



UFZ-Bericht

Nr. 13/1999

Die organische Bodensubstanz

**Dynamik – Reproduktion – ökonomisch und
ökologisch begründete Richtwerte**

Martin Körschens, Elke Schulz

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung

Die organische Bodensubstanz

Dynamik - Reproduktion -
ökonomisch und ökologisch begründete Richtwerte

Martin Körschens, Elke Schulz

Gliederung:

	Seite
1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	2
3. C- und N-Gehalte in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung	4
4. C- und N-Dynamik	7
5. Ertragswirksamkeit der OBS	10
6. N- und C-Bilanzen aus Dauerfeldversuchen	17
6.1 N-Bilanzen	17
6.2 C-Bilanzen	20
7. Methode der Bilanzierung der OBS	20
8. Einfluß unterschiedlicher Fruchtarten auf den Gehalt des Bodens an organischer Substanz	25
9. Orientierungswerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz	27
10. Bestimmung des umsetzbaren organischen Kohlenstoffs im Boden (C_{ums}) und Ableitung von Gehaltsklassen	29
11. Schlußfolgerungen	39
12. Literatur	41

Anhang:

I. Tabellen

II. Methode zur Bestimmung des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs (Beschreibung)

Danksagung

Die Ergebnisse im vorliegenden Bericht basieren auf einer engen Zusammenarbeit mit zahlreichen wissenschaftlichen Einrichtungen, die über Dauerfeldversuche verfügen. Für die sehr gute Kooperation und für die Bereitstellung von Bodenproben aus Dauerfeldversuchen möchten die Autoren den nachfolgend aufgeführten Einrichtungen herzlich danken:

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Landwirtschaftliche Fakultät

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Pflanzenbau

Justus-von-Liebig-Universität Gießen, Versuchsstation Rauischholzhausen

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig -Völkenrode, Institut für agrarrelevante Klimaforschung, Müncheberg

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Leipzig

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

Landwirtschaftsbetrieb Dr. Herbert Reichelt, Lauterbach

Research Institut of Crop Produktion Prag-Ruzyne, Tschechien

IACR, Rothamsted Experimental Station, Soil Science Department, UK

Warsaw Agricultural University, Department of Agricultural Chemistry, Experimental Station Skierniewice, Polen

Dem Umweltbundesamt Berlin gilt besonderer Dank für die finanzielle Förderung.

1. Einleitung

Der Boden ist die Grundlage der Nahrungsmittelproduktion und gleichzeitig Lebensraum des Menschen. Die Existenz der Menschheit ist daher an die Erhaltung des Bodens und seiner Funktionen gebunden. Alle Bemühungen in dieser Richtung erfordern eine globale Betrachtungsweise, da die Probleme der Ernährungssicherung und der Umweltbelastung, einschließlich der Erhöhung der Spurengaskonzentration der Atmosphäre und der Sicherung der Wasserversorgung, nicht mehr innerhalb politischer oder geographischer Grenzen gesehen werden dürfen.

Die Bodenfunktionen werden gegenwärtig von sehr verschiedenen Standpunkten und mit sehr unterschiedlichen Inhalten betrachtet. Die verwirrende Vielfalt der in der Literatur aufgezählten Funktionen mit z. T. gleicher bzw. sich überschneidender Bedeutung erschwert eindeutige Definitionen und Begründungen.

Nachfolgend werden nur die ökologischen Funktionen berücksichtigt und diese in Anlehnung an Blum (1997) unterteilt in:

- die **Produktionsfunktion** (Nahrung, Futter, Energie und Rohstoffe)
- die **Regelungsfunktion** (Filter-, Puffer- und Transformationsfunktion)
- die **Lebensraumfunktion** (einschl. Genreserve).

In den letzten Jahren ist eine Situation herangereift, die zu ernsthaften Bedenken Anlaß gibt. Millionen Menschen verhungern jährlich, nahezu eine Milliarde ist unzureichend ernährt. Die Ackerfläche verringert sich weltweit um rd. 10 Millionen Hektar pro Jahr.

Unter diesem Gesichtspunkt ist der Produktionsfunktion Priorität einzuräumen (Diez, 1995 u. a.), wobei allerdings keine Kompromisse hinsichtlich einer Vernachlässigung der übrigen ökologischen Funktionen zugelassen werden dürfen.

Mit Blick auf die Atmosphäre ist die Regelungsfunktion an die Produktion von pflanzlicher Biomasse gekoppelt, ohne die der CO₂-Kreislauf und eine CO₂-Minderung nicht funktionieren können. Ebenso gilt zu berücksichtigen, daß der Boden im Sinne der Definition „**Belebter oberster Bereich der Erdkruste im Überlappungsbereich von Lithosphäre, Atmosphäre und Hydrosphäre ... Der Boden dient Pflanzen als Standort und Reduzenten als Lebensraum ...**“ (Autorenkollektiv, 1991) nur durch Pflanzenwuchs entsteht, womit auch alle wichtigen Funktionen beeinflußt werden. Er hört auf, ein Boden im Sinne dieser Definition zu sein, wenn keine Pflanzen mehr darauf wachsen.

Unzureichend aufgeklärt und quantifiziert sind die Kohlenstoff- und Stickstoffkreisläufe Boden, Wasser und Atmosphäre. Aber gerade sie sind von entscheidender Bedeutung, da

- beide Elemente für die Bodenfunktionen einerseits unabdingbar sind, andererseits aber die Grenzen zwischen Schutz- (Vorteils-) und Schadwirkung sehr eng gezogen sind,
- sie sehr stark externen Einflüssen unterliegen und daher nur begrenzt zu beeinflussen sind,
- sie einer sehr starken standort-, insbesondere witterungsbedingten, Variabilität unterliegen und dementsprechend schwer zu quantifizieren sind; die Vielfalt und Stabilität ihrer Bindungsformen noch unzureichend bekannt sind.

2. Material und Methoden

Untersuchungen zum Thema der vorliegenden Arbeit erfordern Langzeituntersuchungen, d.h. Dauerversuche mit entsprechend intensiver Beprobung über viele Jahre, besser Jahrzehnte. Insbesondere die Prüfmerkmale „organischer Kohlenstoff“ und „Stickstoff“, aber auch der Ertrag, haben eine sehr hohe räumliche und zeitliche Variabilität. Signifikante Aussagen können daher nur durch eine entsprechende Anzahl von Wiederholungen in Zeit und Raum erreicht werden.

Die Mehrzahl der Untersuchungen wurden am Standort Bad Lauchstädt durchgeführt.

Er ist gekennzeichnet durch:

- Bodenform:	Löß-Schwarzerde
- FAO-Klassifikation:	Haplic Chernozem
- Höhenlage:	110 m
- Niederschlagsmittel (1896-1995):	484 mm
- Jahresdurchschnittstemperatur (1896 - 1995):	8,7 ° C
- Tongehalt:	21 %

Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt, 1902 angelegt, stellt die wichtigste Versuchsbasis dar. 1978 wurde eine Erweiterung der Versuchsfrage vorgenommen, die es ermöglicht, den Einfluß sehr differenzierter OBS-Gehalte auf Ertrag sowie C- und N-Dynamik zu untersuchen. Nähere Angaben zu diesem Versuch sowie zum Standort sind bei Körschens et al. (1994) beschrieben.

Die C_{org} -Bestimmung erfolgte mittels trockener Verbrennung nach STRÖHLEIN unter Berücksichtigung des Karbonatkohlenstoffs, die N-Bestimmung nach KJELDAHL. Heißwasserlöslicher Kohlenstoff und Stickstoff wurden nach Schulz (1997) untersucht.

Zur Verifizierung der Aussagen aus den Untersuchungen vom Standort Bad Lauchstädt werden Ergebnisse von Dauerversuchen anderer Standorte einbezogen (Tabelle 1).

Tabelle 1

Übersicht über die in die Auswertung einbezogenen Dauerfeldversuche

Nr.	Versuchsort	Anlage-jahr	Tongehalt %	Jahres-durchschnitts-temp. °C	Jahres-niederschlag mm	Autor
1	Groß Kreutz (M4)	1967	2	8,9	537	Asmus, 1990a
2	Groß Kreutz (P60)	1959	2	8,9	537	Asmus, 1990b
3	Bad Salzungen	1966	2	7,7	600	Ansorge u. Pöbneck, 1992
4	Thyrow (Bodenfrucht.)	1938	3	8,6	520	Schnieder, 1990
5	Thyrow	1937	3	8,6	520	Schnieder, 1990
6	Ascov (Dänemark)	1894	4	7,7	790	Christensen, 1989
7	Müncheberg	1963	5	8,2	521	Rogasik, 1995
8	Skierniewice (Polen)	1923	5	7,9	520	Mercik, 1993
9	Dülmen	1958	5	9,7	878	Wollring, 1995
10	Berlin-Dahlem	1923	5	9,2	549	Krzysch u. Caesar, 1992
11	Rostock	1953	6	8,4	599	Reuter, 1990
12	Spröda	1966	6	8,3	540	Ansorge u. Pöbneck, 1992
13	Seehausen (Frucht.)	1958	8	9,0	556	Leithold, 1992
14	Seehausen (Komb.)	1967	8	9,0	556	Hülsbergen, 1992
15	Halle	1878	8	9,2	501	Stumpe et al., 1990
16	Ascov (Dänemark)	1894	12	7,7	790	Christensen, 1989
17	Bernburg	1910-1962	16	8,8	474	Wabersich, 1967
18	Bad Lauchstädt	1902	21	8,7	484	Körschens et al., 1994
19	Grignon (Frankreich)	1875	22	11,0	640	Houot u. Chaussod, 1995
20	Järna (Schweden)	1958	30	6,0	550	Pettersson et al., 1992
21	Dikopshof	1904	10	10,0	637	Schellberg u. Körschens, 1996
22	Ultuna (Schweden)	1956	36	5,5	527	Kirchmann et al., 1994
23	Prag (Tschechien)	1955	31	7,7	487	Klir et al., 1995
24	Methau	1966	16	8,0	600	Ansorge u. Pöbneck, 1992
25	Poppelsdorf	1906	14	10,1	670	Schellberg u. Körschens, 1996
26	Broadbalk (UK)	1843	27	9,0	717	Powlson, 1994
27	Rauischholzhausen	1984	17	8,0	578	v.Boguslawski, 1995
28	Lauterbach	1964	15	6,3	900	Reichelt, 1990

3. C- und N-Gehalte in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftung

Die folgenden Betrachtungen zur C- und N-Dynamik gehen davon aus, daß die OBS in mindestens zwei Fraktionen zu unterteilen ist, von denen die eine mehr oder weniger "inert", d. h. an den Umsetzungsprozessen unbeteiligt, eine zweite mineralisierbar ist (Körschens, 1997). Jenkinson und Rayner (1977) differenzieren, bei insgesamt fünf Fraktionen mit deutlich unterschiedlichen Halbwertszeiten, den stabilen Teil in "physikalisch stabilisierte" und "chemisch stabilisierte" OBS.

Der inerte Kohlenstoff und Stickstoff sind, bei sehr wenigen Ausnahmen, hochsignifikant mit dem Tongehalt des Bodens korreliert (Abb. 1) und bleiben bei Berechnungen zur Dynamik unberücksichtigt, da Veränderungen innerhalb überschaubarer Zeiträume nur im umsetzbaren Kohlenstoff nachzuweisen sind.

Als Kriterium für die in einem bestimmten Zeitraum wirksam gewordene Mineralisierungsaktivität verwendet Kartschall (1986) den Begriff "**wirksame Mineralsierungszeit (WMZ)**". Die WMZ entspricht dabei einer Inkubationszeit unter **Optimalbedingungen**. Franko und Oelschlägel (1995) berechnen einen mittleren standorttypischen WMZ-Jahreswert mit Hilfe des Feinanteilgehaltes (= Ton + Feinschluff), der Jahresdurchschnittstemperatur und dem Jahresniederschlag. Die von ihnen für ausgewählte Standorte berechneten WMZ-Jahressummen liegen zwischen 46 Tagen für Sandböden Mitteldeutschlands und 27 Tagen für die Löß-Schwarzerde in Bad Lauchstädt.

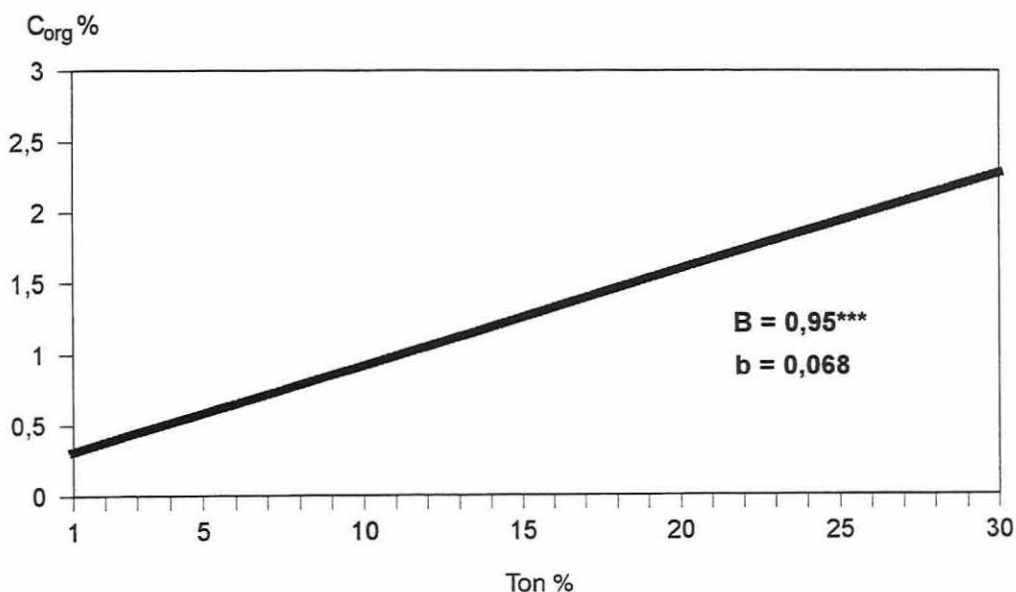


Abb. 1: Lineare Regression zwischen dem C_{org}-Gehalt der Nullparzellen (als Kriterium für den inerten C) und dem Tongehalt in 21 Dauerfeldversuchen

Der inerte C-Gehalt wird selbst bei intensiver Bodenbearbeitung und Schwarzbrache unter Feldbedingungen nicht mehr unterschritten. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse eines 1956 von Ansorge (1966) angelegten Betonringversuches mit sehr unterschiedlichen Ausgangsgehalten. Im Verlaufe von 40 Jahren ist der C-Gehalt auf der niedrigsten Stufe nur noch geringfügig abgesunken und erreicht bei 1,5 % C_{org} einen Endwert bzw. das neue Fließgleichgewicht, das dem inerten C-Gehalt auf diesem Standort entspricht. Entsprechend größere Rückgänge sind bei den hohen C-Ausgangswerten zu verzeichnen. Analoge Ergebnisse brachte der ebenfalls 1956 angelegte Dauerversuch in Ultuna (Schweden). Nach 30 Jahren war unter ungedüngter Schwarzbrache der Endwert von 1,04 % C_{org} praktisch erreicht. Auf dem leichten Sandboden in Thyrow stagniert der C-Gehalt der Nullparzelle, die praktisch einer Schwarzbrache gleichkommt, bei 0,34 % C_{org} .

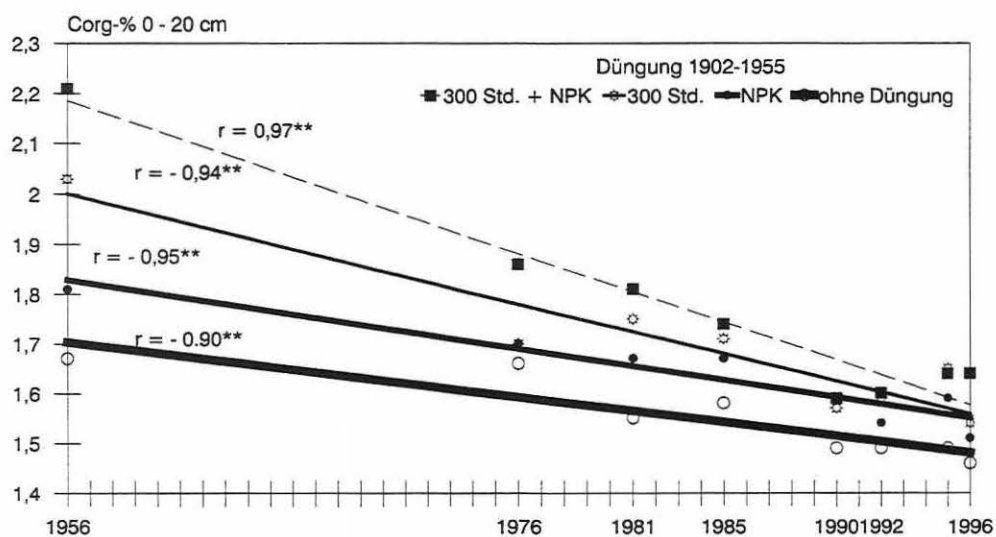


Abb. 2: Dynamik des Corg-Gehaltes in Abhängigkeit vom Ausgangsniveau unter Schwarzbrache auf Löß-Schwarzerde

Für praktische Belange wird die Differenz zwischen dem C_{org} -Gehalt und dem inerten C (C_i), näherungsweise ermittelt durch den C_{org} -Gehalt der Nullparzellen in Dauerefeldversuchen unter der Voraussetzung, daß das Fließgleichgewicht annähernd erreicht ist, als der umsetzbare Kohlenstoff angesehen.

In Abb. 3 ist für ausgewählte Dauerefeldversuche mit deutlich differenziertem Tongehalt, jedoch annähernd gleicher Stallmistdüngung, der inerte und umsetzbare C dargestellt. In Abhängigkeit vom Tongehalt ergeben sich inerte C-Gehalte von 0,34 % bis 2,45 % und

Gehalte an umsetzbarem Kohlenstoff von 0,11 % bis 0,63 %, bedingt durch die Tatsache, daß sich mit Zunahme des Tongehaltes die WMZ verringert, d. h. die Mineralisierungsintensität abnimmt und damit der Anteil des akkumulierten/humifizierten Kohlenstoffs zunimmt. Dies bedeutet, daß bei annähernd gleichen Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen mit dem Tongehalt nicht nur der inerte, sondern auch der umsetzbare C ansteigt.

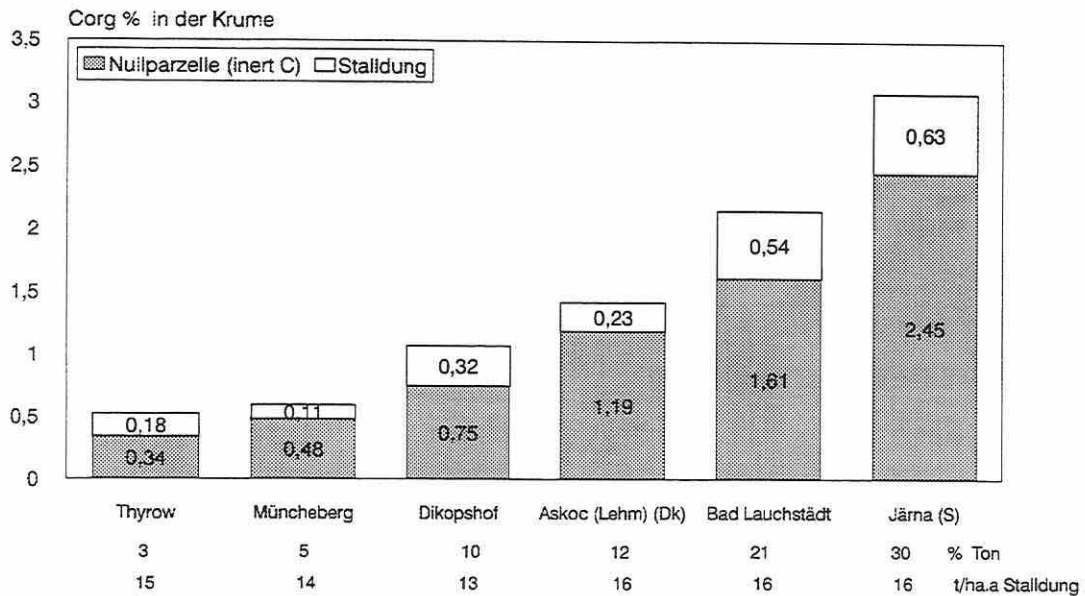


Abb. 3: Einfluß von Stallmistdüngung auf die Corg - Gehalte im Boden (0 - 30 cm) in ausgewählten Dauerfeldversuchen mit unterschiedlichen Tongehalten

Daraus wird ersichtlich, wie schon in vorangegangenen Arbeiten nachgewiesen (Körschens, 1997), daß der anzustrebende Gehalt an umsetzbarem C im Bearbeitungshorizont von Lehm- und Lößböden unter durchschnittlichen Witterungsbedingungen bei einer WMZ von 25 - 30 Tagen unterhalb 0,6 % liegt, auf Sandböden bei einer WMZ von 40 bis 50 Tagen (Franko et al., 1997) Gehalte > 0,4 % praktisch kaum realisierbar sowie auch aus Gründen einer effektiven N-Verwertung und einer positiven C-Bilanz nicht sinnvoll sind, auch wenn die bodenphysikalischen Eigenschaften mit dem C-Gehalt sehr eng korreliert sind (Körschens u. Waldschmidt, 1995 u. a.) und ihre Verbesserung mit einer Erhöhung des C-Gehaltes erreicht werden könnte.

Abbildung 3a zeigt für 20 Dauerfeldversuche unterschiedlicher Standorte den Gehalt an inertem und mineralisierbarem C.

