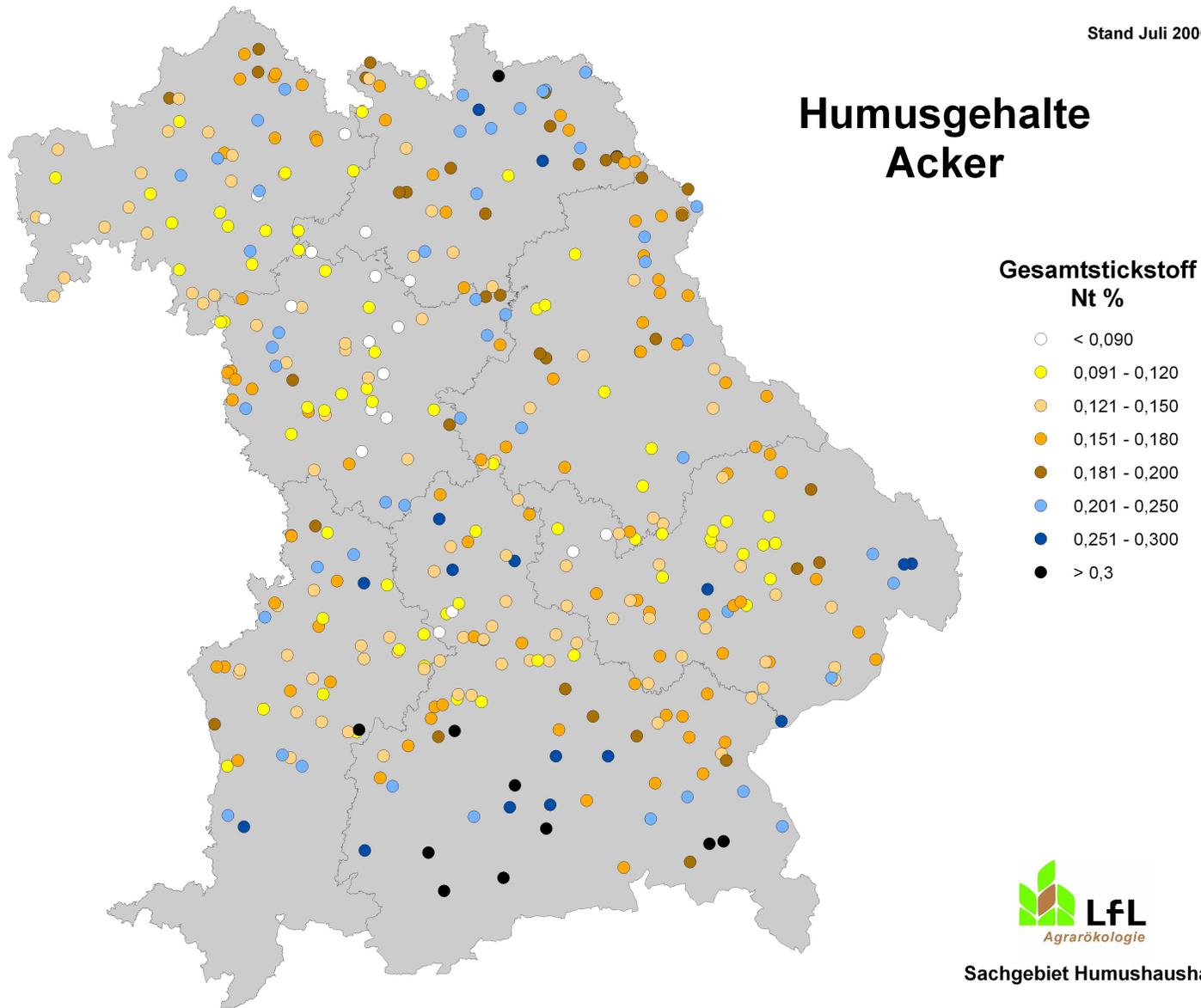
## Humusgehalte Acker



Sachgebiet Humushaushalt

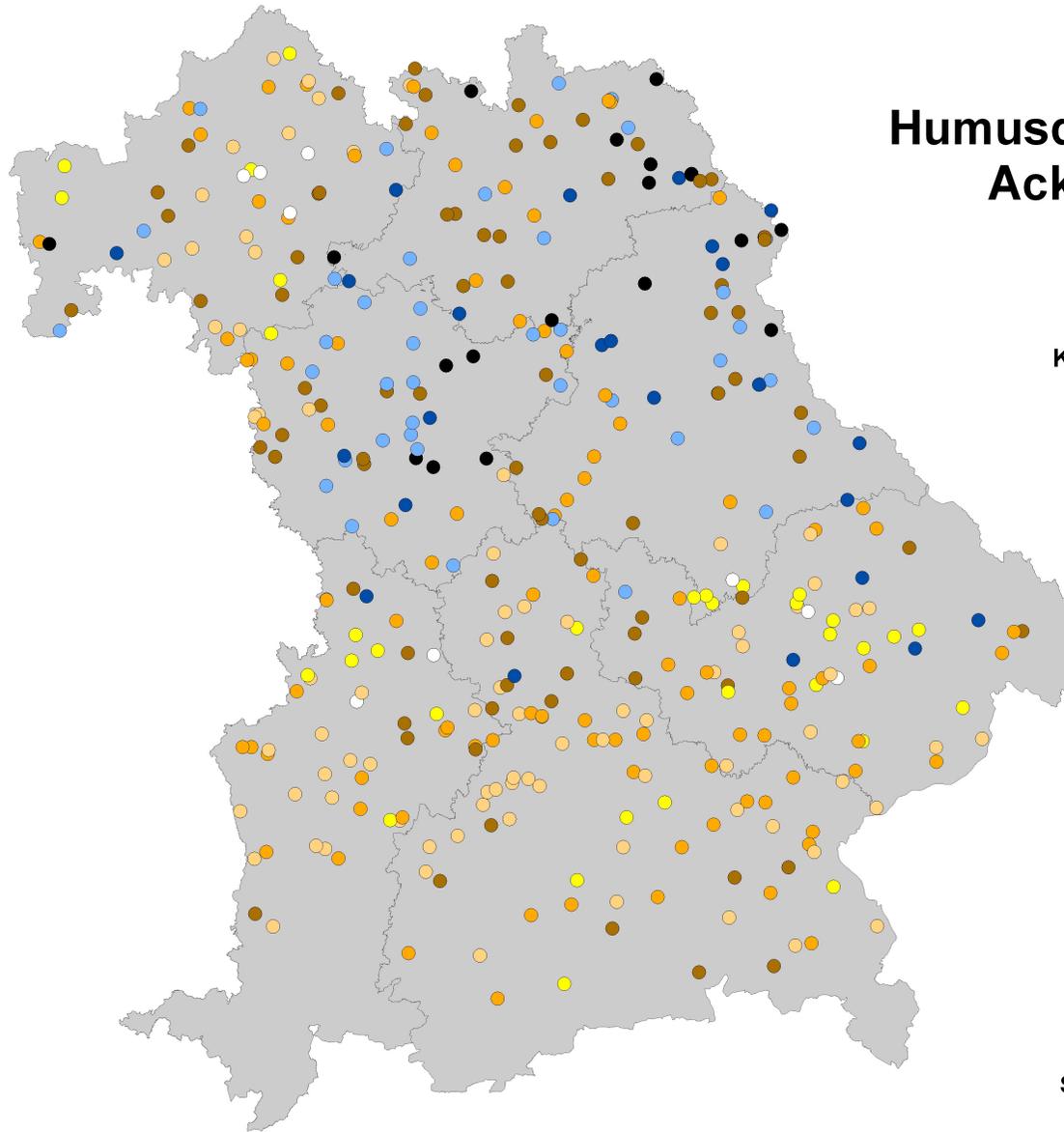
Stand Juli 2006

## Humusgehalte Acker

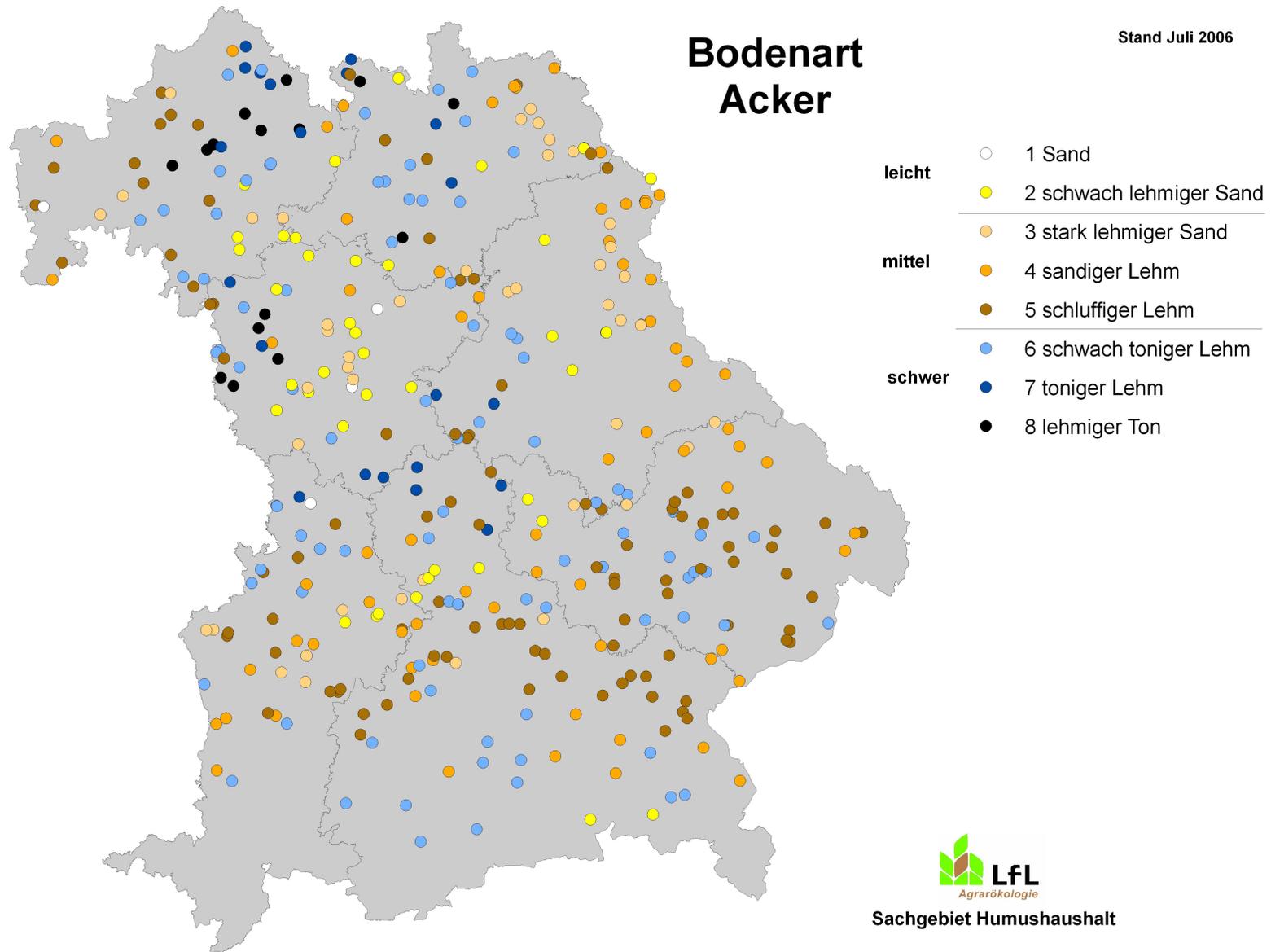


Stand Juli 2006

## Humusqualität Acker



Sachgebiet Humushaushalt



## **Danksagung**

Die Sachgebiete Agrarökologie und Boden bei den Ämtern für Landwirtschaft und Forsten haben die Betriebe ausgewählt und die Bodenproben entnommen.

Herr Detlef Seiffert, Frau Brigitte Dirscherl, Frau Heidi Scherzer-Gois, Frau Waltraud Rinder, Frau Anna Ilmberger und Herr Jürgen Kler haben die aufwendige und anspruchsvolle Verwaltung der etwa 10000 Proben und der Messergebnisse organisiert und die Bodenaufbereitung und die Analysen im Labor durchgeführt.

Herr Dipl. Math. Rudolf Graf hat mit wertvollen Ratschlägen zu der Festlegung der Art der Probenahme und der statistischen Auswertung der Daten beigetragen.

Herr Rudolf Rippel und Herr Dr. Klaus Wiesinger halfen durch Korrekturlesen.

Ich möchte mich bei allen bedanken.