

# 8 Charakterisierung des Leistungsvermögens mikrobieller Biozöosen von Löß-Schwarzerde bei unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen in Abhängigkeit vom $C_{org}$ -Gehalt

E.-M. Klimanek

UFZ Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung, Halle/Saale

## Abstract

*Characterizing the performance of microbial biocenoses of loess-black earth cultivated in different way depending on the  $C_{org}$  level*

*A soil's fertility is largely determined by the life it contains, microbial activity being closely related to the presence of organic substance in the soil.*

*The influence of various types of organic and mineral fertilization on the microbial activity of soils has already been extensively studied. However, less is known about the effect of much larger amounts of manure, the influence of various types of fallow on the microbial activity of the soil, and the periods required for alterations to fertilization to sustainably affect the soil's microbial activity. These questions were tackled during trials on loess-black earth.*

*The microbial biomass, the activity of the enzymes protease,  $\beta$ -glucosidase and alkaline phosphatase, and the mineralisation ability of the soil were monitored by means of long-term incubation. The following findings were achieved:*

- ⇒ After more than 90 years of static organic and mineral fertilization, a significant differentiation of microbial biomass and enzyme activities had occurred on loess-black earth.*
- ⇒ Above a certain level, raising the introduction of organic substance in the form of manure ceases to bring about a proportional increase in the microbial biomass.*
- ⇒ The cessation of organic and mineral fertilization on loess-black earth caused the microbial biomass to decline by up to 30% after 20 years compared to a fertilized comparison area, whereas the application of 15 t/ha\*a on a site which had been left unfertilized for 78 years led to a 40% increase in the microbial biomass. The enzyme activities displayed similar behaviour.*
- ⇒ Black fallow with no organic fertilization led after just 17 years to a considerable decrease in both carbon content and microbial activity. After another 24 years of trials, neither the microbial activity nor the enzymatic activity had changed.*
- ⇒ Of the types of fallow investigated, the combination of mechanical-chemical fallow has a sharply negative impact on the soil's microbial activity, whereas green fallow causes a large rise owing to the input of slightly mineralizable substance.*
- ⇒ Significant correlations exist between the microbial parameters and the organic carbon content ( $C_{org}$ ) as well as carbon soluble in hot water ( $C_{hw}$ ).*

## Zusammenfassung

Die Fruchtbarkeit eines Bodens wird wesentlich vom Bodenleben mitbestimmt. Dabei ist die mikrobielle Aktivität eng mit dem Vorhandensein organischer Substanz im Boden verbunden.

Über den Einfluss unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf die mikrobielle Aktivität von Böden liegen umfangreiche Untersuchungen vor. Weniger bekannt ist die Wirkung stark erhöhter Stallungsmengen, der Einfluss unterschiedlicher Bracheformen auf die mikrobielle Aktivität des Bodens und die Zeiträume, nach denen Düngungsänderungen die mikrobielle Aktivität eines Bodens nachhaltig beeinflusst haben. Diesen Fragen wurde in Versuchen auf Löß-Schwarzerde nachgegangen.

Erfasst wurden hierzu die mikrobielle Biomasse, die Enzymaktivitäten Protease,  $\beta$ -Glucosidase, und alkalische Phosphatase sowie das Mineralisierungsvermögen des Bodens mit Hilfe der Langzeitinkubation. Es konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- ⇒ Nach mehr als 90 Jahren statischer organischer und mineralischer Düngung ist auf Löß-Schwarzerde eine signifikante Differenzierung der mikrobiellen Biomasse und der Enzymaktivitäten eingetreten.
- ⇒ Die Erhöhung der Zufuhr organischer Substanz in Form von Stallung führt ab einer bestimmten Höhe nicht mehr zu einem proportionalen Anstieg der mikrobiellen Biomasse.
- ⇒ Die Unterlassung organischer und mineralischer Düngung bewirkte nach einem Zeitraum von 20 Jahren auf Löß-Schwarzerde einen Rückgang der mikrobiellen Biomasse bis zu 30 % gegenüber einer gedüngten Vergleichsvariante, die Zufuhr von 15 t/ha\*a auf einer 78 Jahren ungedüngten Variante zu einem Anstieg der mikrobiellen Biomasse um 40 %. Die Enzymaktivitäten zeigten ein ähnliches Verhalten..
- ⇒ Schwarzbrache ohne organische Düngung führt schon nach 17 Jahren Versuchsdauer zu einem starken Rückgang des Kohlenstoffgehaltes und der mikrobiellen Aktivität.
- ⇒ Nach weiteren 24 Versuchsjahren hatte sich die mikrobielle Aktivität nicht mehr verändert. Gleiches gilt auch für die enzymatische Aktivität.
- ⇒ Von den geprüften Bracheformen führt die Kombination mechanisch-chemische Brache zu einer starken negativen Beeinflussung der mikrobiellen Aktivität des Bodens, Grünbrache zu einer starken Erhöhung durch den Eintrag leicht mineralisierbarer Substanz.
- ⇒ Zwischen den mikrobiellen Parametern und dem organischen ( $C_{org}$ ) sowie dem heißwasserlöslichen Kohlenstoff ( $C_{hw}$ ) bestehen signifikante Korrelationen.