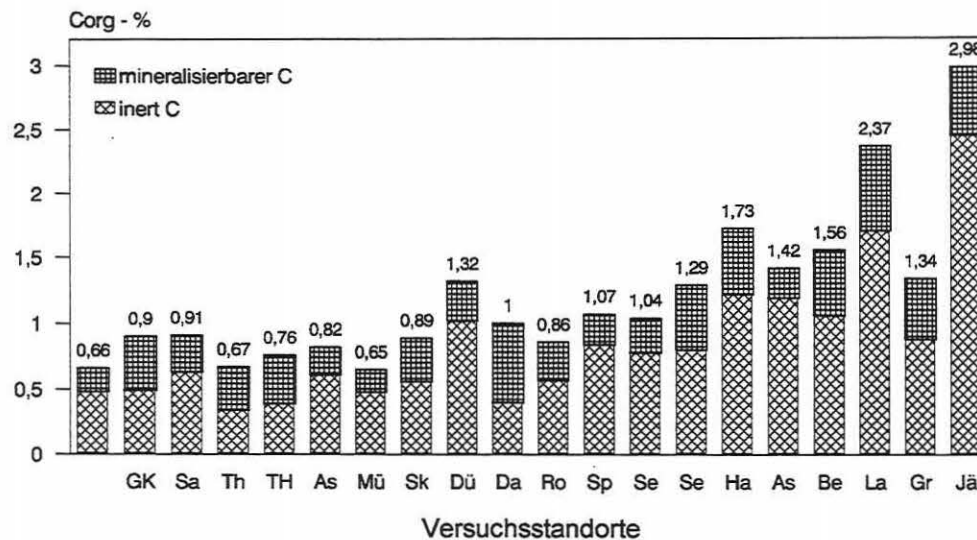


Abb. 3a: Gehalt an inertem (C_i) und umsetzbarem (C_{ums}) Kohlenstoff in 20 ausgewählten Dauerfeldversuchen

4. C- und N-Dynamik

Veränderungen im C_{org} - und N_t -Gehalt verlaufen sehr langsam und sind bei Bewirtschaftungsumstellungen in praxisrelevanten Größenordnungen erst nach mehr als 10 Jahren nachzuweisen. Auf Grund der großen zeitlichen und räumlichen Variabilität der C- und N-Gehalte ist es für Untersuchungen zur Dynamik dieser Merkmale notwendig, möglichst jährlich von jeder Parzelle Proben zu untersuchen.

Im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt war nach Erweiterung der Versuchsfrage im Jahre 1978 die Möglichkeit gegeben, Veränderungen der C- und N-Gehalte nach extremen Änderungen des Düngungsregimes zu quantifizieren. Abb. 4 zeigt für zwei ausgewählte Varianten (1902 bis 1977 30 t/ha.2a Stalld., ab 1978 ohne jede Düngung bzw. umgekehrt, bis 1977 ohne jede Düngung und ab 1978 30 t/ha.2a FYM+NPK) die Entwicklung der Gehalte im Verlaufe von 18 Jahren.

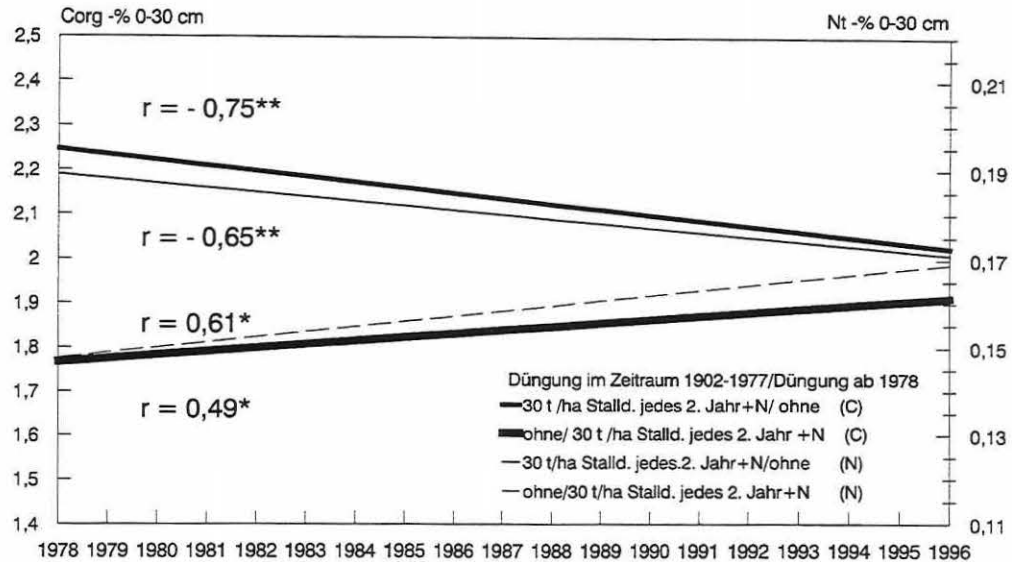


Abb. 4: Entwicklung der C- und N-Gehalte im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (Fruchtfolge: Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste) nach Änderung der seit 1902 praktizierten Düngung im Jahre 1977.

Die Verringerung bei einem hohen Ausgangsniveau beträgt jährlich 0,013 % C_{org} , entsprechend 5,2 dt C/ha, bzw. 0,0011 % N entsprechend 44 kg N/ha. Diese Menge stimmt sehr gut mit der Differenz im N-Entzug zwischen der Nullvariante und der ehemaligen Volldüngungsvariante überein.

Der Anstieg der ehemals ungedüngten Variante ist beim Kohlenstoff geringer und macht 0,0081 % C, bei Stickstoff 0,0012 % N jährlich aus.

Es wird gleichzeitig deutlich, daß bis zum Erreichen des neuen Fließgleichgewichtes noch einige Jahrzehnte notwendig sind.

In einem 1984 ebenfalls in Bad Lauchstädt angelegten Dauerversuch mit extrem hohen Stalldunggaben (0, 50, 100 und 200 t/ha jährlich) wurden die Veränderungen der C_{org} - und N_t -Gehalte im Vergleich einer Fruchtfolge (Z.-Rüben, Silomais, W.-Weizen, Kartoffeln, Silomais, W.-Weizen, Z.-Rüben, Kartoffeln, Silomais, Z.-Rüben, Kartoffeln, Silomais, Zuckerrüben) mit Schwarzbrache über einen Zeitraum von 13 Jahren geprüft (Abb. 5 und 6).

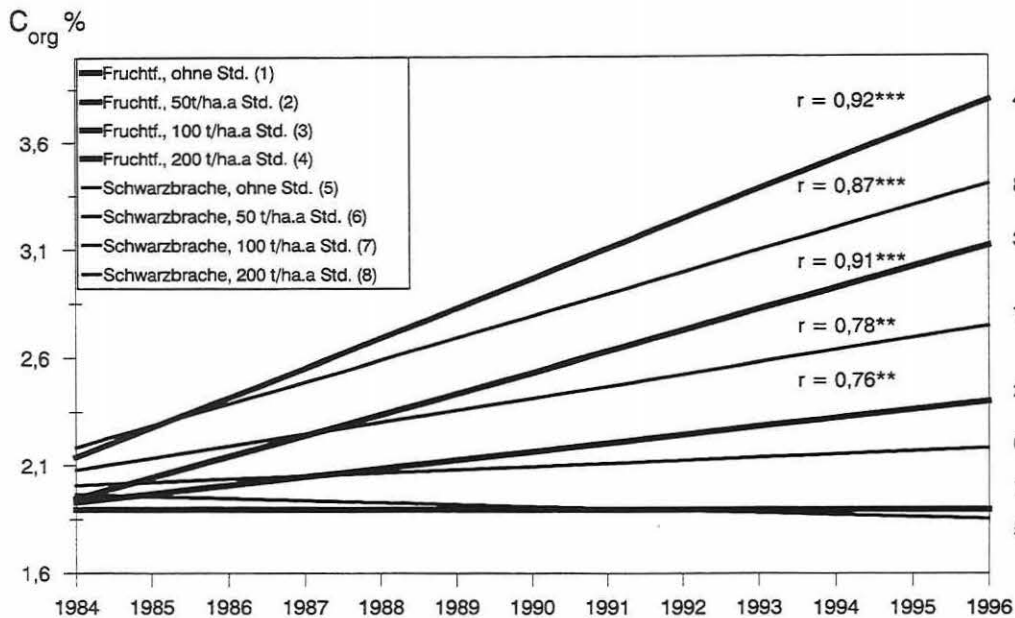


Abb. 5: Entwicklung der C_{org}-Gehalte in einem Dauerfeldversuch mit extrem hohen Stallungsgaben in der Fruchtfolge und unter Schwarzbrache auf Löß-Schwarzerde in Bad Lauchstädt (0 - 30 cm)

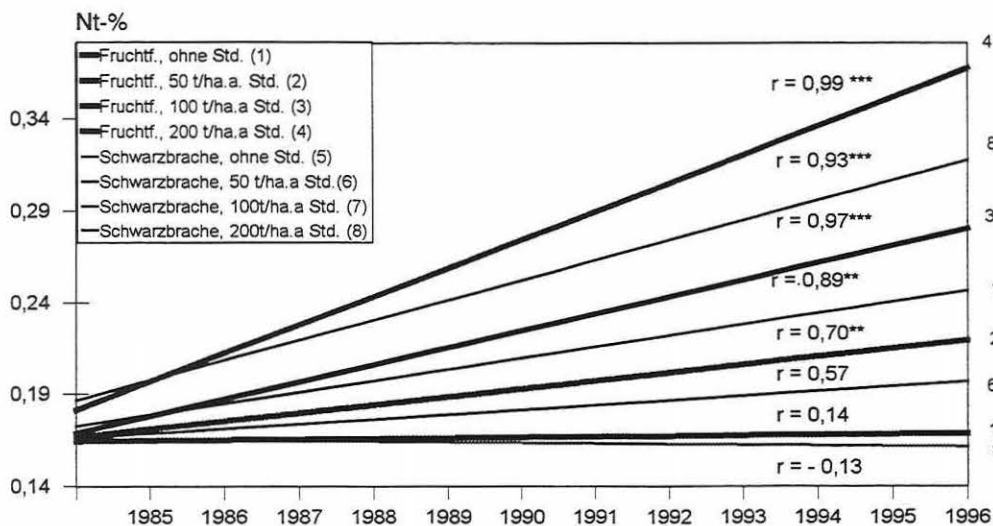


Abb. 6: Entwicklung der Nt Gehalte im Boden in einem Dauerfeldversuch mit extrem hohen Stallungsgaben in der Fruchtfolge und unter Schwarzbrache auf Löß-Schwarzerde in Bad Lauchstädt (0 - 30 cm)

Alle gedüngten Varianten zeigen einen signifikanten Anstieg der C_{org}- und N_t-Gehalte im Bearbeitungshorizont. Auf der höchsten Düngungsstufe mit 200 t/ha.a Stallung wird ein Anstieg von 1,8 % C_{org} erreicht, das entspricht einer Akkumulation der mit dem Stallung zugeführten C-Menge von rd. 35 %. Die vergleichsweise geringen Erhöhungen im Unterboden bleiben dabei unberücksichtigt.

Die Schwarzbrache liegt im Durchschnitt aller Prüfglieder und der Jahre 1995 und 1996 um 0,28 % C_{org} und 0,027 % N_t unter der Fruchtfolge, allerdings mit unerwartet großen Unterschieden zwischen den Düngungsstufen. Die Differenzen im C_{org}- und N_t-Gehalt zwischen Schwarzbrache und Fruchtfolge betragen auf den Stufen:

ohne Düngung	0,06 % C _{org} und 0,011 % N _t
50 t/ha.a Stalldung	0,20 % C _{org} und 0,022 % N _t
100 t/ha.a Stalldung	0,38 % C _{org} und 0,025 % N _t
200 t/ha.a Stalldung	0,48 % C _{org} und 0,048 % N _t

Die Ursachen für diese großen Unterschiede können einerseits in der mit der Düngung zunehmenden Menge an Ernte- und Wurzelrückständen gesehen werden, dies trifft hauptsächlich für das Kartoffelkraut zu. Andererseits könnten die dichteren Bestände der sehr hoch gedüngten Varianten eine Ursache für geringere "Belüftung" der Bodenoberfläche und einer damit verbundenen Verringerung der Mineralisierungsintensität sein.

5. Ertragswirksamkeit der OBS

Für die Sicherung der Produktionsfunktion des Bodens ist die Frage nach der Ertragswirksamkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von besonderer Bedeutung. Diese wird in die "Nährstoffwirkung" und in die "bodenverbessernde Wirkung" unterteilt. Letztere beruht auf einer Verbesserung der physikalischen Bodeneigenschaften, z. B. Wasserkapazität, Lagerungsdichte und Sorptionskapazität, und kann nicht durch entsprechende Zufuhr von Nährstoffen erreicht werden. In umfangreichen Arbeiten (Asmus, 1990 und 1995; Gericke, 1948; Körschens, 1980; Klasink u. Steffens, 1995; Lang et al., 1995; Scholz, 1978 u.a.) konnte nachgewiesen werden, daß die bodenverbessernde Wirkung der OBS auf Sandböden bis zu 10 %, auf Lehm Böden bis zu 6 % Ertragsvorteil bringt. In diesen Untersuchungen konnte nicht in jedem Falle zwischen der bodenverbessernden und der Nährstoffwirkung getrennt werden. Ergänzend wird nachfolgend der Einfluß unterschiedlicher OBS-Gehalte in Kombination mit differenzierter organischer Düngung und abgestufter Mineral-N-Düngung auf Löß-Schwarzerde im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage über einen Zeitraum von 18 Jahren geprüft (Abb.7).

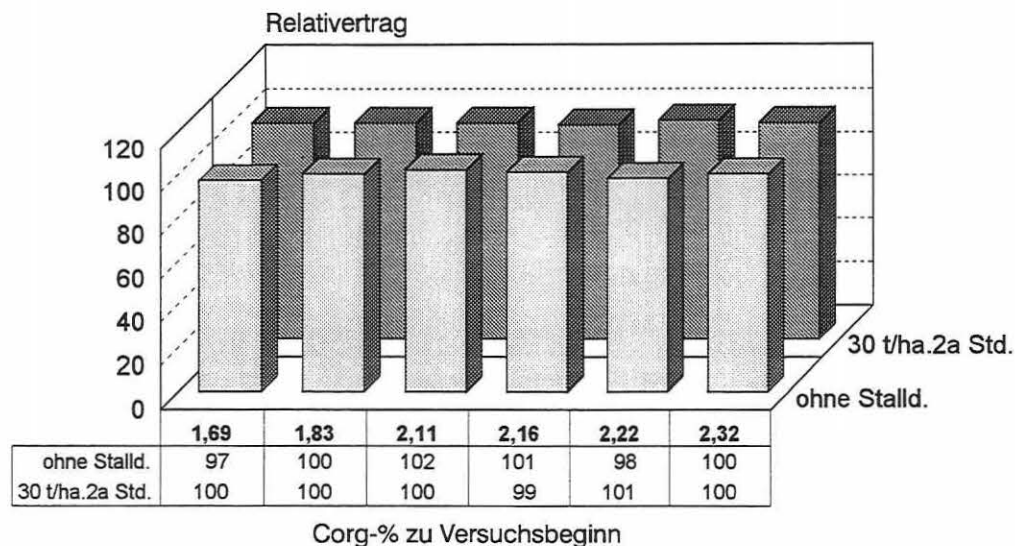


Abb. 7: Relativverträge in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt im Boden und von der organischen Düngung bei jeweils optimaler Mineral-N-Düngung im Durchschnitt der Jahre 1979 bis 1996 im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage

Im Durchschnitt aller Fruchtarten und Jahre ist auf diesem Standort praktisch kein Einfluß der OBS bzw. der Stalldüngung auf den Ertrag festzustellen, die Erträge liegen, bei jeweils optimaler Mineral-N-Düngung, zwischen 97 und 101 %. Dabei macht die Wirkung der OBS bei W.-Weizen - 2 %, beim Zuckerertrag - 3 %, bei Kartoffeln - 2 % und bei S.-Gerste + 9 % aus.

Deutliche Differenzierungen sind bei den durchschnittlichen Mineral-N-Aufwendungen, die jeweils zur Erzielung des Höchstertrages notwendig waren, zu verzeichnen (Abb. 8)

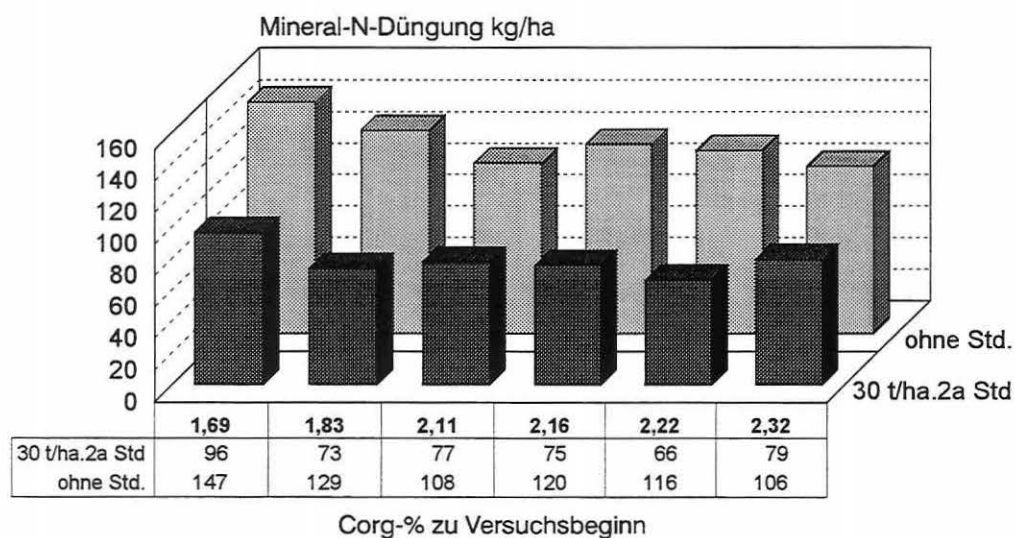


Abb. 8: Mineral-N-Aufwand für den jeweiligen Höchstertrag in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt im Boden und von der organischen Düngung im Durchschnitt der Fruchtarten Kartoffeln, W.-Weizen, Z.-Rüben und S.-Gerste und der Jahre 1979 bis 1996 im Statischen Düngungsversuch nach Erweiterung der Versuchsfrage

Mit Stalldung waren im Durchschnitt 43 kg/ha.a Mineral-N weniger erforderlich als ohne Stalldung, die Differenzen zwischen den verschiedenen C-Stufen betrugen bis zu 40 kg/ha.a Mineral-N. Der größte Unterschied im Mineral-N-Aufwand zwischen den verschiedenen Kombinationen betrug 81 kg/ha.

Nachfolgend werden die Erträge der ersten fünf Rotationen für die einzelnen Fruchtarten über einen Zeitraum von 20 Jahren für jede einzelne Düngungskombination dargestellt. Das Jahr 1978, das erste Versuchsjahr nach der Erweiterung des Versuches, wird dabei als Übergangsjahr nicht einbezogen.

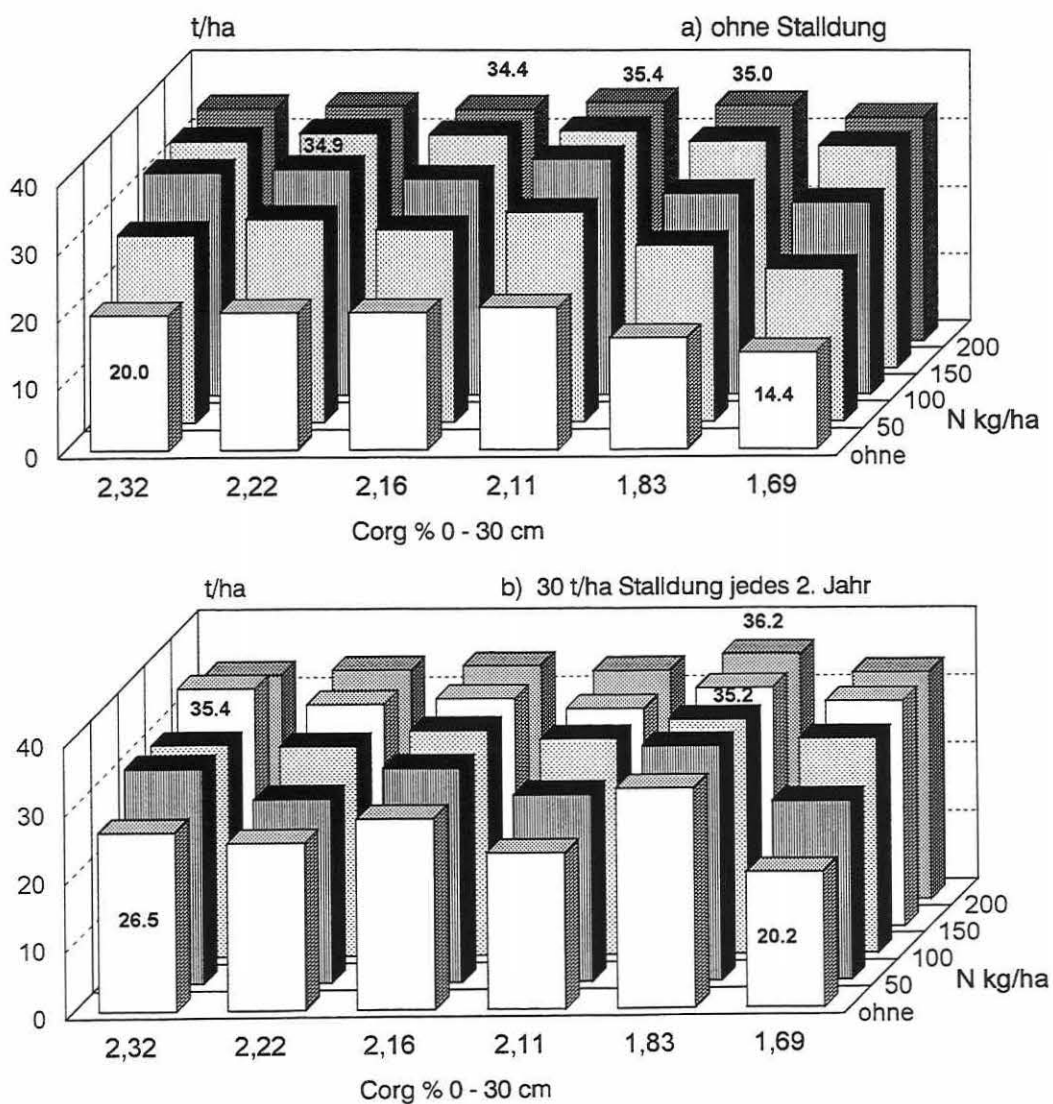


Abb. 9: Kartoffelertrag in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt und Mineral-N-Düngung im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage. Durchschnitt der Jahre 1979, 1983, 1987, 1991 und 1995

Kartoffeln

Abb. 9 zeigt die Kartoffelerträge ohne organische Düngung in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt und der Mineral-N-Düngung. Mit 35,4 t/ha wird der Höchstertrag mit 200 kg N/ha bei einem mittleren C_{org} -Gehalt erreicht. Auf der gleichen C-Stufe reichen aber bereits 100 kg N/ha für 35,1 t/ha. Die Variante ohne Düngung auf der ersten (niedrigsten) C-Stufe (seit 1902 ungedüngt) bringt noch 41 % des Höchstertrages. Ab der dritten C-Stufe mit 2,11 % C_{org} wird praktisch, unabhängig von der N-Düngung, keine Ertragssteigerung durch eine Erhöhung des C-Gehaltes erzielt.

Mit Stalldung ergeben sich ähnliche Relationen bei größeren Schwankungen zwischen den einzelnen Düngungskombinationen. Der Höchstertrag wird bereits auf der zweiten C-Stufe mit 36,2 t/ha erreicht und liegt damit nur unbedeutend über dem ohne Stalldung. Höhere C-Gehalte bringen auch hier keinen Ertragsvorteil.

Winterweizen

Winterweizen bringt hohe Erträge sowohl ohne als auch mit Stalldung (Abb. 10) auf den unteren C-Stufen bei nur geringen Ertragsunterschieden zwischen den verschiedenen Prüfgliedkombinationen. Für den Höchstertrag von 8,65 t/ha werden bei 1,83 % C_{org} 120 kg/ha Mineraldüngerstickstoff benötigt, auf der Stufe mit 2,16 % C_{org} und 80 kg/ha Mineral-N liegt der Ertrag nur 0,25 t/ha darunter. In diesem Bereich ist das ökologische Optimum zu sehen. Von insgesamt 30 Prüfgliedkombinationen erreichen 18 einen Ertrag > 8 t/ha.

Vergleichbare Ergebnisse werden mit Stalldung erzielt, der Höchstertrag liegt mit 8,57 t/ha nur 0,08 t/ha unter dem ohne Stalldung, in 17 Prüfgliedern wird der Ertrag von 8 t/ha überschritten. Lediglich der Mineral-N-Bedarf, der ohne Stalldung 80 bis 120 kg/ha für den Höchstertragsbereich beträgt, verringert sich mit Stalldung auf 40 bis 80 kg/ha. Damit beschränkt sich die Wirkung von Stalldung und der organischen Bodensubstanz unter den untersuchten Bedingungen weitgehend auf die Stickstoffwirkung.

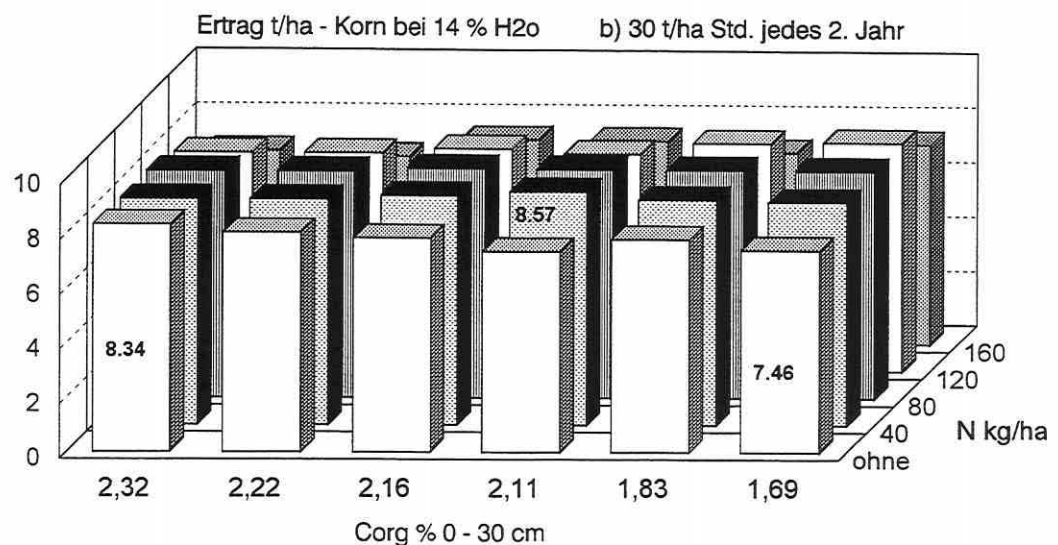
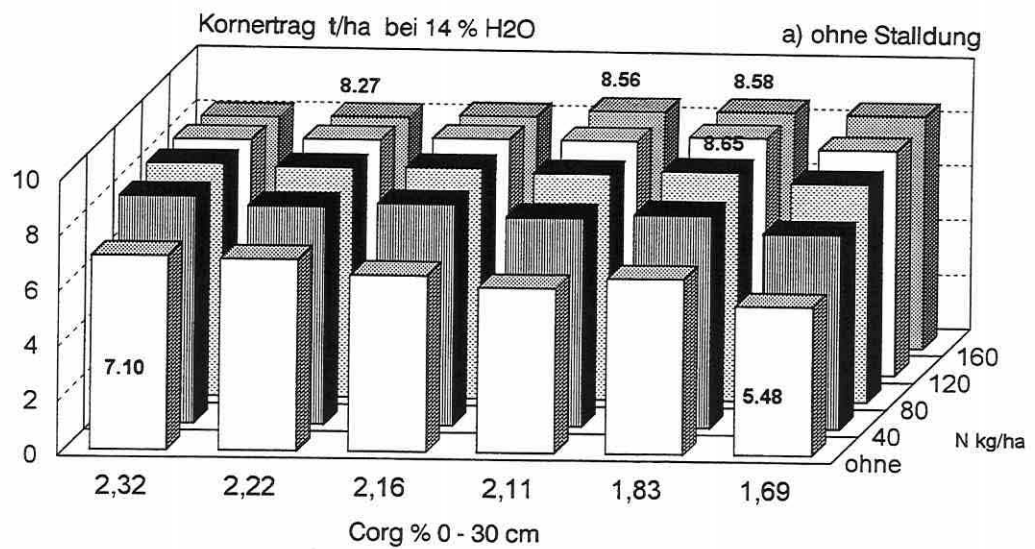


Abb. 10: Winterweizenertrag in Abhängigkeit vom C_{org}-Gehalt und der Mineral-N-Düngung im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage. Durchschnitt der Jahre 1980, 1984, 1988, 1992 und 1996.

Auf der ersten C-Stufe mit 1,69 % C_{org} erzielt der Stalldung ohne Mineral-N einen Mehrertrag von 1,98 t/ha, auf der sechsten C-Stufe beträgt die Differenz noch 1,24 t/ha. Wie bereits frühere Auswertungen des Statischen Düngungsversuches gezeigt haben, läßt sich die Wirkung der organischen Bodensubstanz und/oder der organischen Düngung durch entsprechende Mengen an Mineraldüngung weitgehend substituieren.

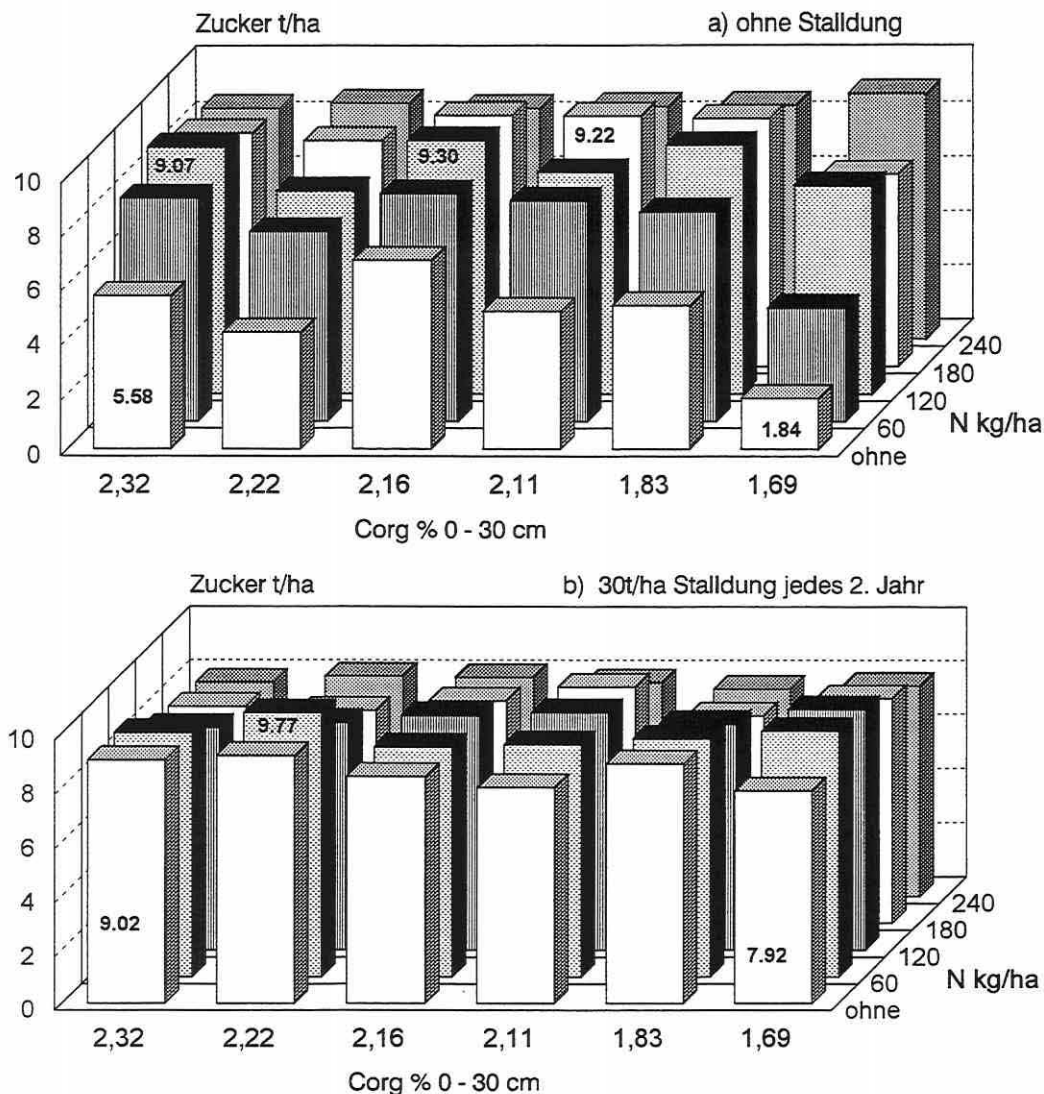


Abb. 11: Zuckerertrag in Abhängigkeit vom C_{org} -Gehalt und von der Mineral-N-Düngung im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage. Durchschnitt der Jahre 1981, 1985, 1989, 1993 und 1997

Zucker

Der Zuckerertrag zeigt ohne Stalldung ein unausgeglichenes Bild (Abb. 11). Höchsterträge von 9,2 bzw. 9,3 t/ha ergeben sich bei mittleren C-Stufen mit 120 bzw. 180 kg/ha Mineral-N. Auffallend ist, daß ohne Düngung die C-Stufen, die im Zeitraum von 1902 bis 1977 eine mineralische NPK-Düngung erhalten haben (Stufe 2 mit 1,83 % C_{org} , Stufe 4 mit 2,16 % C_{org} und Stufe 6 mit 2,32 % C_{org}) bei gleichem oder geringerem C-Niveau einen höheren Ertrag infolge einer besseren N-Nachlieferung aus dem Boden bringen. Dieser Effekt konnte bereits mehrfach nachgewiesen werden.

Mit Stalldung werden die Unterschiede zwischen den verschiedenen C-Stufen und den N-Stufen wiederum weitgehend eliminiert. Die höchsten Erträge werden mit 60 kg/a Mineral-N erreicht, N-Gaben über 120 kg/ha bewirken bereits generell Ertragsminderungen.

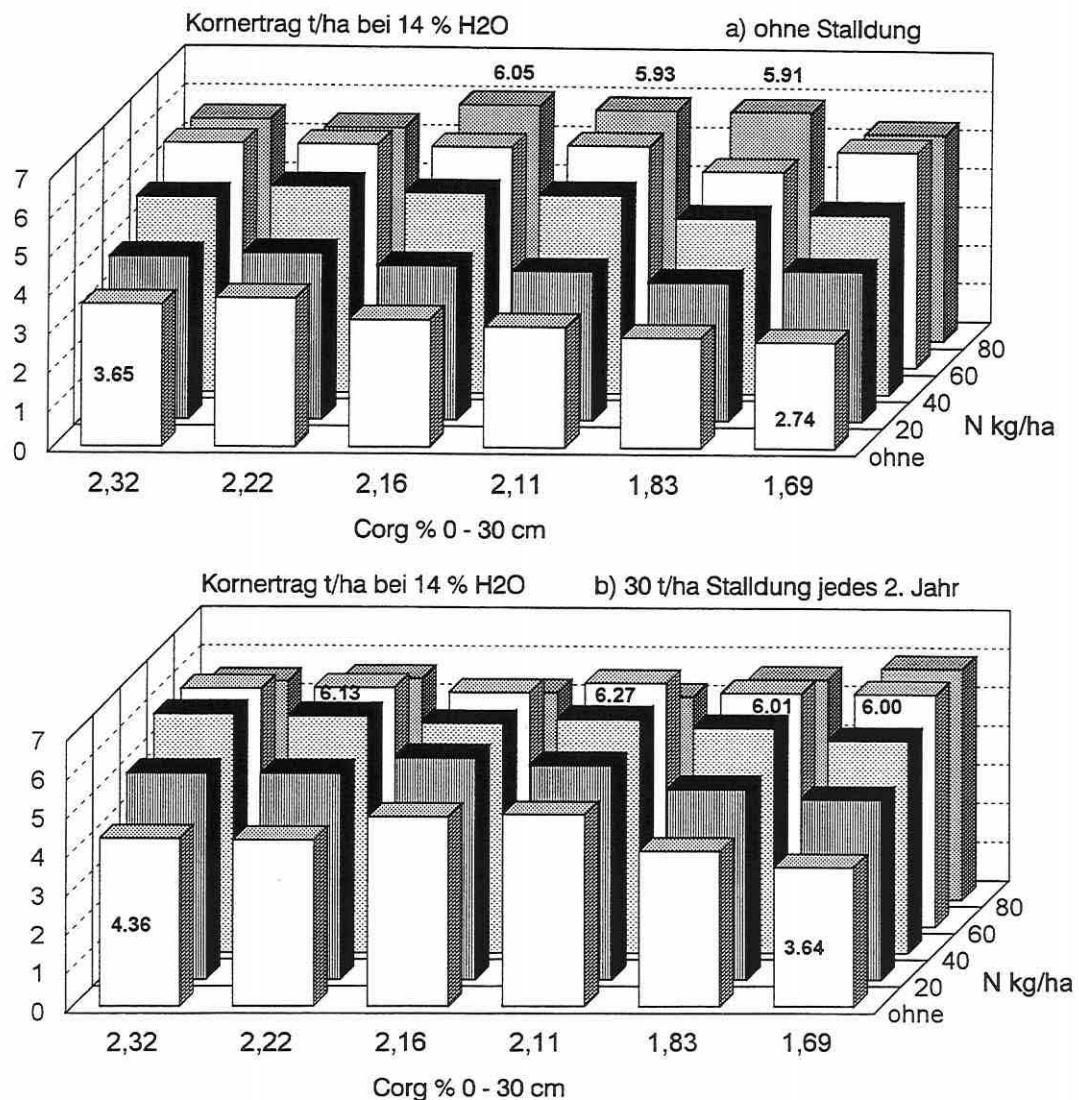


Abb.12: Ertrag von Sommergerste in Abhängigkeit vom C_{org}-Gehalt und der Mineral-N-Düngung im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage. Durchschnitt der Jahre 1982, 1986, 1990, 1994 und 1998

Sommergerste

Die Sommergerste reagiert ohne Stallung sehr deutlich auf die N-Düngung und, bis zu 40 kg N/ha, auch auf die ansteigenden C-Gehalte. Ab 60 kg N/ha wird der Einfluß unterschiedlicher C-Gehalte im Boden auf den Ertrag durch den Düngerstickstoff ausgeglichen (Abb. 12).

Mit Stallung liegt die optimale Mineral-N-Gabe zwischen 40 und 60 kg/ha, der C-Gehalt wirkt sich ab dieser N-Düngung praktisch nicht mehr auf den Ertrag aus. Die Wirkung des

Stallungen bei einer Gabe von 30 t/ha jeweils zur Vorfrucht Zuckerrüben entspricht damit annähernd einer Mineral-N-Gabe von 20 kg/ha.

Die Ergebnisse zeigen, daß sich unter den gegebenen Bedingungen ein C_{org} -Gehalt von 2 bis 2,15 % als optimal erwiesen hat. Dies entspricht einer jährlichen Stallungsmenge von 10 t/ha. Ein Überschreiten dieses Grenzwertes bringt keinen Ertragsvorteil und birgt Umweltrisiken in sich.

6. N- und C-Bilanzen aus Dauerfeldversuchen

6.1 N-Bilanzen

Die N-Bilanzen für den Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt (Abb. 13) zeigen im letzten Jahrzehnt nach rd. 90 Versuchsjahren zunächst noch einen beachtlichen N-Entzug der ungedüngten Variante von 51 kg/ha.a. Im Boden hat sich ein Fließgleichgewicht eingestellt, die N-Gehalte des Bodens bleiben unverändert. So ist der N-Entzug der Nullvariante ein indirekter Nachweis für den zunehmenden N-Eintrag aus der Atmosphäre. Dieser Stickstoff, der neben der Bulkdeposition auch die gasförmige Deposition, die Direktaufnahme durch die Pflanze und asymbiontische N-Bindung einschließt, muß bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Bei optimaler Gestaltung des Düngungsregimes kann er für die Pflanzenproduktion genutzt werden.

Bei ausschließlicher Mineraldüngung wird der günstigste Effekt erzielt, da diese nach Art, Menge und Zeitpunkt der Anwendung optimal eingesetzt werden kann. Es wird langfristig mehr N entzogen als mit der Düngung zugeführt wird, die Differenz zwischen Düngung und Entzug entspricht im Untersuchungszeitraum dem Entzug der Nullvariante, 51 kg/ha.a.

Die organische Düngung bzw. die N-Freisetzung aus der organischen Substanz läßt sich nicht so gut steuern, dementsprechend sind die Bilanzen ungünstiger. Der Entzug der Stallungvariante liegt 22 kg/ha.a über der Düngung, bei der Kombination Stallung + NPK beträgt die Differenz 14 kg/ha.a. Die generell hohe N-Ausnutzung in diesem Versuch ist auf die gegebenen Standortbedingungen zurückzuführen. Die geringen Niederschläge, die hohe Wasserkapazität und die Durchwurzelungstiefe von 2 m führen dazu, daß nur sehr geringe Verluste auftreten.

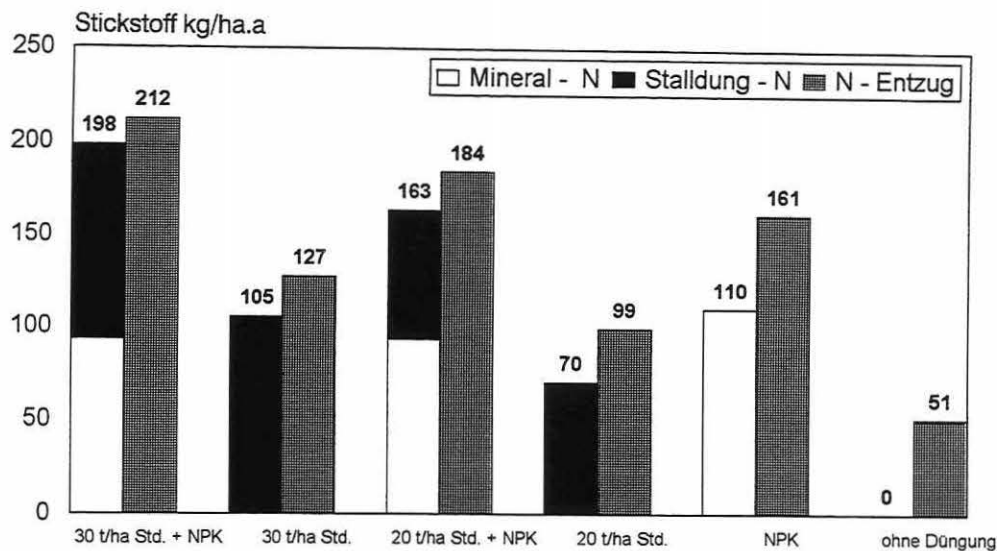


Abb. 13: Stickstoffbilanzen - Statischer Düngungsversuch Bad Lauchstädt, Mittelwerte über alle Fruchtarten im Durchschnitt der Jahre 1985 - 1994

In Tab. 2 sind die N-Bilanzen für vergleichbare Düngungsvarianten für vier verschiedene Standorte aufgeführt. Auf dem Lehm Boden in Prag beträgt der N-Entzug der Nullparzelle ebenfalls 50 kg/ha.a, der Entzug der Mineraldüngungsvariante liegt über der Düngung.

Die Stallungsvariante ist günstiger als die Mineraldüngung, der Entzug liegt 28 kg/ha über der Düngung. Allerdings dürfte dies auf die geringe N-Menge zurückzuführen sein, die mit dem Stallung verabreicht wird.

Auch auf den beiden Sandstandorten Thyrow und Skierniewice bringt die ausschließliche Mineraldüngung das beste ("umweltfreundlichste") Ergebnis, wenn auch auf den Sandböden im Vergleich zum Lehm Boden die Verluste bei allen Prüfgliedern zwangsläufig größer sind und der atmogene N-Eintrag die Verluste der NPK-Variante gerade auszugleichen vermag.