## 8.1 Einleitung

Agrarwirtschaft verändert nicht nur das Erscheinungsbild der Landschaft und die oberirdische Biozönose, sondern auch die Biozönose im Boden. Diese Veränderungen sind optisch nicht sichtbar und vollziehen sich über längere Zeiträume. Die Fruchtbarkeit eines Bodens wird neben chemischen und physikalischen Eigenschaften auch wesentlich von der Aktivität der Mikroorganismen des Bodens mitbestimmt. Sie ist eng mit dem Vorhandensein organischer Substanz verbunden, die dem Boden über organische Düngung und Pflanzenrückstände zugeführt wird. Über den Einfluss unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf die mikrobielle Aktivität von Böden liegen umfangreiche Untersuchungen vor. Weniger bekannt ist die Wirkung stark erhöhter Stallungsmengen, der Einfluss unterschiedlicher Bracheformen und die Bedeutung von Fruchtfolgen, sowie die Zeiträume, nach denen Düngungsänderungen die mikrobielle Aktivität eines Bodens nachhaltig beeinflussen. Diesen Fragen wurde in langjährigen Versuchen auf Löß-Schwarzerde nachgegangen.

## 8.2 Material

Die Versuchsflächen liegen auf dem Schwarzerdegebiet Sachsen-Anhalts am Rande der Querfurter Platte. Folgende unterschiedlich alte Versuche wurden auf das Leistungsvermögen mikrobieller Biozönosen hin ausgewertet:

### Statischer Düngungsversuch (V120):

Anlagejahr 1902 (von GRÖBLER und SCHNEIDEWIND)

#### *Versuchsfrage:*

Wirkung organischer und mineralischer Düngung auf Ertrag und Qualität der Ernten sowie auf fruchtbarkeitsbestimmende Eigenschaften (KÖRSCHENS 1990, 1994).

Der Versuch besteht aus 4 Schlägen mit jeweils 2 Schlaghälften, die in 3 Großteilstücke unterteilt sind, auf denen die Wirkung organischer Düngung (30 t Stallung/ha; 20 t Stallung/ha) in Kombination mit mineralischer (NPK; NP; NK; PK) sowie fehlender Düngung geprüft wird. Die vier Schläge tragen unterschiedliche Fruchtarten in einer Fruchtfolge (Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen).

#### *Schlaghälfte 6:*

Prüfglied 1: 30 t Stallung/ ha jedes 2. Jahr + NPK

Prüfglied 6: 30 t Stallung/ ha jedes 2. Jahr, ohne mineralische Düngung

Prüfglied 13: NPK, ohne Stallung

Prüfglied 18: ohne Düngung

Auf den Schlägen II und III wurde 1978 jeweils die Düngung einer Schlaghälfte verändert. Schlaghälfte 4 erhielt durchgehend keine organische Düngung mehr, während Schlaghälfte 5 auf allen Prüfgliedern mit 30 t Stalldung/ha jedes zweite Jahr zur Hackfrucht versorgt wurde. Auf die einzelnen Großteilstücke wurde eine gestaffelte N-Düngung in 5 Stufen (N1-N5) gelegt, deren Höhe von der jeweiligen Pflanzenart abhängt (KÖRSCHENS & PFEFFERKORN 1998).