Tabelle 2

Stickstoff- und Kohlenstoffbilanzen ausgewählter Prüfglieder unterschiedlicher, langjähriger Dauerfeldversuche

Stickstoff kg/ha													
Versuchsort	Zeitraum	Bodenart	Entzug ohne N-Düng.	NPK			Stalldung			Stalldung + NPK			Autor
				Düng.	Entz.	Bil.	Düng.	Entz.	Bil.	Dün.	Entz.	Bil.	
Bad Lauchstädt (D)	1965-1994	Lehm	50	110	150	- 40	93	114	- 21	172	183	- 11	-
Thyrow (D)	1977-1988	Sand	17	75	70	+ 5	102	42	+ 60	177	92	+ 85	Schnieder, 1990
Prag (CR)	1983-1992	Lehm	50	100	107	- 7	57	85	- 28	157	144	+ 13	Klir u.a., 1995
Skierniewice (P)	1965-1994	Sand	30	80	82	- 2	100	58	+ 42	-	-	-	Weigel u. a., 1996

Kohlenstoff t/ha													
Versuchsort	Zeitraum	Bodenart	Ertrag ohne Düng.	NPK			Stalldung			Stalldung + NPK			Autor
				Düng.	Ertrag	Bil.	Düng.	Ertrag	Bil.	Dün.	Ertrag	Bil.	
Bad Lauchstädt	1965-1994	Lehm	1,8	0,17	4,5	4,33	1,5	4,0	2,5	1,62	4,7	3,08	-
Thyrow	1977-1986	Sand	0,7	0,12	1,84	1,72	1,5	1,31	- 0,19	1,62	2,15	0,53	Schnieder, 1990
Prag	1983-1992	Lehm	2,52	0,17	3,88	3,71	0,84	3,82	2,98	1,01	4,74	3,73	Klir u.a., 1995
Skierniewice	1965-1994	Sand	1,1	0,12	2,9	2,78	2,0	2,1	0,1	-	-	-	Weigel u.a., 1996

6.2 C-Bilanzen

Nicht nur die N-Bilanzen zeigen bei ausschließlicher Mineraldüngung positive Ergebnisse, auch die Kohlenstoffbilanzen weisen diese Tendenz auf. Auf dem Standort Bad Lauchstädt (Tab. 2) wird im Vergleich zu Stalldung bzw. Stalldung + Mineraldüngung ein um 1,3 bis 1,8 t/ha höherer C-Gewinn nachgewiesen. In Prag ist die Bilanz der Stalldungvariante ebenfalls deutlich ungünstiger, „Stalldung + NPK“ führt praktisch zu dem gleichen C-Gewinn wie ausschließliche Mineraldüngung, bedingt durch den relativ geringen Stalldungaufwand. Auch auf den Sandböden werden mit der Mineraldüngung höhere C-Gewinne, d. h. „umweltfreundlichere“ C-Bilanzen erzielt als mit organischer Düngung. Daraus ergibt sich für die ausschließliche Mineraldüngung eine bessere Nutzung des CO₂-Minderungspotentials im Vergleich zu organisch bzw. organisch-mineralisch gedüngten Varianten, auch wenn man die für die Produktion von Mineral-N benötigte Energie, die hier mit 1,5 kg C je 1 kg N berücksichtigt ist, einkalkuliert.

7. Methode der Bilanzierung der OBS

Bei der Humusbilanzierung gibt es verschiedene Herangehensweisen. Welte (1963) setzt die Kenntnis des Humusgehaltes im Boden voraus und berechnet die notwendige jährliche Zufuhr mit Hilfe der Formel:

$$A = k_m (H_o + A)$$

wobei H_o der Humusgehalt im Gleichgewichtszustand, A die jährliche Zufuhr an organischer Substanz in Form von organischen Düngern und Ernte- und Wurzelrückständen und k_m der mittlere Abbaukoeffizient ist.

Kortleven (1963) geht davon aus, daß der Humusgehalt etwa dem 20fachen der Zufuhr an organischem Material beträgt und rechnet mit der Formel:

$$y_m = K_1 / K_2 * x$$

Dabei ist y_m der Humusgehalt im Gleichgewichtszustand, der nach Jahren gleicher Düngung erreicht wird, K_1 der Humifizierungskoeffizient, K_2 der Abbaukoeffizient und x die Zufuhr an organischer Substanz.

Rauhe (1965) u. a. verwenden den organisch gebundenen Stickstoff zur Bilanzierung der Humusmengen und berechnen den „Humusersatz“ aus der 20fachen Menge der mit den Pflanzen entzogenen Stickstoffmenge. Diese ist abhängig von Pflanzenart und Ertrag. Eine Humuseinheit (HE) entspricht einer Tonne Humus mit 50 kg N.

Die angeführten Bilanzmethoden sind vor mehr als 30 Jahren erarbeitet worden. Innerhalb dieser 30 Jahre haben sich die Bedingungen wesentlich verändert. Der Einsatz von Stickstoffdünger hat sich, ebenso wie die Getreideerträge, etwa verdoppelt. Das Düngungsregime wurde weitgehend perfektioniert sowie Pflanzenschutz und Anbautechnik deutlich verbessert.

Unter gegenwärtigen Bedingungen ist für die Humusbilanzierung unter Berücksichtigung eingangs genannter Ergebnisse von folgenden Prämissen auszugehen:

- Die Ertragswirksamkeit der Organischen Bodensubstanz (OBS) beträgt bis zu 10 % , d. h. mit alleiniger Mineraldüngung können mindestens 90 % des Ertragspotentials, und zwar auf umweltverträgliche Art, erreicht werden.
- Bei der Bilanzierung ist ausschließlich die mineralisierbare OBS zu berücksichtigen. Der Orientierungswert dafür liegt zwischen 0,2 und 0,6 % C_{org} . So ist z. B. ein Sandboden mit nur 3 % Ton mit 0,7 % C_{org} gut bis sehr gut mit organischer Substanz versorgt, während eine Schwarzerde mit 21 % Ton den gleichen Status erst mit 2 % C_{org} erreicht. In beiden Fällen beträgt der umsetzbare C 0,4 bis 0,5 %. Trotzdem wird auf dem Sandboden mehr C und N mineralisiert, da die Mineralisierungsintensität auf Sandböden etwa doppelt so hoch ist wie auf Lehm Böden.
- Grundlage der Bilanzierung muß der Kohlenstoff sein, N kann jederzeit als Mineraldünger zugeführt werden, z. B. im Zusammenhang mit einer Strohdüngung oder anderen organischen Düngern mit einem weiten C/N-Verhältnis.
- Mit den Erträgen ist in den letzten Jahrzehnten auch die Masse der im und auf dem Boden verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände beträchtlich angestiegen. Daraus ist auch auf eine verbesserte Versorgung der Böden mit organischer Substanz zu schließen, insbesondere wenn Koppelprodukte, die früher verwertet wurden, wie z. B. Rübenblatt und Stroh, als organische Dünger auf dem Acker verbleiben.
- Es gibt eine obere Grenze für den Gehalt des Boden an OBS, deren Überschreiten keinerlei Ertragsvorteile bringt, jedoch infolge von N-Verlusten und ungünstigen C-Bilanzen negativ auf die Umwelt wirken kann.

Eine einfache Methode zur Ermittlung des Bedarfs an organischer Substanz wurde in den siebziger Jahren erarbeitet (Autorenkollektiv, 1977). Auf der Grundlage zahlreicher Ergebnisse langjähriger Dauerfeldversuche wurden in Abhängigkeit von der Bodenart und der Fruchtart Faktoren für die Ermittlung des Bedarfs an „reproduktionswirksamer organischer Substanz“ ROS, abgeleitet (Tab. 3). Als Standard wurde Stalldungtrockenmasse

verwendet, 1 t Stallungstrockenmasse entspricht 1 t ROS. Die Bedarfsdeckung durch verschiedene organische Dünger errechnet sich mit Hilfe der Faktoren für die Bedarfsdeckung (Tab. 4). Diese Faktoren berücksichtigen die unterschiedliche Reproduktionswirksamkeit der verschiedenen organischen Dünger. Diese Bilanzmethode wurde in der ehemaligen DDR flächendeckend eingeführt und hat sich in der Praxis bewährt. Sie wird heute u.a. in den Ländern Thüringen und Bayern angewendet. Eine Präzisierung dieser Methode erfolgte im Zusammenhang mit den Arbeiten am Simulationsmodell „Carbon- and Nitrogen Dynamics (Candy)“ (Franko, 1997). In umfangreichen Untersuchungen wurden Masse und Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen aller wichtigen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen in Abhängigkeit vom Ertrag untersucht (Klimanek 1987 u. 1988) und die Mineralisierungskoeffizienten sowie die Humifizierungskoeffizienten berechnet. Für die unterschiedlichen Standortbedingungen werden über die „Wirksame Mineralisierungszeit“ (WMZ) die unterschiedlichen Mineralisierungsintensitäten ausgewiesen und berücksichtigt (vgl. Pkt. 3).

Tabelle 3

Faktoren für die Berechnung des Bedarfes an Reproduktionswirksamer Organischer Substanz (ROS) (t/ha.a) (Autorenkollektiv, 1977)

Fruchtart	S, Sl	lS, sl	L, T	Schwarzerde
Zuckerrüben, Kartoffeln, Gemüse	-3,6	-4,0	-4,4	-2,9
Mais	-2,7	-3,0	-3,3	-2,2
Getreide, Ölfrüchte	-1,4	-1,5	-1,6	-1,1
Futterroggen	-0,9	-1,0	-1,1	-0,7
Stoppelfrüchte	+0,5	+0,5	+0,6	+0,6
Körnerleguminosen	+0,9	+1,0	+1,1	+1,1
Untersaaten (gut entwickelt)	+1,8	+2,0	+2,2	+2,2
mehrfährige Futterpflanzen ¹⁾ (Luzerne, Klee gras, Ackergras)	+2,7	+3,0	+3,3	+3,3

¹⁾ Werte gelten je Nutzungsjahr

Tabelle 4

Reproduktionswirksamkeit unterschiedlicher organischer Dünger, relativ zur
Stalldungstrockenmasse (Autorenkollektiv, 1977)

Organische Dünger	Frishmasse als Äquivalent für Stalldungstrockenmasse
Stalldung, Güllefeststoff	5
Gülle mit 8 % Trockenmasse	25
Gülle mit 4 % Trockenmasse	50
Stroh	1,5
Gründüngung (oberird. Masse)	25
Müllkompost	5,5
Faulschlamm	10
Torf, Torfkompost	4,5

Diese Methode kann heute auf Grund der umfangreichen Untersuchungen zur Quantifizierung der Parameter sowie der Verifizierung mit Ergebnissen zahlreicher Dauerfeldversuche als die am besten geeignete und am einfachsten handhabbare Bilanzmethode angesehen werden.

Die „einfache Methode zur Ermittlung des Bedarfs an organischer Substanz“ wurde später dahingehend verändert, daß die Bedarfsfaktoren erhöht und die Relationen zwischen den Standorten verändert wurden. Ziel war eine „erweiterte Reproduktion der organischen Substanz im Boden“. Der für die erweiterte Reproduktion ausgewiesene Bedarf hat sich jedoch hinsichtlich Ertragsbildung und Umweltbelastung als überhöht erwiesen und sollte nicht angestrebt werden.

Leithold et al. (1996) berechnen unter Verwendung der Faktoren für die erweiterte Reproduktion und den Humuseinheiten nach Rauhe (1965) modifizierte „Humusbilanzkoeffizienten“ (Bedarfsfaktoren), die z. T. mehr als 100 % über denen der einfachen Reproduktion liegen, jedoch nicht mehr standortdifferenziert sind. 1 t ROS entspricht dabei 0,35 Humuseinheiten (HE). Für den ökologischen Landbau wird zusätzlich eine Erhöhung des Bedarfs um 50 % gefordert, um die Nährstoffwirkung des fehlenden Mineraldüngers auszugleichen.

Von Diez u. Krauss (1992) wurde ebenfalls eine einfache Humusbilanzmethode vorgestellt, die den Humusverlust durch die jährliche Mineralisation mit der Zufuhr durch Ernte- und Wurzelrückstände und organische Dünger unter Berücksichtigung unterschiedlicher Humusreproduktionskoeffizienten saldiert.

Tabelle 5

Bedarf an Stalldung (t/ha.a) zum Ausgleich der Humusbilanz, berechnet nach verschiedenen Methoden für unterschiedliche Standorte

Standorte	Bilanzmethoden			
	Optimum	Autorenkollektiv (1977)	Diez u. Krauss (1992)	Leithold et al. (1996)
Löß-Schwarzerde Bad Lauchstädt	10 ¹⁾	10	12,5	19,6
Gleyic Luvisol Seehausen	9 - 15 ²⁾	12,5	12,0	17,7
Albic Luvisol Thyrow	10 ³⁾	12,5	7	20

¹⁾ Körschens, et al., 1994 ²⁾ Leithold et al., 1996 ³⁾ Lettau, et al., 1997

In Tab. 5 sind die Ergebnisse der Bilanzrechnungen nach den verschiedenen Methoden für drei unterschiedliche Standorte verglichen und dem jeweiligen Optimum gegenübergestellt. Es wurden dafür drei Standorte gewählt, von denen auf Grund der Ergebnisse von Dauerfeldversuchen sowie jahrzehntelangen Erfahrungen das Optimum gut bekannt ist.

Die Ergebnisse der dargestellten Vergleiche zeigen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den Optimalwerten und der 1. Methode. Auch die Methode nach Diez u. Krauss zeigt noch eine gute Anpassung, jedoch weicht der ausgewiesene Bedarf zunehmend vom tatsächlichen ab, je geringer der Gesamtgehalt an OBS ist. Ursache dafür ist die Tatsache, daß mit dieser Methode der Abbau auf den Gesamtgehalt bezogen wird und sich damit der Bedarf zwangsläufig mit zunehmendem Tongehalt und damit ansteigendem inertem C deutlich erhöht, obwohl die Mineralisierung der OBS auf Sandböden wesentlich intensiver verläuft.

Eine Berechnung des jährlichen Humusabbaus nur unter Einbeziehung der umsetzbaren OBS würde zweifellos zu treffsicheren Ergebnissen auch für Sandböden führen.

Mit der dritten Methode liegt der kalkulierte Bedarf in allen Fällen sehr stark, teilweise bis zu 100 % , über dem tatsächlichen. Wird dieser für den ökologischen Landbau nochmals um 50 % erhöht, so würde dies z. B. bedeuten, daß 300 dt/ha Stalldung jährlich zum Ausgleich der Humusbilanz aufgewendet werden müßten. Das entspräche einer Zufuhr von etwa 180 kg N/ha, die auch zu Zeiten mineralisiert werden, zu denen keine Pflanzenaufnahme erfolgen kann. Damit wären zwangsläufig hohe N-Verluste, auch gasförmig, verbunden. Auch im Falle des Einsatzes anderer organischer Dünger, z. B. Stroh, wäre die Situation nicht wesentlich besser, da zur Humusbildung in jedem Falle Stickstoff notwendig ist, sei es als Leguminosen-N, Eintrag aus der Atmosphäre u.a., der bei der Umsetzung der OBS zwangsläufig wieder frei wird.

Diez (1995) formuliert dazu: „So kann eine zu starke Humusversorgung die Stickstoffnachlieferung des Bodens unberechenbar machen und damit zu erhöhten N-Verlusten führen.“

8. Einfluß unterschiedlicher Fruchtarten auf den Gehalt des Bodens an organischer Substanz

Unter den Bedingungen einer natürlichen, vom Menschen unbeeinflussten, Vegetation reichert sich eine große Menge organischer Substanz im Boden an, weil

- der Boden ständig bedeckt ist,
- große Wurzelmenngen produziert werden,
- die gewachsene Biomasse im bzw. auf dem Boden verbleibt,
- keine Bodenbearbeitung erfolgt.

Jede ackerbauliche Nutzung eines „jungfräulichen“ Bodens führt zunächst zwangsläufig zu einer Verringerung der OBS, weil die o. g. Bedingungen ganz oder teilweise entfallen.

Der Einfluß der Fruchtarten auf die OBS hängt ab von

- der Menge und stofflichen Zusammensetzung der während der Vegetation gebildeten und nach der Ernte im und auf dem Boden verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände,
- der Intensität der Bodenbearbeitung,
- der Dauer der Vegetationszeit.

Auf der Grundlage der Ergebnisse zahlreicher Dauerfeldversuche (Körschens, 1988) wurde in Verbindung mit umfassenden Untersuchungen zur Menge und Qualität der EWR aller

wichtigen Fruchtarten auf unterschiedlichen Standorten (Autorenkollektiv, 1989) der Einfluß der Fruchtarten auf den C_{ums} -Gehalt des Bodens quantifiziert (Abb. 14).

Die Wirkung steigt von den Hackfrüchten mit geringer Wurzelmasse und intensiver Bodenbearbeitung von 0,1 % C bis 0,7 % C unter Gras und Klee gras mit großer Wurzelmasse und relativer Bodenruhe. Die Langzeitwirkung der Luzerne ist trotz ihrer sehr großen Wurzelmasse geringer, da die Wurzeln auf Grund ihrer stofflichen Zusammensetzung (geringer Ligningehalt) im Boden schneller umgesetzt werden (Körschens, 1990; Klimanek, 1988). Deubel (1995) fand im Fruchtfolge-Düngungsversuch Seehausen nach 35 Versuchsjahren im Durchschnitt aller Düngungsvarianten keine Differenz im C_{org} -Gehalt zwischen Winterweizenmonokultur und der Fruchtfolge: Kartoffeln-Winterweizen-Zuckerrüben-Luzerne-Luzerne.

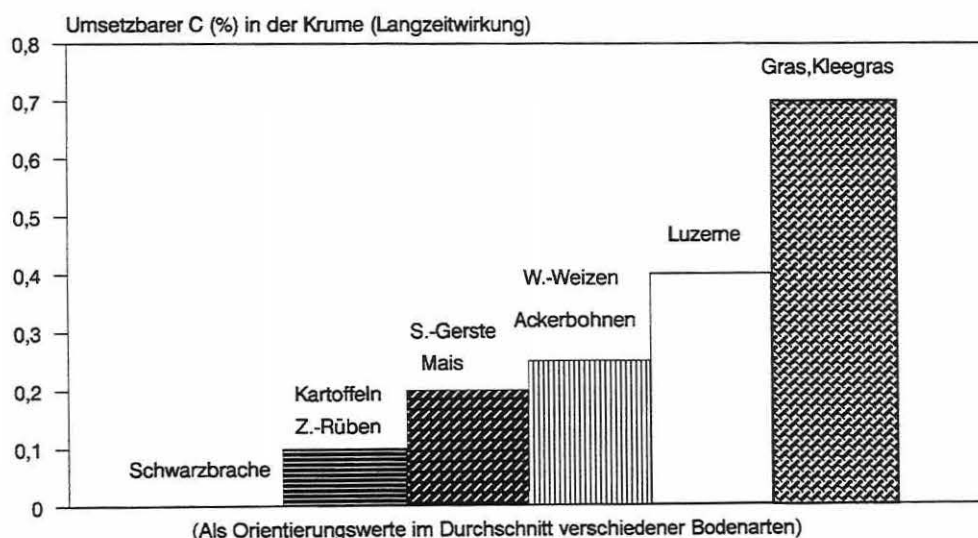


Abb. 14: Einfluß verschiedener Fruchtarten auf den Gehalt des Bodens an umsetzbarem Kohlenstoff, abgeleitet aus Dauerfeldversuchen

9. Orientierungswerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz

Auf der Grundlage der dargestellten Zusammenhänge und weiterer umfangreicher Untersuchungen wurden Orientierungswerte für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz für grundwasserferne Sand- und Lößböden erarbeitet (Abb. 15).

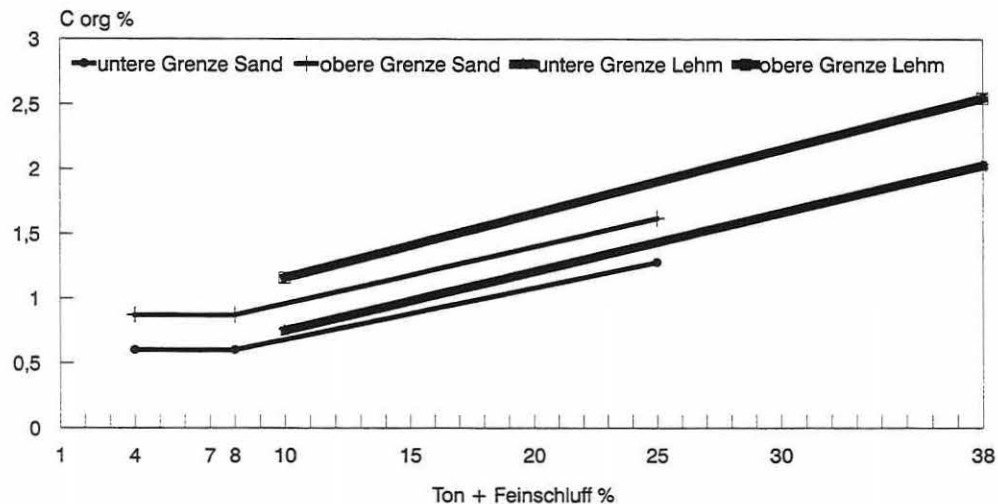


Abb. 15: Orientierungsbereiche für den C-Gehalt grundwasserferner Sand- und Lehmböden in Abhängigkeit vom Ton- und Feinschluffgehalt

Sie markieren den Bereich des anzustrebenden C_{org} -Gehaltes (C_{ums}). Ein oberer Grenzwert sollte nicht überschritten werden, da in diesem Falle der mineralisierte Stickstoff nur noch unzureichend von den Pflanzen aufgenommen werden kann und zwangsläufig Verluste entstehen. Außerdem erfordert der Aufbau bzw. die Erhaltung eines hohen (bzw. überhöhten) C_{ums} -Niveaus einen unvertretbaren Aufwand an organischer Primärschubstanz (OPS = Stalldung, Stroh, Gründüngung, Ernte- und Wurzelrückstände, Kompost etc.) und bedingt ungünstige Kohlenstoffbilanzen.