*Schlaghälfte 4:*

bis 1977	ab 1978
Prüfglied 1: 30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr + NPK	ohne Düngung
Prüfglied 6: 30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr, ohne NPK	ohne Düngung
Prüfglied 13: ohne Stall. + NPK	ohne Stall. + N 5* (Stufe 5)
Prüfglied 13: ohne Stall. + NPK	ohne Düngung
Prüfglied 17: ohne Stall. + PK	ohne Düngung
Prüfglied 18: ohne Stall.	ohne Düngung

*Schlaghälfte 5:*

Prüfglied 1: 30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr + NPK	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr +N 5* (Stufe5)
Prüfglied 1: 30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr + NPK	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr , ohne N
Prüfglied 6: 30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr, ohne NPK	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr, ohne N
Prüfglied 13: ohne Stall. + NPK	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr, ohne N
Prüfglied 18: ohne Düngung	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr, ohne N
Prüfglied 18: ohne Düngung	30 t Stall./ ha jedes 2. Jahr +N 5* (Stufe5)

N 5\* (N-Gabe, Stufe 5) = 80-240 kg/ha entsprechend der Versuchsfrucht

Betonringversuch:

Anlagejahr 1957

*Versuchsfrage:*

Veränderung des Humusgehaltes ausgewählter Prüfglieder des Statischen Düngungsversuches bei Schwarzbrache auf unterschiedlichem C-Niveau (ANSORGE 1966).

Boden der Prüfglieder 1, 6, 13 und 18 des Statischen Versuches wurden 1956 entnommen, in Betonringe gefüllt und unter Schwarzbrache gehalten. Diese Prüfglieder wiesen im Anlagejahr unterschiedliche C-Niveaus auf. Untersuchungen dazu liegen allerdings erst ab 1965 vor. Die C<sub>org</sub>-Gehalte betragen im Anlagejahr 1,99 % (Prfogl. 1); 1,87 % (Prfogl. 6); 1,61 % (Prfogl. 3); 1,49 % (Prfogl. 18) (ANSORGE 1966).

### Modellversuch mit extrem hohen Stallungsgaben (V494):

Anlagejahr 1983

#### *Versuchsfrage:*

Prüfung der Langzeitwirkung extrem hoher Stallungsgaben auf den Ertrag, den Nährstoffentzug und die Bodeneigenschaften (KÖRSCHENS & PFEFFERKORN 1998)

#### *Prüffaktoren:*

1. ohne Stallung, (60 kg P/ha, 120 kg K/ha jedes 2. Jahr)
2. 50 t Stallung/ha\*a
3. 100 t Stallung/ha\*a
4. 200 t Stallung/ha\*a

Diese Faktoren wurden in ihrem Einfluß auf die mikrobielle Aktivität bei einer Fruchtfolge und unter Schwarzbrache untersucht.

### Sukzessionsversuch ohne Eingriff (V505):

Anlagejahr 1988

#### *Versuchsfrage:*

Einfluss verschiedener Bracheformen auf chemische Eigenschaften des Bodens und Verlauf der Sukzession auf der Unkrautbrache.

#### *Prüffaktoren:*

1. mechanische Brache
2. Herbizidbrache
3. mechanisch-chemische Brache
4. Unkrautbrache

Die unterschiedlichen Bracheformen wirken sich nicht nur auf chemische Bodeneigenschaften aus, sondern lassen auch eine Veränderung der mikrobiellen Aktivität des Bodens erwarten.

### Ehemalige Stallung- und Gülledeponie (V503):

Anlagejahr 1986

#### *Versuchsfrage:*

Einfluss extrem hoher Gehalte an organischer Substanz im Boden auf Pflanzenertrag und -qualität sowie Bodeneigenschaften (KÖRSCHENS & PFEFFERKORN 1998)

Die Fläche der Deponie wurde in 105 Parzellen aufgeteilt (Abb. 8.2), die in 5 unterschiedliche Belastungsstufen an Hand des  $C_{org}$ -Gehaltes eingeteilt wurden. Am Boden von 16 Parzellen aus den 5 Belastungsstufen (Klassen) erfolgten die mikrobiellen Untersuchungen.