Tabelle 6

Orientierungswerte für die Einstufung grundwasserferner D- und Lö-Standorte nach dem Grad ihrer Versorgung mit organischer Substanz (% OS im Bearbeitungshorizont) in Abhängigkeit vom Feinanteilgehalt (Korngrößen < 6,3 µm)

FA %	D-Standorte Sollwertbereich		Lö-Standorte Sollwertbereich	
	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze
4	1,5	1,0		
5	1,5	1,0		
6	1,5	1,0		
7	1,5	1,0		
8	1,6	1,1		
9	1,7	1,2		
10	1,7	1,2	2,0	1,3
11	1,8	1,3	2,1	1,4
12	1,9	1,4	2,2	1,4
13	1,9	1,4	2,2	1,5
14	2,0	1,5	2,3	1,6
15	2,1	1,6	2,4	1,7
16	2,1	1,6	2,5	1,8
17	2,2	1,7	2,6	1,8
18	2,3	1,8	2,7	1,9
19	2,3	1,8	2,8	2,0
20	2,4	1,9	2,8	2,1
21	2,5	2,0	2,9	2,1
22	2,5	2,0	3,0	2,2
23	2,6	2,1	3,1	2,3
24	2,7	2,2	3,2	2,4
25	2,8	2,2	3,3	2,5
26			3,4	2,5
27			3,4	2,6
28			3,5	2,7
29			3,6	2,8
30			3,7	2,8
31			3,8	2,9
32			3,9	3,0
33			4,0	3,1
34			4,1	3,2
35			4,1	3,2
36			4,2	3,3
37			4,3	3,4
38			4,4	3,5

10. Bestimmung des umsetzbaren organischen Kohlenstoffs im Boden (C_{ums}) und

Ableitung von Gehaltsklassen

Gegenwärtig besteht noch immer dringender Forschungsbedarf hinsichtlich der Frage nach anzustrebenden OBS-Gehalten in Böden in Abhängigkeit von den Standort- und Nutzungsbedingungen sowie einer ausreichenden Differenzierung in inerte bzw. umsetzbare Fraktionen der OBS, wobei der umsetzbare Teil von entscheidender Bedeutung für den Nährstoffhaushalt der Böden ist.

Die Menge an inertem bzw. umsetzbarem organischen Kohlenstoff im Boden ist auf direktem Wege analytisch nicht meßbar. Eine Ableitung der beiden Fraktionen ergibt sich aus Ergebnissen von Dauerversuchen aus der Differenz der C_{org} -Gehalte der organisch/mineralisch gedüngten Variante und der jeweiligen Kontrollvariante (ohne Düngung - vgl. Pkt. 3). Da Veränderungen im organischen Kohlenstoffgehalt von Böden erst nach längeren Zeiträumen quantifizierbar werden, ist diese Methode für praktische Belange nicht ausreichend geeignet.

Eine einfache und praktikable Methode zur Bestimmung von C_{ums} ergibt sich aus einer Fraktionierung der OBS nach dem Grad ihrer Umsetzbarkeit (Körschens, et. al., 1990; Schulz, 1997), wobei von der OBS mittels einer Heißwasserextraktion eine sehr leicht umsetzbare Fraktion abgetrennt wird (Methodenbeschreibung, siehe Anlage). Da als Extraktionsmittel Wasser verwendet wird, erfolgt die Fraktionierung weitgehend anknüpfend an natürliche Verhältnisse (Schulz, 1990; Körschens et al., 1990). Bereits Beck (1984) und Insam & Domsch (1988) haben nachwiesen, daß Veränderungen im Versorgungszustand der Böden an OBS zuerst in den am leichtesten umsetzbaren Fraktionen sichtbar werden.

Der Heißwasserextrakt stellt eine relativ undefinierte Fraktion der OBS dar. Sie enthält Teile der mikrobiellen Bodenbiomasse, einfache organische Verbindungen sowie unter den Extraktionsbedingungen durch Wasser hydrolysierbare bzw. depolymerisierbare Verbindungen, d.h. die am leichtesten umsetzbaren Teile der OBS und kann somit als Teil der aktiven OBS angesehen werden (Franko, 1997).

Tabelle 7

Beziehungen zwischen der umsetzbaren Fraktion der OBS, der Bodenatmung unter Inkubationsbedingungen und der Netto-N-Mineralisation in ausgewählten Dauerfeldversuchen Europas

	C _{org} (%)	C _{hwl} (mg/100g)	Bodenatmung 35 d (mg C/100g)	Netto-N- Mineralis. (mg/kg)
Stat. Versuch Bad Lauchstädt				
ohne	1,49	21,4	19,93	9,24
NPK	1,72	26,8	18,56	9,25
Stalldung ¹⁾	1,90	45,6	24,76	16,49
Stalldung ¹⁾ + NPK	2,10	47,7	24,87	14,29
Stalldung ²⁾	2,19	38,6	23,73	15,32
Stalldung ²⁾ + NPK	2,29	43,2	30,34	23,20
Prag				
ohne	1,24	30,8	21,73	4,73
NPK	1,37	28,9	16,24	8,88
Stalldung	1,55	28,0	20,02	13,05
Stalldung + NPK	1,67	43,3	22,33	11,63
Rothamsted				
M1 ohne	1,08	24,5	21,23	4,08
M1 NPK	1,04	22,3	23,99	7,69
M1 Stalldung	3,24	96,3	59,82	16,86
R1 ohne	0,77	16,5	18,49	4,32
R1 NPK	0,80	16,7	22,81	4,59
R1 Stalldung	2,83	59,9	34,12	25,07

¹⁾ 200 dt/ha jedes 2. Jahr ²⁾ 300 dt/ha jedes 2. Jahr

Der enge Zusammenhang zwischen der Heißwasserfraktion und der mikrobiellen Bodenbiomasse wird sichtbar anhand der hochsignifikanten Korrelation zwischen C_{hwl} und der Bodenatmung (CO₂-Exhalation) mit B=0,97 (n=15) bzw. der Nitratfreisetzung im Inkubationsversuch mit B=0,91 (n=22) (Schulz, 1990) und aus den Daten der Tab. 7, wobei

sich ebenfalls signifikante Korrelationen zwischen C_{hwl} und der Respiration von $B = 0,84$ sowie zur Netto-N-Mineralisation von $B = 62$ bei jeweils $n = 31$ ergaben.

Ableitend aus umfangreichen Untersuchungen zu potentiell mineralisierbaren C-Mengen (Stanford & Smith, 1972; Freytag, 1987), zu potentiell mineralisierbaren N-Mengen aus Dauerversuchsergebnissen sowie der Beziehung des inerten C zum Feinanteilgehalt der Böden (Körschens, 1980) ergibt sich für die Berechnung des umsetzbaren Kohlenstoffs aus dem Kohlenstoffgehalt der heißwasserextrahierbaren Fraktion die Beziehung:

$$C_{org} = 15 \cdot C_{hwl} + 0,04 \cdot FAT$$

$$(C_{org} = C_{ums} + C_{inert})$$

Zu einem vergleichbaren Multiplikationsfaktor von C_{hwl} zu C_{ums} gelangt auch Manzke (1995). Für eine Validierung sind in Abb. 16 experimentelle Daten (Punktwolke) sowie die Schätzgerade entsprechend der o.g. Beziehung für zwei Standorte (Löß-Schwarzerde - Bad Lauchstädt; Sand-Tieflehmfahlerde - Thyrow) dargestellt. Die Regressionskoeffizienten liegen im Bereich von 0,04 - 0,05).

Zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Standort, Düngung und heißwasserlöslichem Kohlenstoff wurden in 14 Dauerdüngungsversuchen an 12 Standorten von verschiedenen Düngungsvarianten mehr als 700 Bodenproben entnommen und der C_{hwl} bestimmt. Die Einzelergebnisse sind in den Tabellen 8 - 12 und 1A bis 10A dargestellt.

Daraus wird der Einfluß von organischer bzw. mineralischer Düngung auf den Gehalt an umsetzbarem Kohlenstoff, ausgedrückt durch den C-Gehalt der Heißwasserfraktion, deutlich sichtbar. Es zeigt sich, daß der leicht umsetzbare Teil der OBS sowohl durch den Einsatz von Mineraldünger, jedoch wesentlich stärker durch die Anwendung organischer Dünger beeinflusst werden kann.

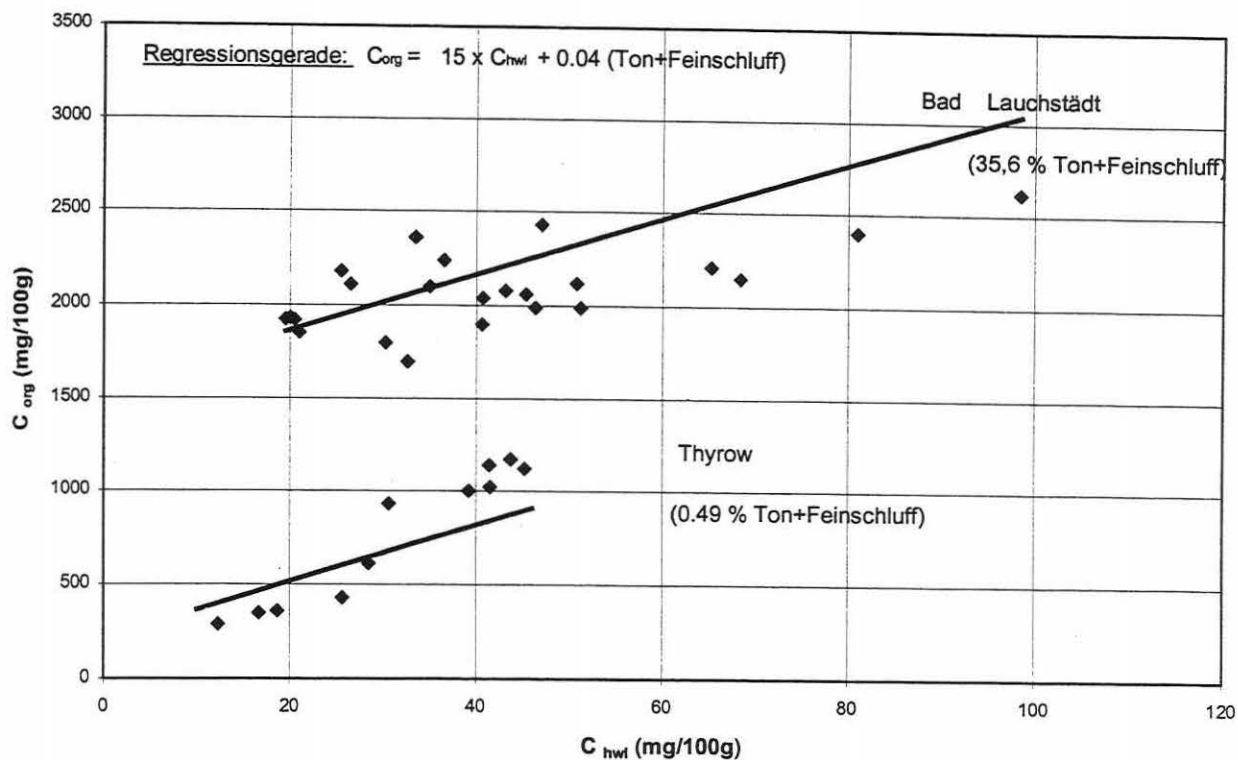


Abb.16: Korrelation zwischen heißwasserlöslichem und umsetzbarem C (Regressionsgeraden) und experimentellen Daten (Punkte) auf Löß-Schwarzerde in Bad Lauchstädt und Sandboden in Thyrow

Tabelle 8

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Gehalt an heißwasserlöslichem C in ausgewählten Varianten des Dauerdüngungsversuches in Thyrow (C_{hwl}) (Mittel von 4 Wiederholungen) (Schulz, 1997)

Düngung	C_{org} [%]	C_{hwl} [mg (100g) ⁻¹]
ohne	0,29	12,3
NPK	0,36	18,7
NPK + Ca	0,35	16,7
STM	0,43	25,7
NPK + Ca + STM	0,61	28,5

Tabelle 9

Einfluß organischer und mineralischer Düngung auf den C- und N-Gehalt im Boden im IOSDV in Dahlem (Köhn et al., 1997)

Düngung	C _t (%)	N _t (%)	C _{hwl} (mg/100g)
ohne	0,63	0,051	17,3
NPK	0,65	0,055	20,8
Stalldung	0,83	0,060	22,8
Stalldung+NPK	0,77	0,059	21,3
Stroh+GD+B	0,70	0,063	19,9
Stalld.+GD+B+NPK	0,91	0,067	26,0

GD...Gründüngung B...Rübenblatt

Tabelle 10

Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff und Gehalt an heißwasserlöslichem C in der OBS des Bearbeitungshorizontes im Dauerdüngungsversuch Thyrow (Ellmer et al. , 1997)

Düngung	C _{org} (%)	C _{hwl} (mg/100g)
PK	0,30	18,7
NPK	0,34	19,2
Stalldung 1	0,53	34,1
Stalldung 2	0,72	37,3
Stroh	0,50	34,3
Stalldung 1 + Ton	0,79	40,5
LSD _{5 %}	0,080	1,2

Dauerversuchsergebnisse zum C_{hwl}-Gehalt von langjährig ungedüngten Varianten zeigen eine beachtliche Übereinstimmung und lassen eine OBS-Verarmungsgrenze bei C_{hwl}-Werten < 20 mg/100g Boden TS vermuten (Tab. 11, Abb. 17).

Tabelle 11

Gehalt an C_{org} und C_{hwl} in ungedüngten Varianten ausgewählter Dauerdüngungsversuche (Schulz, 1997)

Dauerversuche	Boden	C_{org} (%)	C_{hwl} (mg /100g)
Thyrow (Bestand)	Sand-Tieflehm- Fahlerde	0,29	12,3
Bad Lauchstädt (Brache)	Lößschwarzerde	1,48	16,1
Martonvasar, Ungarn (Mais- Mono- kultur, 30 Jahre ohne Düngung)	Löß	1,65	26,0

Die Eignung der C-Gehalte der heißwasserextrahierbaren Bodenfraktion für die Einschätzung des OBS-Versorgungsgrades von Böden kann auch anhand der Korrelationen dieser Daten zur N-Freisetzung, gemessen am N-Entzug von verschiedenen Varianten aus Dauerversuchen, abgelesen werden (Tab. 12).

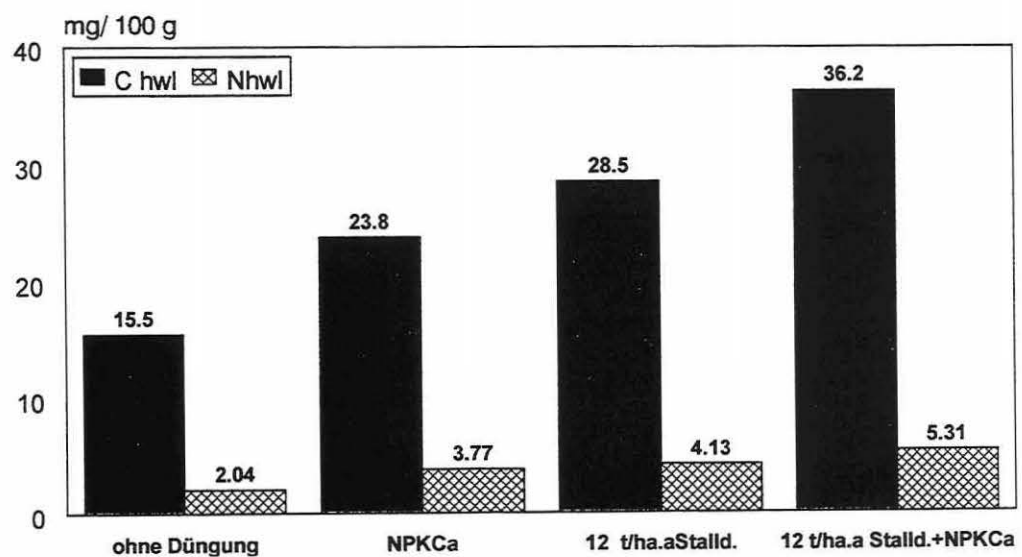


Abb. 17: Gehalt an heißwasserlöslichem C und N in ausgewählten Varianten des Dauerdüngungsversuches Dikopshof

Tabelle 12

Korrelation zwischen organischer Düngung, dem Gehalt an C_{hwl} , N_{hwl} und dem Ertrag in Abhängigkeit von ansteigenden Stallungsmengen zu Winterweizen auf Löß-Schwarzerde (Bad Lauchstädt, Frühjahr 1986)

STM (dt ha ⁻¹ a ⁻¹)	C_{hwl} [mg (100g) ⁻¹]	N_{hwl} (kg ha ⁻¹)	N-Entzug (kg ha ⁻¹)	Kornertrag (dt ha ⁻¹)
ohne	28,4	120	89	56
500	33,2	151	177	88
1000	45,8	219	192	90
2000	51,8	238	199	91

Tabelle 13

Heißwasserlöslicher Kohlenstoff in Abhängigkeit von Standort und Düngung - Ergebnisse von
Dauerdüngungsversuchen

Versuchsort	Vers.-Jahre	Ton-%	Stalld. t/ha.a	Heißwasserlöslicher C mg/100 g Boden			
				ohne Düng.	NPK	Stalld.	Stalld.+NPK
1. Bad Salzung	32	2	10	20	25	36	38
2. Thyrow	60	3	15	12	19	26	29
3. Skierniewice	74	5	20	10	15	34	34
4. Dahlem	12	5	10	17	21	23	21
5. Müncheberg	34	5	12	17	20	23	25
6. Spröda	32	6	10	35	31	41	36
7. Seehausen (1-07)	40	8	20	29	29	41	43
8. Seehausen (1-70)	31	8	10	22	24	37	40
9. Dikopshof	92	10	12,5	12	22	26	36
10. Methau	32	16	10	32	32	49	54
11. Rauischholzhausen	13	19	10	21	28	32	39
12. Bad Lauchstädt	90	21	10	20	28	37	41
13. Bad Lauchst. Modellv.	40	21	ohne	17		(40 Jahre Schwarzbrache ohne Düngung)	
14. Lauterbach	27	15	(2 GV/ha)	101	116	135	146
Durchsch.1 - 12				21	25	34	36

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der C_{hwl} -Bestimmung von 14 Dauerfeldversuchen für die Prüfglieder „ohne Düngung“, „NPK“, „Stalldung“ und „Stalldung+NPK“ zusammengefaßt dargestellt. In Sandböden bzw. nach entsprechend langer Versuchsdauer liegt der Gehalt der ungedüngten Variante generell bei 20 mg C_{hwl} /100 g Boden und darunter. Leimböden benötigen für eine „Verarmung“ eine längere Zeit, bedingt durch eine geringere Mineralisierungsintensität. Im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt hat sich z. B. das Fließgleichgewicht, auch in der ungedüngten Variante, erst nach 70 Jahren eingestellt. Die Wirksame Mineralisierungszeit (WMZ) beträgt auf diesem Standort nur 30 Tage. Im Vergleich dazu ist z. B. die Mineralisierungsintensität auf dem Sandstandort Thyrow mit einer WMZ von rd. 45 Tagen um 50 % höher. Dies ist auch der Grund für den hohen C_{hwl} -Gehalt auf dem Standort Lauterbach. Bedingt durch die hohen Jahresniederschläge von 1000 mm und die niedrige Jahresdurchschnittstemperatur von nur 6,3 °C beträgt hier die WMZ nur 12 Tage. Dementsprechend erfolgt eine vergleichsweise sehr hohe Anreicherung an organischer Substanz im Boden und ein wesentlich geringerer Abbau. Die Verhältnisse sind daher nicht mit denen anderer Standorte vergleichbar.

Die NPK-Düngung zeigt überwiegend eine Erhöhung der C_{hwl} -Gehalte, im Durchschnitt der vergleichbaren Standorte um 4 mg/100 g, im Vergleich zu „ungedüngt“. Durch Stalldung wird dieser in allen Fällen nochmals deutlich um 9 mg/100 g angehoben. Die zusätzliche Mineraldüngung bewirkt, von Ausnahmen abgesehen, einen weiteren Anstieg um 2 mg/100 g. Aus diesen Untersuchungen sowie aus den Ergebnissen der Untersuchung von mehr als 1000 Bodenproben aus Dauerversuchen, Modellversuchen und aus Praxisbetrieben wurde ein Vorschlag zur Klassifikation des OBS-Versorgungsgrades über die Heißwasserfraktion nach 5 Bereichen ausgearbeitet (Tab. 14).

Tabelle 14

Bereiche von C_{hwl} für die Klassifikation von Böden nach ihrem Gehalt an umsetzbarer organischer Substanz für grundwasserferne Sand- und Lehm Böden mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 6 - 10 °C und 400 - 800 mm Jahresniederschlag

C_{hwl} - Bereich [mg (100g) ⁻¹]	Gehaltsklasse
< 20	A (sehr gering)
20 - 25	B (gering)
25 - 30	C (mittel, anzustreben)
30 - 40	D (hoch)
> 40	E (sehr hoch)

Zur methodischen Absicherung und Verifizierung der Methode zur Bestimmung des heißwasserlöslichen Kohlenstoffs und Stickstoffs wurde 1997 eine internationale Arbeitsgruppe „Umsetzbare organische Bodensubstanz“ gebildet.

In dieser Arbeitsgruppe arbeiten mit:

- UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung
- Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau
- Research Institut of Crop Production in Prag
- Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau
- Dr. Wilfried Wenzl, Liezen, Österreich
- Martin-Luther-Universität Halle, Landwirtschaftliche Fakultät
- Büro für nachhaltige Landwirtschaft und Agrikultur, Hanhofen
- Institut für Bodenlandschaftsforschung des ZALF Müncheberg

In den ersten vier der genannten Einrichtungen wird die C_{hwl} -Methode bereits routinemäßig angewendet.

Als eine der ersten Aktivitäten dieser AG wurde an 18 ausgewählten und einheitlich aufbereiteten Bodenproben mit einerseits extrem hohen sowie andererseits auch geringen Gehalten an umsetzbarem C der heißwasserlösliche C bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen im praxisrelevanten Bereich bis 50 mg C_{hwl} je 100 g Boden (dies entspricht bereits einer deutlichen Überschreitung des oberen Grenzwertes) eine relativ gute

Übereinstimmung. Lediglich die Ergebnisse des Labors Nr. 5 weichen generell nach oben ab.
Die methodischen Untersuchungen werden mit den nächsten Arbeiten weitergeführt.

Tabelle 15

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen zur Bestimmung des umsetzbaren C und N

(C_{hwl} mg/100 g)

Archiv-Nr.	1	2	3	4	5	Durchschnitt ohne 5	Gesamtdurchschnitt
1042	47,8	57,8	57,0	53,9	60,3	54,1	55,4
1047	19,1	23,3	24,7	21,1	26,2	22,1	22,9
723	39,5	43,8	44,6	43,0	46,4	42,7	43,5
726	171,5	127,8	132,8	139,8	198,5	143,0	154,1
908	68,6	67,3	74,9	121,0	111,3	83,0	88,6
909	172,3	123,0	131,5	137,2	191,9	141,0	151,2
821	61,5	61,0	64,6	65,8	91,2	63,2	68,8
822	48,7	49,0	49,9	51,2	60,0	49,7	51,8
2101	155,5	108,0	91,5	105,1	163,8	115,0	124,8
2102	216,1	154,7	127,8	160,9	217,8	164,9	175,5
717	14,8	15,7	15,6	16,7	19,3	15,7	16,4
718	32,2	26,7	34,1	36,0	54,1	32,3	36,6
696	28,6	30,0	31,9	31,1	45,7	30,4	33,5
698	32,6	33,0	36,4	34,9	52,9	34,2	38,0
806	16,4	10,2	18,1	14,1	20,9	14,7	15,9
809	42,6	40,0	45,7	40,4	56,4	42,2	45,0
1107	19,3	24,8	23,1	24,2	30,6	22,9	24,4
1108	29,5	33,5	40,2	33,5	41,4	34,2	35,6
Durchsch.	67,6	57,2	58,0	62,8	82,7	61,4	65,7

11. Schlußfolgerungen

Die dargestellten Ergebnisse aus Laboruntersuchungen sowie aus Gefäß-, Modell- und Dauerfeldversuchen erlauben nachstehende Schlußfolgerungen:

- Alle Betrachtungen zur organischen Substanz des Bodens erfordern ihre Differenzierung in mindestens zwei Fraktionen, von denen die eine quasi „inert“, d. h. an den Mineralisierungsvorgängen weitgehend unbeteiligt und von den Standortbedingungen abhängig ist, die andere umsetzbar und überwiegend von den Bewirtschaftungsbedingungen bestimmt wird.
- Veränderungen des C_{org} -Gehaltes im Boden betreffen nahezu ausschließlich den umsetzbaren Anteil und verlaufen sehr langsam. In Abhängigkeit vom Ausgangsniveau können mehr als 50 Jahre bis zum Erreichen eines neuen Fließgleichgewichtes vergehen.
- Die bodenverbessernde Wirkung der OBS auf den Ertrag, quantifiziert über den Vergleich der ausschließlichen, hinsichtlich Art, Menge und Zeitpunkt optimal angewendeten Mineraldüngung mit der optimalen Kombination organisch + mineralischer Düngung, beträgt auf Sandböden bis zu 10 %, auf Lehm Böden bis zu 5 %.
- Kohlenstoff und Stickstoff haben im Boden einen relativ eng begrenzten ökologischen Optimalbereich, der unter den Bedingungen Mitteldeutschlands und vergleichbarer Standorte in praxisüblichen, ackerbaulichen Produktionssystemen zwischen 0,2 % und 0,6 % umsetzbarem C bzw. 0,02 und 0,06 % umsetzbarem N liegt. Unterhalb dieses Bereiches sind Bodenfruchtbarkeit, Ertrag und damit CO_2 -Bindung durch die pflanzliche Biomasse unzureichend, oberhalb treten umweltbelastende Verluste auf.
- Bei Veränderungen des Bewirtschaftungssystems ist die Richtung der Veränderung des C_{org} -Gehaltes abhängig vom Ausgangsniveau. Gleiche Maßnahmen können bei einem niedrigen Ausgangsniveau eine Erhöhung, bei einem hohen Ausgangsniveau eine Verringerung bewirken.
- Die Anwendung von Mineraldüngerstickstoff unter konsequenter Berücksichtigung des gegenwärtigen Erkenntnisstandes führt im Vergleich zu organischer Düngung zu günstigeren („umweltfreundlicheren“) Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen und trägt über höhere Erträge und damit verbundene erhöhte CO_2 -Bindung zur Entlastung der Atmosphäre bei, wenn die OPS (z. B. Stroh) ohne CO_2 -Abgabe in die Atmosphäre, z. B. durch Substitution bisheriger CO_2 -Quellen verwertet wird.
- Die atmogenen N-Einträge betragen > 50 kg/ha.a und müssen bei der Düngerbemessung sowie bei der Bilanzierung berücksichtigt werden.

- Zur Abschätzung des umsetzbaren Anteils des organischen Kohlenstoffs und damit des umsetzbaren Anteils der OBS hat sich der C-Gehalt im Heißwasserextrakt von Böden als ein geeignetes, aussagekräftiges und einfach zu bestimmendes Kriterium erwiesen. Ein erster Vorschlag für Gehaltsklassen wird unterbreitet.
- Zur Verifizierung der Aussagen werden die Optimalgehalte an OBS von Versuchsstandorten mit Dauerfeldversuchen sowie langjährigen Ergebnissen und Erfahrungen herangezogen. Es erfolgt eine Überprüfung der Aussagen der C_{hwl} -Methode im Vergleich mit der Berechnung des umsetzbaren C über die Differenz zwischen C_{org} und C_i sowie im Vergleich mit der Humusbilanzmethode.
- Nach Abschluß der Arbeiten erfolgt ab 1999 eine Praxiserprobung der C_{hwl} -Methode über die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Parallel wird die Standardisierung der Methode eingeleitet.

12. Literatur

1. Ansorge, H. (1966): Untersuchungen über die Wirkung des Stallmistes im „Statischen Düngungsversuch“ Lauchstädt. 2. Mitteilung: Veränderungen des Humusgehaltes im Boden.- Thaer-Archiv, Berlin 10, 401-412
2. Ansorge, H. and Pöbneck, J. (1992): Untersuchungen über den Einfluß einer langjährig differenzierten organischen Düngung auf die Wirkung der mineralischen N-Düngung und den Boden auf drei Standorten.- In: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (ed.) Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik 9. bis 12. Juni 1992 in Bad Lauchstädt. DS Druck-Strom GmbH, Leipzig, 53-59
3. Asmus, F. (1990a): Versuch M 4 Groß Kreutz - Wirkung organischer und mineralischer Düngung und ihrer Kombination auf Pflanzenertrag und Bodeneigenschaften.- In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (ed.) Dauerfeldversuche. Terra-Druck GmbH Olbernhau, 245-250
4. Asmus, F. (1990b): Versuch P 60 Groß Kreutz - Prüfung verschiedener Möglichkeiten der organischen Düngung.- In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (ed.) Dauerfeldversuche. Terra-Druck GmbH Olbernhau, 231-243
5. Asmus, F. (1995): Ergebnisse aus einem langjährigen Dauerfeldversuch zur organisch-mineralischen Düngung auf Tiefflehm-Fahlerde.- Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 39, 359- 367
6. Autorenkollektiv (1977): Empfehlungen zur effektiven Versorgung der Böden mit organischer Substanz.- Hrsg.: Akad. d. Landw.-Wissensch. der DDR, agrabuch, Leipzig, 6
7. Autorenkollektiv (1991): Begriffe aus Ökologie, Umweltschutz und Landnutzung.- Informationen 4, Akad. f. Naturschutz und Landschaftspflege (ANL) (Hrsg.), Laufen, Frankfurt, 23
8. Beck, Th. (1984): Der Einfluß unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen auf bodenmikrobiologische Eigenschaften und die Stabilität der organischen Substanz in Böden. Kali-Briefe, Bünthof 17, 5, 331-340
9. Blum, W. E. H. (1997): Soil degradation caused by industrialisation and urbanisation, in Problems of antropogenic soil formation: International conference 16.-21. June, Moscow
10. Boguslawski v. E. (1995): Das Zusammenwirken der mineralischen Düngung mit verschiedenen Formen der organischen Düngung im IOSDV Rauischholzhausen. Arch. Acker- Pfl. Boden, Berlin 39, 6, 403-411
11. Christensen, P. T. (1989): Askov 1894 - 1989. „Research on Animal Manure and Mineral Fertilizers“.- Proceedings of the Sanborn Field Centennial, Papers presented June 27, 1989 at Jesse Wrench Auditorium University of Missouri-Columbia SR-415, 28-48
12. Diez, Th. (1995): Definition und Beurteilung ökologischer Leistungen im abiotischen Ressourcenschutz Bereich Boden. Schriftenreihe agrarspectrum, Dachverband Agrarforschung 24, 25-32
13. Diez, Th.; Krauss, M. (1992): Berechnung von Humusbilanzen. Schule und Beratung, München 6, III-9 bis III-11
14. Deubel, W.-D. (1995): Einfluß verschiedener Ackerflächenverhältnisse, Düngungsmaßnahmen und Fruchtarten auf die mikrobielle Biomasse des Bodens und Beziehungen zur Reproduktion der organischen Substanz.- Diss. Univ. Halle, Shaker Verlag GmbH, Aachen

15. Ellmer, F.; Baumecker, M.; Benkenstein, H.; Krüger, W.; Pagel, H.; Peschke, H. and Schnieder, E. (1997): Dauerfeldversuche an der Humboldt-Universität zu Berlin. Einfluß der Bodennutzung auf die langfristige Entwicklung von Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit sandiger Böden. 5.3 Statischer Bodenfruchtbarkeitsversuch. Ökologische Hefte 7, Humboldt-Univ. Berlin, 111-126
16. Franko, U.; Oelschlägel, B. (1995): Einfluß von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 39, 155-163
17. Franko, U. (1997): Modellierung von Umsatzprozessen der organischen Bodensubstanz.- Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 41
18. Freytag, H. E. (1987): Gleichzeitige Ermittlung der Parameter C_{pot} und k für die C-Mineralisierungsfunktion aus CO_2 -Messungen unter konstanten Bedingungen. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 31, 23-31
19. Gericke, S. (1948): Probleme der Humuswirtschaft. In: Probleme der Wissenschaft in Vergangenheit und Gegenwart. Wiss. Editions-gesellschaft Berlin, Berlin, 51-168
20. Houot, S. and Chaussod, R. (1995): Impact of agricultural practices on the size and activity of the microbial biomass in a long-term field experiment. Biol. Fertil. Soils, 19, 309 - 316
21. Hülsbergen, K.-J. (1992): Erträge, Stickstoff- und Kohlenstoffbilanz im Kombinationsversuch Seehausen.- In: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (ed.) Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik 9. bis 12. Juni 1992 in Bad Lauchstädt. DS Druck-Strom GmbH, Leipzig, 108-113
22. Insam, H. and Domsch, K.-H. (1988): Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology, 15, 177-187
23. Jenkinson, D. S.; Rayner, J. H. (1977): The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments.- Soil Sci., Baltimore I Maryland, 123, 5, 298-305
24. Kartschall, Th. (1986): Simulationsmodell der Bodenstickstoffdynamik.- Diss., Akad. d. Landw. -Wiss., Berlin
25. Kirchmann, H.; Persson, I.; Calgren, K. (1994): The Ultuna Long-term Soil Organic Matter Experiment, 1956-1991. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Soil Sciences, Reports and Dissertations, Uppsala 17
26. Klasink, A. and Steffens, G. (1995): Der Internationale Organische Stickstoff-dauerdüngungsversuch (IOSDV) Oldenburg nach neun Versuchsjahren. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 39, 449-460
27. Klir, J.; Kubat, J.; Pova, D. (1995): Stickstoffbilanzen der Dauerfeldversuche in Prag.- Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 67, 831-834
28. Köhn, W.; Peschke, H. and Limberg, P. (1997): Dauerfeldversuche an der Humboldt-Universität zu Berlin. Einfluß der Bodennutzung auf die langfristige Entwicklung von Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit sandiger Böden. 4.4 Internationaler Organischer Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV). Ökologische Hefte 7, Humboldt-Univ. Berlin, 75-89
29. Körschens, M. (1980): Die Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz von Standortfaktoren und acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie Ableitung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens an organischer Substanz.- Diss. B, Akad. d. Landw.-Wiss., Berlin,
30. Körschens, M. (1980): Beziehungen zwischen Feinanteil, C_t - und N_t - Gehalt des Bodens.- Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk., Berlin, 24, 9, 585 -592

31. Körschens, M. (1988): Beitrag unterschiedlicher Fruchtarten und Fruchtfolgen zur Versorgung der Böden mit organischer Substanz.- Tag.- Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, 261, 347-352
32. Körschens, M. (1990): C-N-Langzeitdynamik im Statischen Düngungsversuch Lauchstädt.-Tag.- Ber., Akad. Landwirtsch.- Wiss., Berlin, 295, 81-90
33. Körschens, M.; Schulz, E. and Behm, R. (1990): Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. Zbl. Mikrobiol., Jena 145, 305-311
34. Körschens, M.; Stegemann, K.; Pfefferkorn, A.; Weise, V.; Müller, A. (1994): Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 90 Jahren. B. G. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart-Leipzig
35. Körschens, M.; Waldschmidt, U. (1995): Ein Beitrag zur Quantifizierung der Beziehungen zwischen Humusgehalt und boden-physikalischen Eigenschaften.- Arch. Acker- Pfl. Boden., Berlin 39, 165-173
36. Körschens, M. (1997): Abhängigkeit der organischen Bodensubstanz (OBS) von Standort und Bewirtschaftung sowie ihr Einfluß auf Ertrag und Bodeneigenschaften. Arch. Acker- Pfl. Boden., Berlin 41, 435-463
37. Klimanek, E.-M. (1987): Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Fruchtarten. Wiss. Einzelveröffentlichung, Akad. der Landwirtsch.-Wiss. DDR, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, 55 S.
38. Klimanek, E.-M. (1988): Qualität und Umsetzungsverhalten von Ernte- und Wurzelrückständen landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, Diss. B
39. Kortleven, J. (1963): Kwantitatieve Aspecten van Humusopbouw en Humusafbraak.- Verslagen van landbouwkundige onderzoekingen, Wageningen, 69, 1-109
40. Krzysch, G.; Caesar, K. (Hrsg.) (1992): Einfluß von langjährig differenzierten Bewirtschaftungsmaßnahmen und Umweltbelastungen auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung eines lehmigen Sandbodens.- TU Berlin, Schriftenreihe des Fachbereiches Internationale Agrarentwicklung, Berlin, 141, 1 - 327
41. Kuntze, H.; Roeschmann, G.; Schwerdtfeger, G. (1988): Bodenkunde.- 4. Aufl., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 139
42. Lang, H.; Dressel, J. and Bleiholder, H. (1995): Langzeitwirkung der Stickstoffdüngung IOSDV-Standort Limburgerhof (Deutschland) in der Reihe „Internationale organische Stickstoffdauerdüngungsversuche“. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 39, 429-448
43. Leithold, G. (1992): Zur Dynamik des Humus- und N-Haushaltes im Fruchtfolge-Düngungsversuch Seehausen.- In: UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (ed.) Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik 9. bis 12. Juni 1992 in Bad Lauchstädt, DS Druck-Strom GmbH, Leipzig, 78-82
44. Leithold, G.; Hülsbergen, K. J.; Michel, D.; Schönmeier, H. (1996): Humusbilanzierung. Methoden und Anwendung als Agrar-Umweltindikator. Initiativen zum Umweltschutz. Osnabrück, Deutsche Bundesstiftung Umwelt 3, in press
45. Lettau, T.; Ellmer, F. (1997): Kohlenstoffgehalt und -bilanzen nach langjährig differenzierter Düngung eines Sandbodens - Ergebnisse aus einem Dauerfeldversuch. 109. VDLUFA-Kongress 15. bis 19. September 1997 in Leipzig, VDLUFA-Verlag Darmstadt, S. 99
46. Manzke, F. (1995): Bodenmikrobiologische und bodenchemische Kenngrößen zur Beurteilung des Umsatzes organischer Bodensubstanz in unterschiedlichen Bodennutzungssystemen. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen
47. Mercik, St. (1993): Seventy years of fertilizing experiments in Skierniewice.- Warsaw, 31-54

48. Pettersson, B. D.; Reents, H. J.; Wistinghausen, E. v. (1992): Düngung und Bodeneigenschaften, Ergebnisse eines 32jährigen Feldversuches in Järna, Schweden.- Schriftenreihe: Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt, 2, 1-59
49. Powlson, D.S. (1994): Qualifikation of Nutrient Cycle Using Long-term Experiments. In: Leigh, R.A.; Johnston, A.E. (eds.): Long-term Experiments in Agriculture and Ecological Sciences. CAB INTERNATIONAL, 97-115
50. Rauhe, K. (1965): Humusersatzwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der Düngung und des Ackerflächenverhältnisses. Albrecht-Thaer-Arch. 9, 149-364
51. Reichelt, H.: Dauerversuche auf Berglehm-Braunerde im Erzgebirge. In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (ed.) Dauerfeldversuche. Terra-Druck GmbH Olbernhau, Berlin, 275-318
52. Reuter, G. (1990): Dauerversuch Hu1 bzw. Hu1To9 in Rostock.- In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (ed.) Dauerfeldversuche. Terra-Druck GmbH Olbernhau, 319 - 322
53. Rogasik, J. (1995): unpublished
54. Schellberg, J.; Körschens, M. (1996): unveröffentlichte Ergebnisse
55. Schnieder, E. (1990): Die Dauerversuche in Thyrow.- In: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften (ed.) Dauerfeldversuche. Terra-Druck GmbH Olbernhau, 205-229
56. Scholz, S. (1978): Beziehung zwischen OBS-Gehalt und Ertrag, abgeleitet aus Dauerversuchen. Synthetische Information, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt
57. Schulz, E. (1990): Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin 295, 269-275
58. Schulz, E. (1997): Charakterisierung der organischen Bodensubstanz (OBS) nach dem Grad ihrer Umsetzbarkeit und ihre Bedeutung für Transformationsprozesse für Nähr- und Schadstoffe. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 41, 465-483
59. Stanford, G. and Smith, S. J. (1972): Nitrogen mineralization potentials in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 36, 465-472
60. Stumpe, H.; Garz, J.; Hagedorn, E. (1990): Die Dauerdüngungsversuche auf dem Versuchsfeld in Halle.- Dauerfeldversuche, Berlin, 25-71
61. Wabersich, R. (1967): Der Bernburger Dauerdüngungsversuch. 2. Mitt.: Die Kohlenstoffverhältnisse. Thaer-Arch. Berlin 11, 9, 859 - 869
62. Weigel, A.; Mercik, S.; Körschens, M.; Ritzkowski, E.-M. (1996): Stickstoff- und Kohlenstoffbilanzen ausgewählter Varianten siebzigjähriger Dauerfeldversuche auf Sandboden in Skierniowice (Polen) im Vergleich zur Löß-Schwarzerde in Bad Lauchstädt. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 79, 227-230
63. Welte, E. (1963): Der Ab-, Auf- und Umbau der Humusstoffe im Boden und seine Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit. Die Bodenkultur 14, 97-111
64. Wollring, J. (1995): unveröffentlichte Ergebnisse

A n h a n g 1

Tabellen

Tabelle 1A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} - und N_t -Gehalt sowie auf den Gehalt an heißwasserlöslichem C und N in der Krume im Dauerdüngungsversuch Bad Salzungen
 - Anlage: 1966, Probenahme 1997 -

Prüfglied	C_{org} -‰	N_t -‰	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
ohne organische Düngung				
1.1 ohne N	0,636	0,085	20	3,66
1.2 50 kg N/ha	0,636	0,082	24	4,32
1.3 100 kg N/ha	0,638	0,087	24	3,96
1.4 150 kg N/ha	0,711	0,090	24	3,70
1.5 200 kg N/ha	0,764	0,098	27	4,54
1.6 250 kg N/ha	0,730	0,095	25	3,85
30 t/ha Stalldung aller 3 Jahre				
2.1 ohne N	0,795	0,100	36	4,95
2.2 50 kg N/ha	0,823	0,108	35	5,41
2.3 100 kg N/ha	0,898	0,116	37	5,19
2.4 150 kg N/ha	0,971	0,120	40	6,11
2.5 200 kg N/ha	1,014	0,117	37	5,84
2.6 250 kg N/ha	0,984	0,117	43	6,76
7,5 t/ha Stroh + 35 m ² /ha Gülle aller 3 Jahre				
3.1 ohne N	0,710	0,085	32	4,40
3.2 50 kg N/ha	0,747	0,090	36	4,33
3.3 100 kg N/ha	0,777	0,094	35	4,88
3.4 150 kg N/ha	0,871	0,098	36	4,90
3.5 200 kg N/ha	0,891	0,100	42	5,10
3.6 250 kg N/ha	0,913	0,098	41	5,41
LSD ($\alpha = 5\%$)	0,162	0,015	6,69	0,75

Tabelle 2A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} - und N_t -Gehalt sowie auf den heißwasserlöslichen C und N in der Krume im Dauerdüngungsversuch Müncheberg
 - Anlage: 1963, Probenahme: 1997 - Durchschnittswerte aus 8 Wiederholungen -

Prüfglied	C_{org} -%	N_t -%	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
0 ohne Düngung	0,43	0,041	17	2,54
11 NPK 1	0,47	0,045	18	2,78
12 NPK 2	0,48	0,044	19	2,92
13 NPK 3	0,48	0,045	20	2,97
14 NPK 4	0,52	0,046	21	3,14
15 NPK 5	0,49	0,048	24	3,29
21 6 t/ha.a Std.+NPK 1	0,48	0,043	21	3,01
22 6 t/ha.a Std.+NPK 2	0,51	0,046	24	3,22
23 6 t/ha.a Std.+NPK 3	0,55	0,053	22	3,25
24 6 t/ha.a Std.+NPK 4	0,55	0,053	22	3,32
25 6 t/ha.a Std.+NPK 5	0,56	0,054	25	3,57
31 12 t/ha.a Std.+NPK 1	0,54	0,051	23	3,43
32 12 t/ha.a Std.+NPK 2	0,62	0,059	26	3,7
33 12 t/ha.a Std.+NPK 3	0,58	0,056	24	3,63
34 12 t/ha.a Std.+NPK 4	0,57	0,057	27	3,66
35 12 t/ha.a Std.+NPK 5	0,62	0,06	26	3,83
41 2 t/ha.a Stroh+NPK 1	0,52	0,047	23	3,05
42 2 t/ha.a Stroh+NPK 2	0,51	0,047	21	3,05
43 2 t/ha.a Stroh+NPK 3	0,53	0,05	26	3,04
44 2 t/ha.a Stroh+NPK 4	0,52	0,05	23	3,33
45 2 t/ha.a Stroh+NPK 5	0,51	0,05	24	3,43
LSD ($\alpha = 5\%$)	0,08	0,0068	3,67	0,42

Tabelle 3A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf ausgewählte Bodeneigenschaften (0 - 30 cm) im
Dauerdüngungsversuch Spröda

- Anlage: 1966, Probenahme: 1997 -

Prüfglied	C _{org} -%	N _t -%	C _{hwl} mg/100 g	N _{hwl} mg/100 g
ohne organische Düngung				
1.1 N 1	0,825	0,101	35	4,51
1.2 N 2	0,866	0,1	37	5,05
1.3 N 3	0,856	0,095	34	4,38
1.4 N 4	0,754	0,086	27	4,03
1.5 N 5	0,759	0,087	30	3,56
1.6 N 6	0,805	0,089	29	3,82
10 t/ha.a Stalldung				
2.1 N 1	1,013	0,109	41	5,6
2.2 N 2	0,989	0,106	41	5,92
2.3 N 3	0,972	0,107	38	4,83
2.4 N 4	0,919	0,1	35	4,6
2.5 N 5	0,878	0,096	33	4,59
2.6 N 6	0,783	0,086	31	4,25
5 t/ha.2a Stroh				
3.1 N 1	0,756	0,087	32	4,86
3.2 N 2	0,798	0,098	34	4,84
3.3 N 3	0,737	0,085	31	4,16
3.4 N 4	0,736	0,082	26	3,46
3.5 N 5	0,71	0,08	28	3,34
3.6 N 6	0,698	0,079	28	3,3

Tabelle 4A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} - und N_t -Gehalt sowie auf den Gehalt an heißwasserlöslichen C und N in der Krume im Kombinationsversuch Seehausen (F1-70)

- Anlage: 1967, Probenahme: 1997 -

Prüfglied	Düngung	C_{org} -%	N_t -%	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
	Ohne Stalldung				
1.1	ohne Mineral-N	0,807	0,077	22	2,61
1.2	50 kg/ha.a Mineral-N	0,855	0,082	23	2,88
1.3	100 kg/ha.a Mineral-N	0,954	0,092	27	3,05
1.4	150 kg/ha.a Mineral-N	0,924	0,088	24	3,33
	50 kg/ha.a Stalldung-N				
2.1	ohne Mineral-N	0,955	0,089	27	3,25
2.2	50 kg/ha.a Mineral-N	1,060	0,097	30	3,36
2.3	100 kg/ha.a Mineral-N	1,018	0,096	30	3,65
2.4	150 kg/ha.a Mineral-N	1,042	0,097	30	3,80
	100 kg/ha.a Stalldung-N				
3.1	ohne Mineral-N	1,130	0,105	37	4,46
3.2	50 kg/ha.a Mineral-N	1,202	0,114	38	4,47
3.3	100 kg/ha.a Mineral-N	1,264	0,120	40	4,88
3.4	150 kg/ha.a Mineral-N	1,221	0,116	42	5,17
	150 kg/ha.a Stalldung-N				
4.1	ohne Mineral-N	1,257	0,120	46	5,47
4.2	50 kg/ha.a Mineral-N	1,358	0,127	44	5,48
4.3	100 kg/ha.a Mineral-N	1,424	0,133	47	6,10
4.4	150 kg/ha.a Mineral-N	1,381	0,130	43	5,84
	LSD _(α = 5 %)	0,13	0,013	4,7	0,71

Tabelle 5A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} -Gehalt und N_t -Gehalt sowie auf den Gehalt an heißwasserlöslichem C und N in der Krume im Fruchtfolgedüngungsversuch (F1-07)

Seehausen

- Anlage: 1957/58, Probenahme: 1997 -

Prüfglied	Düngung	C_{org} -%	N_t -%	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
	<i>Winterweizenmonokultur</i>				
1.1	ohne Düngung	0,859	0,081	29	3,30
1.2	100 kg N/ha.a Stalldung-N	1,160	0,109	41	5,81
3.1	3. Mineral-N-Stufe	0,915	0,086	29	3,88
3.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 3. Min.-N-Stufe	1,236	0,115	44	6,21
4.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 4. Min.-N-Stufe	1,171	0,111	42	6,19
5.1	5. Mineral-N-Stufe	0,923	0,087	29	4,56
	<i>40 % Hackfrüchte/60 % Getreide</i>				
1.1	ohne Düngung	0,777	0,074	27	3,36
1.2	100 kg N/ha.a Stalldung-N	1,018	0,092	37	4,88
3.1	3. Mineral-N-Stufe	0,835	0,079	29	3,62
3.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 3. Min.-N-Stufe	1,044	0,097	36	4,85
4.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 4. Min.-N-Stufe	1,058	0,100	40	5,35
5.1	5. Mineral-N-Stufe	0,861	0,083	30	3,75
	<i>40 % Hackfrüchte/20 % Getreide/ 40 % Luzerne</i>				
1.1	ohne Düngung	0,936	0,089	28	3,81
1.2	100 kg N/ha.a Stalldung-N	1,136	0,108	37	4,95
3.1	3. Mineral-N-Stufe	0,951	0,091	29	3,76
3.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 3. Min.-N-Stufe	1,151	0,110	37	5,43
4.2	100 kg/ha.a Stalldung-N + 4. Min.-N-Stufe	1,081	0,104	37	5,36
5.1	5. Mineral-N-Stufe	1,233	0,094	29	4,18
	LSD _(α = 5 %)	0,20	0,012	6,4	1,19

Tabelle 6A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} - und N_t -Gehalt sowie auf den Gehalt an heißwasserlöslichen C und N in der Krume im IOSDV-Dauerdüngungsversuch

Rauischholzhausen

Anlage: 1984, Probenahme 1996 -

Prüfglied	C_{org} -%	N_t -%	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
1 ohne org. Düngung, ohne N	0,57	0,106	21	2,5
2 ohne org. Düngung, 156 kg/ha.a Mineral-N	0,65	0,102	28	3,9
3 30 t/ha Stalldung jedes 3. Jahr, ohne N	0,80	0,115	32	4,0
4 30 t/ha Stalldung jedes 3. Jahr, 156 kg/ha.a Mineral-N	0,90	0,123	39	4,0
5 Stroh+Rübenblatt+ Zw.-frucht, ohne N	0,89	0,119	32	4,0
6 Stroh+Rübenblatt+ Zw.-frucht, 156 kg/ha.a Mineral-N	0,97	0,123	37	4,3

Tabelle 7A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf ausgewählte Bodeneigenschaften (0-30 cm) im
Dauerdüngungsversuch Dikopshof (ohne Leguminosenfruchtfolge)

- Anlage: 1904, Probenahme: 1996 -

Prüfglied	C _{org} -%	N _t -%	C _{hwl} mg/100 g	N _{hwl} mg/100 g
Winterweizen				
1. ohne Düngung	0,683	0,093	10	2,02
2. Stalldung	1,002	0,126	25	4,52
3. NPKCa	0,932	0,112	22	3,73
4. NPKCa + Stalld.	1,16	0,131	32	4,51
Winterroggen				
5. ohne Düngung	0,712	0,096	11	1,63
6. Stalldung	1,169	0,127	23	3,32
7. NPKCa	0,853	0,106	20	3,29
8. NPKCa + Stalld.	1,157	0,131	45	5,33
Perserklee				
9. ohne Düngung	0,808	0,131	27	2,31
10. Stalldung	1,07	0,144	37	4,03
11. NPKCa	0,913	0,112	31	3,64
12. NPKCa + Stalld.	1,195	0,14	37	5,31
Kartoffeln				
13. ohne Düngung	0,782	0,094	14	2,18
14. Stalldung	1,051	0,123	30	4,66
15. NPKCa	0,935	0,115	22	4,43
16. NPKCa + Stalld.	1,16	0,138	31	6,08

Tabelle 8A

Einfluß unterschiedlicher Ausgangsgehalte an organischen Kohlenstoff auf den Gehalt an heißwasserlöslichen C und N nach 40jähriger Schwarzbrache auf Lößschwarzerde in Bad Lauchstädt

- Anlage: 1956, Probenahme: 1997 -

Prüfglied	Düngung 1902-1955	C _{org} -% 1955	C _{org} -% 1997	N _t -% 1997	C _{hwl} mg/100 g 1997	N _{hwl} mg/100 g 1997
1	30 t/ha.2a Std. + NPK	2,21	1,51	0,13	22	3,15
2	30 t/ha.2a Std.	2,03	1,50	0,13	23	3,41
3	NPK	1,81	1,46	0,13	16	2,07
4	ohne Düngung	1,67	1,40	0,12	17	2,74

Tabelle 9A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf ausgewählte Bodeneigenschaften (0 - 30 cm) im
Dauerdüngungsversuch Methau

- Anlage: 1966, Probenahme: 1997 -

Prüfglied	C _{org} -%	N _t -%	C _{hwl} mg/100 g	N _{hwl} mg/100 g
ohne organische Düngung				
1.1 N 1	1,156	0,145	32	4,08
1.2 N 2	1,094	0,137	33	4,5
1.3 N 3	1,071	0,135	30	3,48
1.4 N 4	1,22	0,14	n.b.	4,28
1.5 N 5	1,125	0,142	31	4,01
1.6 N 6	1,068	0,136	32	3,92
10 t/ha.a Stalldung				
2.1 N 1	1,539	0,18	49	6,09
2.2 N 2	1,513	0,176	50	6,34
2.3 N 3	1,681	0,188	55	7,23
2.4 N 4	1,814	0,199	60	8,14
2.5 N 5	1,608	0,186	50	6,16
2.6 N 6	1,637	0,185	53	6,99
5 t/ha.2a Stroh				
3.1 N 1	1,116	0,138	34	4,19
3.2 N 2	1,085	0,137	33	3,88
3.3 N 3	1,145	0,143	33	3,94
3.4 N 4	1,141	0,145	32	4,36
3.5 N 5	1,163	0,15	36	5,11
3.6 N 6	1,202	0,154	34	4,85

Tabelle 10A

Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den C_{org} - und N_t -Gehalt sowie auf den heißwasserlöslichen C und N in der Krume im Dauerdüngungsversuch Lauterbach.
 - Anlage: 1971 Probenahme: 1997

Prüfglied	C_{org} -%	N_t -%	C_{hwl} mg/100 g	N_{hwl} mg/100 g
1 N1 (ohne Min.-N)	3,36	0,314	101	11,6
2 N2	3,54	0,331	111	12,4
3 N3 ohne org. Düng.	3,45	0,324	114	12,4
4 N4	3,59	0,340	112	14,0
5 N5	3,38	0,325	104	13,6
6 N1 org. Düng.	3,57	0,333	114	13,1
7 N2	3,54	0,334	119	13,1
8 N3 entspr. 1 GV/ha	3,61	0,347	117	14,1
9 N4	3,72	0,361	118	15,2
10 N5	3,63	0,359	110	14,0
11 N1 org. Düng.	3,87	0,381	135	15,5
12 N2	3,93	0,390	144	16,2
13 N3 entspr. 2 GV/ha	3,80	0,369	144	16,8
14 N4	4,27	0,418	151	19,1
15 N5	3,85	0,401	145	18,0
16 N1 org. Düngung	3,97	0,411	153	17,7
17 N2	4,18	0,437	170	19,3
18 N3 entspr. 4 GV/ha	4,31	0,471	156	19,7
19 N4	4,33	0,483	151	19,3
20 N5	4,30	0,496	151	20,2
21 N1 org. Düngung	4,62	0,527	180	20,1
22 N2	4,64	0,542	187	21,2
23 N3 entspr. 6 GV/ha	4,78	0,572	180	21,2
24 N4	4,89	0,584	173	22,7
25 N5	4,77	0,616	175	24,7
LSD _($\alpha = 5\%$)	0,72	0,12	45	4,59

($\bar{x}$ von 3 Wiederholungen)

A n h a n g 2

Methode zur Bestimmung des heißwasserextrahierbaren Kohlenstoffs und Stickstoffs (Methodenbeschreibung)

Heißwasserextrahierbarer Kohlenstoff und Stickstoff

(Entwurf)

1 Zweck und Anwendungsbereich

Der heißwasserextrahierbare Kohlenstoff und Stickstoff sind Parameter zur Einschätzung eines Bodens auf seinen Gehalt an leicht umsetzbarem Kohlenstoff und Stickstoff, wobei der heißwasserextrahierbare Kohlenstoff eine der Inputgrößen für ein Simulationsmodell zur C- und N-Dynamik im Boden darstellt.

2 Prinzip

Extraktion der am leichtesten umsetzbaren Fraktion der organischen Substanz des Bodens einschließlich der mikrobiellen Bodenbiomasse durch einstündiges Kochen des Bodens mit destilliertem Wasser (Extraktionsverhältnis 1:5) am Rückfluß. Aliquote des zentrifugierten Extraktes werden zur N-Bestimmung nach KJELDAHL bzw. zur C-Bestimmung nach TJURIN (nasse Oxidation organischen Kohlenstoffs mit Dichromat als Oxidationsmittel im schwefelsauren Milieu) verwendet.

3 Reagenzien

3.1 Zentrifugatgewinnung

3.1.1 Magnesiumsulfatlösung: 49 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ werden mit dest. Wasser gelöst und auf 100 mL aufgefüllt

3.2 N-Bestimmung

3.2.1 konz. Schwefelsäure, reinst z.A.

3.2.2 Salicylschwefelsäure: 25 g Salicylsäure in 1 L konz. H_2SO_4 lösen, über Nacht stehen lassen

3.2.3 Eisenpulver (Ferrum reductum, z.B. MERCK Art.-Nr. 3819)

3.2.4 Katalysator (Reaktionsgemisch nach WIENINGER)

3.2.5 NaOH, 40%ig

3.2.6 Salzsäure-Maßlösung, $c = 0,01 \text{ n}$ oder $0,05 \text{ n}$

3.2.7 Conway-Indikator (250 mg Bromkresolgrün in 250 ml Methanol lösen; 250 mg Methylrot in 250 ml Methanol lösen, davon 175 ml zu der Bromkresollösung geben)

3.3 C-Bestimmung

3.3.1 Chromschwefelsäurelösung:

9,80 g gemörsertes Kaliumdichromat werden im 1L - Meßkolben in 50 mL dest. Wasser gelöst und mit konz. Schwefelsäure z.A. langsam auf 1L aufgefüllt

3.3.2 Ammonium Eisen-II-sulfatlösung:

78,44 g $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ werden im 1L-Meßkolben mit ca. 300 mL dest. Wasser und 20 mL konz. Schwefelsäure versetzt und nach vollständigem Lösen mit dest. Wasser auf 1L aufgefüllt. Der Faktor wird mit $0,1 \text{ N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ - Lösung eingestellt.

- 3.3.3 Indikatorlösung
0,2 g Phenylanthranilsäure werden mit 0,2 g Na_2CO_3 verrieben und mit dest. Wasser zu 100 mL aufgefüllt.

4 Geräte

- 4.1 Umlufttrockenschrank
- 4.2 Heizplatten
- 4.3 Zentrifuge (3000 rph)
- 4.4 Aufschlußkolben oder Tubes (je nach vorhandenem Aufschlußgerät)
- 4.5 Aufschlußgerät (Metallblock oder Heizbank, bis ca. 400°C)
- 4.6 Wasserdampfdestillation
- 4.7 Bürette
- 4.8 Stehkolben (250 mL) mit Rückflußkühlern
- 4.9 Erlenmeyer-Kolben (100 mL)

5 Durchführung

Jede Bodenprobe wird zweifach hydrolysiert. Die N- bzw. C- Bestimmung erfolgt von jedem Hydrolysat doppelt.

5.1 *Hydrolysatgewinnung*

20 g lufttrockener Feinboden (< 2 mm) werden im 250 mL -Stehkolben mit 100 mL dest. Wasser versetzt und auf einer Heizplatte am Rückfluß 1 Stunde lang unter mäßigem Sieden erhitzt. Anschließend werden die Kolben im Wasserbad mit aufgesetztem Plaststopfen abgekühlt. Nach Zugabe von ca. 4 - 5 Tropfen der Magnesiumsulfatlösung (Filtrations- bzw. Sedimentationshilfe) wird die Bodensuspension vom Bodensatz in 100 mL Zentrifugengläser abgegossen und 10 Minuten bei ca. 3000 - 5000 rpm zentrifugiert.

5.2 *N- Bestimmung*

Vom klaren Zentrifugat wird ein 20 mL - Aliquot mit einer Spatelspitze Eisen (3.2.3), 2 mL konz. Schwefelsäure (3.2.1) und 4 mL Salicylschwefelsäure (3.2.2) versetzt. Nach Abklingen der heftigen Reaktion (Schäumen) und Zugabe einer Spatelspitze Katalysator (3.2.4) wird in einer geeigneten Apparatur bei ca. 380°C eine Stunde aufgeschlossen. Nach Abkühlen der Aufschlußlösung wird in einer Destillationsapparatur nach Zugabe von ca. 10-20 mL Verdünnungswasser die Lösung mit Natronlauge (3.2.5) alkalisiert, das gebildete Ammoniak mittels Wasserdampfdestillation ausgetrieben und in einer mit Indikatorlösung (3.2.7) versetzten wässrigen oder schwach sauren Vorlage aufgefangen. Anschließend wird der N-Gehalt titrimetrisch mit Salzsäure (3.2.6) ermittelt.
Zu jeder Serie werden 2 Leeransätze mitgeführt.

5.3 *C- Bestimmung*

Enthält die Probe weniger als 2 mg C/g Boden, wird vom klaren Zentrifugat ein 10 mL - Aliquot in einen 100 mL - Erlenmeyerkolben pipettiert. Nach Zugabe von 10 mL der Chromschwefelsäurelösung (3.3.1) wird das Reaktionsgemisch 20 Minuten bei 125 °C im Trockenschrank erwärmt. Ist das Reaktionsgemisch nach

Zugabe der Chromschwefelsäure in Richtung grün gefärbt (höhere C-Gehalte, die die Oxidationskapazität des Dichromats übersteigen, siehe Anmerkung 8.1), wird ein geringeres Aliquot zur Oxidation eingesetzt. Nach dem Erkalten werden 20 ml dest. Wasser und 5 Tropfen Indikatorlösung (3.3.3) zugesetzt. Mit Ammoniumeisen-II-sulfatlösung (3.3.2) wird bis zum Umschlag violett-grün titriert. Zu jeder Serie werden 2 Leeransätze mitgeführt.

6 Berechnung

6.1 *Heißwasserlöslicher Stickstoff (N_{hwl})*

Der N_{hwl} wird üblicherweise in der Einheit mg/100g absolut trockenen Bodens angegeben.

$$N_{hwl} = (a - b) \cdot F \cdot 0,14007 \frac{EV \cdot 100}{Al \cdot E \cdot TS} \quad [mg/100g]$$

Dabei bedeuten:

a	Verbrauch an Titrator (mL)
b	Blindwert (mL)
F	Faktor des Titrators
TS	Trockensubstanzgehalt des lufttrockenen Feinbodens (g)
0,14007	stöchiometrischer Faktor für Stickstoff (mg)
EV	Extraktionsvolumen (mL)
Al	Aliquot (mL)
E	Einwaage (g)

6.2 *Heißwasserlöslicher Kohlenstoff (C_{hwl})*

Der C_{hwl} wird üblicherweise in der Einheit mg/100g absolut trockenen Bodens angegeben.

$$C_{hwl} = (b - a) \cdot F \cdot 0,6 \frac{EV \cdot 100}{Al \cdot E \cdot TS} \quad [mg/100g]$$

Dabei bedeuten:

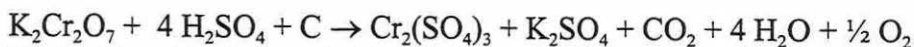
a	Verbrauch an Titrator (mL)
b	Blindwert (mL)
F	Faktor des Titrators
TS	Trockensubstanzgehalt des lufttrockenen Feinbodens
0,6	stöchiometrischer Faktor für Kohlenstoff (mg)
EV	Extraktionsvolumen (mL)
Al	Aliquot (mL)
E	Einwaage (g)

7 **Angaben zur Statistik**

8 **Bemerkungen**

8.1 *Berechnung der Kapazität der Dichromatlösung*

Die Chromschwefelsäurelösung (3.3.1) enthält 9,8 mg $K_2Cr_2O_7$ pro mL Lösung. Dementsprechend stehen in 10 mL dieser Lösung zur Oxidation des organischen Kohlenstoffs 98 mg $K_2Cr_2O_7$ zur Verfügung.



Nach obiger Reaktionsgleichung können mit 10 mL Oxidationslösung maximal 4 mg C umgesetzt werden. Bei einer Einwaage von 20 g Boden, einem Extraktionsverhältnis von 1:5 und Anwendung eines Aliquots von 10 mL entsprechen diese 4 mg C einer Probenmenge von 2 g, d.h. maximal können mit 10 mL Oxidationslösung 2 mg C/g Boden umgesetzt werden.

9 **Literatur**

Körschens, M.; Schulz, E.; Behm, R. (1990): Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. Zentralbl. Mikrobiol., Jena 145, 305-311

Schulz, E. (1990): Die heißwasserextrahierbare C-Fraktion als Kenngröße zur Einschätzung des Versorgungszustandes der Böden mit organischer Substanz (OS). Tag. Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin 295, 269-275

Titova, N.A.; Travnikova, L.S.; Bol'sakov, V.A.; Kogut, B.M.; Kachnovic, Z.N.; Ismagilova, N.H.; Sorokin, S.E.; Schulz, E.; Körschens, M. (1995): Untersuchungen zur Verteilung von Schwermetallen in verschiedenen Bodenfraktionen zur Abschätzung ihrer Mobilität und damit des Risikos für die Umwelt. Arch. Acker-Pfl. Boden, Berlin 39, 93-105

Schulz, E., Klimanek, E.-M., Körschens, M., Titova, N.A., Travnikova, L.S., Kogut, B.M., Bol'sakov, V.A., Kachnovic, Z.N., Sorokin, S.E., Avdeeva, T.N. und S.P. McGrath (1997): The influence of soil organic matter (SOM) on the accumulation and transformation of inorganic and organic pollutants. UFZ-Bericht Nr. 18, 56 S., ISSN 0948-9452

Schulz, E. (1997): Charakterisierung der organischen Bodensubstanz (OBS) nach dem Grad ihrer Umsetzbarkeit und ihre Bedeutung für Transformationsprozesse für Nähr- und Schadstoffe. Arch. Acker-Pfl. Boden., Berlin 41, 465-484

Verzeichnis der UFZ-Berichte

Nr. 1/1994

Prognose extremer Umweltereignisse

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 2/1994

Handlungsstrategien für den Leipziger Raum - Visionen, Innovationen, Praktikabilität

Sigrun Kabisch

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1994

Weiche Standortfaktoren und Flächennutzung

Hans Neumann, Brigitte Usbeck, Hartmut Usbeck

Nr. 4/1994; Band 1 und 2

Modellierung und Kurzfristvorhersage von Sommersmogsituationen

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 1/1995

Vorkommen und Transfer von Dioxinen und Schwermetallen im Raum Merseburg, Lützen, Naumburg, Zeitz

Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Peter Popp, Uwe Thuß

Sektion Analytik

Nr. 2/1995

Soziale Brüche und ökologische Konflikte in einer ländlichen Industrieregion: Der Südraum Leipzig

Ursula Bischoff, Sigrun Kabisch, Sabine Linke, Irene Ring, Dieter Rink

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1995

Modellierung von Bodenprozessen in Agrarlandschaften zur Untersuchung der Auswirkungen möglicher Klimaveränderungen

Uwe Franko, Burkhard Oelschlägel, Stefan Schenk

Sektion Bodenforschung

Nr. 4/1995

Beiträge zum Workshop "Braunkohlebergbaurestseen"

Sektion Hydrogeologie

Nr. 1/1996

Elutionsverhalten und ökotoxisches Potential von Sonderabfällen

Albrecht Paschke, Detlef Lazik, Helmut Segner, Elke Büttner

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Sektion Hydrogeologie

Nr. 2/1996

Biologische Indikation in Kleinfließgewässern der Dübener und Dahleener Heide

Claus Orendt

Projektbereich Naturnahe Landschaften

Nr. 3/1996

Potential und Strategien der Wiederbesiedlung am Beispiel des Makrozoobenthons in der mittleren Elbe (Dissertation)

Ute Dreyer

Sektion Gewässerforschung

Nr. 4/1996

Immissionsprognose - Univariate Modellierung und Kurzestfristvorhersage von Wintersmogssituationen (Dissertation)

Uwe Schlink

Sektion Expositionsforschung und Epidemiologie

Nr. 5/1996

Untersuchungen zur gepflanzten Vegetation und ihrer ökologischen Bedeutung

Michael Winkler

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 6/1996

Ökologische Charakterisierung von Biotopen im urbanen Raum am Beispiel von Modelltiergruppen

Erik Arndt, Hans Pellmann

Universität Leipzig, Institut für Zoologie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 7/1996

Ausgewählte Rechtsfragen in bezug auf die Sanierung von Braunkohletagebau-gebieten in den neuen Bundesländern

Reinhard Müller, Birgit Süß

Max-Planck-Arbeitsgruppe Umweltrecht am UFZ

Nr. 8/1996

Hallesche Kleingärten

Nutzung und Schadstoffbelastung als Funktion der sozioökonomischen Stadtstruktur und physisch-geographischer Besonderheiten

Iris Breuste, Jürgen Breuste, Karamba Diaby, Manfred Frühauf, Martin Sauerwein,

Michael Zierdt

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 9/1996

Die Flächennutzung der Stadt Leipzig im klassifizierten Landsat-TM-Bild

Vera Heinz

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 10/1996

Untersuchungen zu Wechselbeziehungen zwischen Immissionen und Flächennutzung auf strukturtypischen Testflächen in Leipzig

K. Freyer, P. Popp, H.C. Treutler, D. Wagler, G. Schuhmann

UFZ, Sektion Analytik, Projektbereich Urbane Landschaften

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

Nr. 11/1996

Stadtböden

Schadstoffbelastung und Schadstoffmobilität

Guido Schulte

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 12/1996

Erfassung und Bewertung des Versiegelungsgrades befestigter Flächen

J. Breuste, T. Keidel, G. Meinel, B. Münchow, M. Netzband, M. Schramm

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden

Ingenieurgemeinschaft Wasser-Abfall-Boden, Karlsruhe

Nr. 13/1996

Induktion von CYP1A1 durch Xenobiotica in Leberzellkulturen von Regenbogenforellen
(Dissertation)

Stefan Scholz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 14/1996

Ökotoxikologische Wirkungen atmogener anorganischer Schadstoffe auf Kiefernforste

Horst Schulz, Gernot Huhn, Siegrid Härtling

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 15/1996

Kinetische Untersuchungen zum Abbau chlorierter und methylierter Benzoessäuren durch Pseudomonas spec. B13 FR 1 (SN45P) (Dissertation)

Roland A. Müller

Sektion Sanierungsforschung/Umweltbiotechnologisches Zentrum (UbZ)

Nr. 16/1996

Untersuchungen zur Situation des Wohnumfeldes ostdeutscher Großsiedlungen am Beispiel von Leipzig-Grünau (Dissertation)

Thomas Keidel

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1996

Chancen einer Umweltwirtschaft durch §249h-AFG-Projekte untersucht für den Freistaat Sachsen

Helga Horsch

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

Nr. 18/1996

Modellierung der Ausbreitung kfz-bedingter Schadstoffe in der Stadt Leipzig

Dietrich Wagler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 19/1996

Umweltverhalten und Lebensqualität in urbanen Räumen

Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge der UFZ-Sommerschule 1996

Sigrun Kabisch (Hrsg.)

Sektion Ökosystemanalyse, Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie

Nr. 20/1996

Analytische Untersuchungen zum Schadstoffeintrag durch den Hausbrand - Auswirkungen des gegenwärtigen Strukturwandels auf die urbane Belastungssituation

Werner Engewald, Thomas Knobloch, Arndt Asperger

Universität Leipzig, Institut für Analytische Chemie

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 21/1996

Zusammenstellung der vom UFZ sowie von Partnereinrichtungen durchgeführten Untersuchungen in repräsentativen Kleineinzugsgebieten der Elbe

Ralph Meißner, Helmut Guhr, Rudolf Krönert

Sektion Bodenforschung, Sektion Gewässerforschung

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 22/1996

Untersuchungen zur atmosphärischen Stickstoffdeposition und zur Nitratverlagerung
(Dissertation)

Svenje Mehler

Sektion Bodenforschung

Nr. 23/1996

Untersuchungen zur Freisetzung der gelösten organischen Substanz des Bodens (DOM) und zum Einfluß der DOM auf die Mobilisierung ausgewählter Schadstoffe in Abhängigkeit von Boden- und Standorteigenschaften (Dissertation)

Karsten Kalbitz

Sektion Bodenforschung

Nr. 24/1996

Geschwindigkeitslimitierende Einflußgrößen beim mikrobiellen Schadstoffabbau in phenolischen Deponiewässern (Dissertation)

Frank Eismann

Sektion Sanierungsforschung

Nr. 1/1997

Dynamik von Wasser und Schadstoffen im Boden: Diskrete Simulationsmethoden

Hans Vollmayr

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 2/1997

Beziehungen zwischen Urbanen Flächennutzungsstrukturen und klimatischen Verhältnissen am Beispiel der Stadtregion Leipzig

Ulrich Müller

Sektion Expositions- und Epidemiologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 3/1997

Regionalökologie

Tagungsbericht und wissenschaftliche Beiträge des Deutsch-Argentinischen Workshops Mendoza - Argentinien

Brigitte Großer

Nr. 4/1997

Zur Stickstoffdynamik selbstbegrünter Ackerbrachen im mitteldeutschen Schwarzerdegebiet
(Dissertation)

Gerhard Sauerbeck

Sektion Bodenforschung

Nr. 5/1997

Tern-Tagung

**Terrestrische und ökosystemare Forschung in Deutschland
Stand und Ausblick**

Heidrun Mühle, Svenne Eichler (Hrsg.)

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Nr. 6/1997

Chancen für eine nachhaltige Regionalentwicklung in altindustriellen Regionen unter Berücksichtigung des Konzeptes des regionalen Lebenszyklus - das Beispiel Südraum Leipzig
(Dissertation)

Tillmann Scholbach

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 7/1997

**2. Leipziger Symposium „Ökologische Aspekte der Suburbanisierung“
Tagungsband der Veranstaltung am 13.6. und 14.6.96**

J. Breuste

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 8/1997

**Soziologisch-, ökonomisch- und ökologisch lebensfähige Entwicklung
in der Informationsgesellschaft**

Wolf Dieter Grossmann, Stefan Fränzle, Karl-Michael Meiß, Thomas Multhaup, Andreas Rösch

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 9/1997

**Untersuchungen in Enclosures und im Freiwasser des Arendsees (Altmark): Mikrobielles
Nahrungsnetz, Zoo- und Phytoplankton in einem cyanophyceen-dominierten eutrophen See
(Dissertation)**

Jörg Tittel

Sektion Gewässerforschung

Nr. 10/1997

Einfluß von Standort und Bewirtschaftung auf den N-Austrag aus Agrarökosystemen

U. Franko, S. Schenk, D. Debevc, P. Petersohn, G. Schramm

Sektion Bodenforschung

Nr. 11/1997 (Dissertation)

**Der Einfluß von Immissionen auf ausgewählte Insektengruppen
(Homoptera, Auchenorrhyncha; Coleoptera, Carabidae) verschiedener Trophieebenen
(Dissertation)**

Sabine Neumann

Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1997

**Optimierung umweltverträglicher Analysenverfahren für Mineralölkohlen-wasserstoffe im
Boden**

H. Borsdorf, J. Flachowsky

Sektion Analytik

Nr. 13/1997

**Alternativer Landschaftsplan für eine kleine attraktive Stadt in der Informationsgesellschaft -
Beispiel Visselhövede**

Wolf Dieter Grossmann, Karl-Michael Meiß, Stefan Fränzle, Thomas Multhaup

Donald F. Costello, Frank Simon, Michael Sorkin

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 14/1997

**Untersuchungen zum Eintrag von Polycyclischen aromatischen Kohlen-wasserstoffen (PAK)
über den Luftpfad in ländlichen Gebieten des Raumes Halle/Sachsen (Dissertation)**

Katja Schäfer[†]

Sektion Bodenforschung

Nr. 15/1997

Schwermetallgehalte der Böden im mitteldeutschen Ballungsraum - ein Überblick

Manfred Altermann, Reinart Feldmann, Michael Steininger

Büro für Bodenökologie, Bodenkartierung, Bodenschutz Halle

UFZ, Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Martin-Luther-Universität Halle Wittenberg, Institut für Agrartechnik und Landeskultur

Nr. 16/1997

Aspekte der Sozialverträglichkeit der Mobilitätsentwicklung in Leipzig

E. Geisler

Universität Leipzig, Interdisziplinäres Institut für Natur- und Umweltschutz

UFZ, Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 17/1997

¹⁵N-Traceruntersuchungen zur Nitrifikation/Denitrifikation, insbesondere zur Bildung von Stickstoffoxiden in Böden und wäßrigen Medien (Dissertation)

Inken Sich

Sektion Bodenforschung

Nr. 18/1997

The influence of soil organic matter (SOM) on the accumulation and transformation of inorganic and organic pollutants

E. Schulz, E.-M. Klimanek, M. Körschens, N.A. Titova, L.S. Travnikova, B.M. Kogut,

V.A. Bol'schakov, Z.N. Kachnovic, S.J. Sorokin, T.N. Avdeeva, S.P. McGrath

UFZ, Department of Soil Sciences

Rothamsted Experimental Station Registered Office, Department Soil Chemistry

Dokutchaev Soil Science Institute, Department Soil Biology, Moscow

Nr. 19/1997

Die Vegetation als Senke und biochemischer Reaktor für luftgetragene Schadstoffe

Judwig Weißflog, Klaus-Dieter Wenzel

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 20/1997

Mobilität und Bioverfügbarkeit luftgetragener Schadstoffe in emittentennahen Agrarböden Sachsen-Anhalts

Michael Manz

Nr. 21/1997

Bestimmung der Deposition von Fremd- und Schadstoffen in Kiefernforste mit Hilfe von Baumborke

Horst Schulz, Gernot Huhn, Uwe Schulz

Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 22/1997

Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzession

Walter Durka, Michael Altmöös, Klaus Henle

Sektion Biozönoseforschung

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Nr. 23/1997

Reststoffe der Kupferschieferverschüttung

Teil 1: Mansfelder Kupferschlacken

Peter Schreck, Walter Gläßer (Hrsg.)

Sektion Hydrogeologie

Nr. 24/1997

Landschaftsstrukturen und Regulationsfunktionen in Intensivagrarlandschaften im Raum Leipzig-Halle

Regionalisierte Umweltqualitätsziele - Funktionsbewertungen - multikriterielle

Landschaftsoptimierung unter Verwendung von GIS (Dissertation)

Burghard Meyer

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 25/1997

Vorkommen und Verteilung von toxisch relevanten organischen Komponenten und Schwermetallen in ausgewählten Untersuchungsgebieten

Peter Popp, Bernd Feist, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Uwe Thuß

Sektion Analytik

Nr. 26/1997

Mineralölbelastetes Grundwasser - Struktur, Dynamik, biochemisches Abbaupotential sowie Codierung und Verbreitung degradativer Leistungen in mikrobiellen Biozönosen dieses Ökosystems (Dissertation)

Antje Birger

Sektion Hydrogeologie

Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 27/1997

Sanierungsforschung in regional kontaminierten Aquiferen (SAFIRA)

Holger Weiß, Georg Teutsch, Birgit Daus (Hrsg.)

UFZ, Projektbereich Industrie- und Bergbaufolgelandschaften

Eberhard-Karls-Universität, Geologisches Institut

Nr. 1/1998

Experimentelle Tracerstudien und Modellierungen von Austauschprozessen in einem meromiktischen Restsee (Hufeisensee)

Manfred Maiss, Volker Walz, Michael Zimmermann, Johann Ilmberger, Wolfgang Kinzelbach, Walter Gläßer

Sektion Hydrogeologie

Nr. 2/1998

Erfassung und Auswertung der Landnutzung und ihrer Veränderungen mit Methoden der Fernerkundung und geographischen Informationssystemen im Raum Leipzig-Halle-Bitterfeld

Ellen Banzhaf, Hans-Dieter Kasperidus

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Arbeitsgruppe Regionale Zukunftsmodelle

Nr. 3/1998

Untersuchungen zur elektrothermischen Verdampfung als Probenzuführungs-technik für die induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ETV-ICP-MS) unter besonderer Berücksichtigung der Transportphänomene (Dissertation)

Karsten Grünke

Sektion Analytik

Nr. 4/1998

Sorption von hydrophoben organischen Verbindungen an gelösten Huminstoffen (Dissertation)

Anett Georgi

Sektion Sanierungsforschung

Nr. 5/1998

**Rice Terraces of Ifugao (Northern-Luzon, Philippines)
- Conflicts of Landuse and Environmental Conservation**

Josef Settele, Harald Plachter, Joachim Sauerborn, Doris Vetterlein

UFZ, Interdisciplinary Department of Conservation Biology and Natural Resources

Philipps-University Marburg

Justus-Liebig-University Giessen

Brandenburg-Technical-University Cottbus

Nr. 6/1998

Landschaftsbewertung unter Verwendung analytischer Verfahren und Fuzzy-Logic

Ergebnisse des Workshops "Einsatzmöglichkeiten von Fuzzy Sets in der Landschaftsbewertung" vom 26. bis 28. Februar 1997 am UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Ralf Grabaum und Uta Steinhard (Hrsg.)

Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 7/1998

Wassergewinnung in Talgrundwasserleitern im Einzugsgebiet der Elbe

W. Nestler, W. Walther, F. Jacobs, R. Trettin, K. Freyer

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), LB Geotechnik und Wasserwesen

Technische Universität Dresden, Institut für Grundwasserwirtschaft

Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie

UFZ, Sektion Hydrogeologie, Sektion Analytik

Nr. 8/1998

Diversität und regionale Nachhaltigkeit: Entwicklungsperspektiven des Industriestandortes Böhlen

Irene Ring, Helga Horsch

Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 9/1998

Interdependenzen von gebauter, sozialer und natürlicher Umwelt und deren Einfluß auf Wohnzufriedenheit und Seßhaftigkeit

Quartiersbezogene stadtsoziologische Untersuchungen in Leipzig-Stötteritz im Rahmen des Themenschwerpunktes "Sozialräumliche Differenzierung und stadtökologischer Strukturwandel"

Abteilung Ökologische Ökonomie und Umweltsoziologie an der Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 10/1998

Microbiology of Polluted Aquatic Ecosystems

Proceedings of the Workshop held on the 4th and 5th December 1997 at the UFZ Centre for Environmental Research Leipzig-Halle

Petra Maria Becker (Editor)

Department of Remediation Research

Nr. 11/1998

Untersuchungen zum Boden/Pflanze - Transfer ausgewählter organischer Umweltschadstoffe in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften (Dissertation)

Kathrin Heinrich

Sektion Bodenforschung

Nr. 12/1998

Isotopenbiogeochemische Untersuchungen über Umsetzungsprozesse des Schwefels in Agrarökosystemen mittels der stabilen Isotope ^{34}S und ^{18}O (Dissertation)

Katrin Knief

Sektion Hydrogeologie

Nr. 13/1998

Leistungssteigerung bei der biologischen Bodenreinigung in Perkolationssystemen

Christian Löser, Andreas Zehnsdorf, Petra Hoffmann, Heinz Seidel

Sektion Sanierungsforschung

Nr. 14/1998

**Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig
- Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung
auf der Ebene von Stadtstrukturen -**

Evelyne Wickop, Peter Böhm, Katrin Eitner, Jürgen Breuste
Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 15/1998

**Bewertung von Maßnahmennotwendigkeiten des Umwelt- und Ressourcenschutzes im Raum
Leipzig-Halle-Bitterfeld**

Burghard C. Meyer, Rudolf Krönert
Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 16/1998

**Durchflußzytometrische Charakterisierung der Populationsdynamik von *Acinetobacter
calcoaceticus* und *Ralstonia eutropha* (Dissertation)**

Carsten Herrmann
Sektion Umweltmikrobiologie

Nr. 17/1998

**Vom Individuum zur logistischen Gleichung - ein neues Verfahren zur Bestimmung der
Populationsdynamik aus einem individuen-basierten Modell (Dissertation)**

Lorenz Fahse
Sektion Ökosystemanalyse

Nr. 18/1998

Workshop-Bericht: Bioremediation of polluted areas

Luise Berthe-Corti (Hrsg.)
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Fachbereich 7
UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 19/1998

**Geoökologische Bewertung urbaner Böden am Beispiel von Großsiedlungen in Halle und
Leipzig -
Kriterien zur Ableitung von Boden-Umweltstandards für Schwermetalle und Polycyclische
Aromatische Kohlenwasserstoffe (Dissertation)**

Martin Sauerwein
Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 20/1998

Methanmonooxygenase-Charakterisierung aus Typ II-Methanotrophen (Dissertation)

Stephan Große
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 21/1998

12. Osnabrücker Umweltgespräch
Schnelle Vor-Ort-Analytik
Helko Borsdorf, Johannes Flachowsky
Sektion Analytik

Nr. 22/1998

2. Workshop **Huminstoffe**
Jürgen Pörschmann, Dieter Freitag, Frank-Dieter Kopinke (Hrsg.)
Sektion Sanierungsforschung

Nr. 23/1998

Third Workshop on Physical Processes in Natural Waters

31.8.-3.9.1998 in Magdeburg

Bertram Boehrer, Michael Schimmele

Sektion Gewässerforschung

Nr. 24/1998

Herkunft der balneologisch wertbestimmenden Eigenschaften in sächsischen Mineral- und Thermalwässern (Dissertation)

Kurt von Storch

Sektion Hydrogeologie

Nr. 25/1998

Vorhersagbarkeit und Beurteilung der aquatischen Toxizität von Stoffgemischen

- Multiple Kombinationen von unähnlich wirkenden Substanzen in niedrigen Konzentrationen -

L. Horst Grimme, Rolf Altenburger, Thomas Backhaus, Wolfgang Bödecker, Michael Faust, Martin Scholze
Institut für Zellbiologie, Biochemie und Biotechnologie, Universität Bremen

UFZ, Sektion Chemische Ökotoxikologie

Nr. 1/1999

Workshop

Stoffhaushalt von Auenökosystemen der Elbe und ihrer Nebenflüsse

Nähr- und Schadstoffe, Ökotoxikologie, Belastbarkeit von Flußauen

1. bis 3. Februar 1999 in der Sektion Gewässerforschung Magdeburg

Kurt Friese, Kathleen Kirschner, Barbara Witter

Sektion Gewässerforschung

Nr. 2/1999

Kriterien der Nachhaltigkeit und ihre Anwendungsmöglichkeiten auf Landschaftsebene am Beispiel der Agrarinseln im Naturpark „Dübener Heide“ (Dissertation)

Carola Bühler-Natour

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 3/1999

Mikrometeorologische Analyse und Bewertung kleinräumiger Stadtstrukturen (Dissertation)

Bernhard Bauer

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 4/1999

Bodenbeanspruchung durch Versiegelungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Wasserdurchlässigkeit und der bodenbiologischen Aktivität (Dissertation)

Birgit Münchow

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 5/1999

Arsen-Speziationsanalytik mit Ionenchromatographie und Kapillarelektrophorese in Kopplung mit elementspezifischer Detektion (Dissertation)

Dirk Schlegel

Sektion Analytik

Nr. 6/1999

Bitterfeld/Wolfen als Beispiel für den Wandel einer Industrieregion in den neuen Bundesländern

Untersuchung von Flächennutzungsänderungen der beiden Städte und Umstrukturierungen ausgewählter Altindustriestandorte

Ellen Banzhaf (Hrsg.), Stefanie Dühr, Thomas Ihl

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 7/1999

Erkundung von Urbanisierungsprozessen und ihrer ökologischen Folgen mit Fernerkundungsmethoden am Beispiel der Stadtregion Leipzig (Dissertation)

Vera Heinz

Sektion Angewandte Landschaftsökologie

Nr. 8/1999

Untersuchungen zu Vorkommen und Wirkung von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen als Ergänzung zu den Immissionsmessungen des Landes Sachsen-Anhalt (LÜSA)

Peter Popp, Brigitte Niehus, Gisela Peklo, Monika Zeibig

Sektion Analytik

Nr. 9/1999

Beziehungen zwischen organischer Bodensubstanz und bodenmikrobiologischen Prozessen

Martin Körschens (Hrsg.)

Sektion Bodenforschung

Nr. 10/1999

**3. Leipziger Symposium Stadtökologie „StadtNatur - quo vadis“
- Natur zwischen Kosten und Nutzen -**

Jürgen Breuste (Hrsg.)

Projektbereich Urbane Landschaften

Nr. 11/1999

Remediation of Abandoned Surface Coal Mining Sites

Including Guidelines for the Design and Development of Lakes in Former Surface Mines

Ulrich Stottmeister (Hrsg.)

Sektion Sanierungsforschung

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung
Theodor-Lieser-Straße 4
D-06120 Halle
Telefon 0345/5585-402
Telefax 0345/5585-449