Klasse 1: 2-3 %  $C_{org}$  (Parz. 3,4,16,17,87,88)      Klasse 2: 3-4 %  $C_{org}$  (Parz. 85,86,)  
Klasse 3: 4-5 %  $C_{org}$  (Parz. 78,83,84,103)      Klasse 4: 5-6 %  $C_{org}$  (77,79,102)  
Klasse 5: > 6 %  $C_{org}$  (101)

### 8.3 Methoden

Die mikrobielle Aktivität des Bodens wurde mit Hilfe folgender Parameter bestimmt:

- ⇒ mikrobielle Biomasse (MB) und Basalatmung mit Hilfe der substratinduzierten Respiration nach ANDERSON & DOMSCH (1978) in der Anlage nach HEINEMEYER et al. (1989)
- ⇒ Langzeitinkubation im Gaskreislaufverfahren nach KLIMANEK (1994)
- ⇒ Enzymaktivitäten:
  - Protease (*Pro*) nach LADD & BUTLER (1972)
  - $\beta$ -Glucosidase ( *$\beta$ -Glu*) verändert nach HOFFMANN & DEDEKEN (1965)
  - alkalische Phosphatase (*AP*) nach TABATABAI & BREMNER (1969)
- ⇒  $C_{org}$  nach STRÖHLEIN mit C-MAT 550
- ⇒ heißwasserlöslicher Kohlenstoff ( $C_{hwl}$ ) nach SCHULZ (1990)

### 8.4 Ergebnisse

#### 8.4.1 Einfluss der Düngung auf mikrobielle Parameter

Der Boden ausgewählter Prüfglieder des Statischen Versuches sind in der Vergangenheit mehrfach auf seine Besiedlung mit Bakterien, Pilzen, Actinomyceten, seine mikrobielle Aktivität und das C-Mineralisierungsvermögen untersucht worden (ANSORGE 1966, KLIMANEK 1972, 1980, 1982, KOEPKE 1967, NEHRING & WIESEMÜLLER 1966, WEIGEL et al. 1998). Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die über Jahrzehnte differenzierte Düngung zu Veränderungen chemischer, aber auch mikrobieller Parameter in Abhängigkeit von Aufwandmenge und Art geführt hat. Die nach einer Versuchsdauer von 98 Jahren an inzwischen erweiterten mikrobiellen Parametern gewonnenen Erkenntnisse lassen in Tab. 8.1 deutlich die differenzierende Wirkung der Düngung erkennen.

Die mikrobielle Biomasse, aber auch die Enzymaktivitäten erhöhen sich bei einer zusätzlichen mineralischen Düngung (NPK) gegenüber reiner Stalldunggabe. Hier liegt eine indirekte Wirkung der mineralischen Düngung über erhöhte Ernte- und Wurzelrückstände durch höhere Erträge vor.

Die zunächst als Widerspruch erscheinende geringere Aktivität der alkalischen Phosphatase bei reiner NPK-Düngung gegenüber dem ungedüngten Prüfglied ist auf die inhibierende Wirkung von mineralischem P auf das Enzym zu erklären. Die Mikroben können den mineralisch vorliegenden Phosphor für ihre Stoffwechselaktivität nutzen. Das Enzym Phosphatase wird nur induziert, wenn der Phosphor organisch gebunden vorliegt.

Tab. 8.1)

*Einfluss einer differenzierten Düngung auf die mikrobielle Biomasse, mikrobielle Aktivitäten und chemische Kriterien von Löß-Schwarzerde nach einer Versuchsdauer von 98 Jahren*

org. Düngung min. Düngung	30 t Stalldung * NPK **	30 t Stalldung* ohne	ohne NPK **	ohne ohne
Corg %	2,30	2,27	1,70	1,46
Nt %	0,210	0,200	0,155	0,139
C/N	11,0	11,7	11,0	10,3
Chwl (mg/ 100g Boden)	55,43	48,84	27,52	23,88
Nhwl (mg/ 100g Boden)	8,78	6,99	4,27	4,36
Mikr. Biom. (µg Cmik/ gTS)	260	227	158	123
Basalatmg. (µg CO <sub>2</sub> -C/gTS/h)	1,16	1,06	1,10	1,23
qCO <sub>2</sub> (ng C/µg Cmik)	4,46	4,67	6,96	10,00
Cmik/Corg	1,13	1,02	0,93	0,84
C-Mineral. (mg CO <sub>2</sub> / 100 g B.)	77	61	49	49
AP (µg p-NP/ g TS/ h)	2419	2268	646	1021
β-Glu (µg Saligenin/ gTS/3h)	86	65	46	37
Prot (µg Tyrosin/ g TS/2h)	164	176	122	97
DMSO-Red. (ng DMS/gTS/h)	1062	940	656	586

\* jedes 2. Jahr zur Hackfrucht; \*\* NPK s. KÖRSCHENS

Die Basalatmung unterscheidet sich nur geringfügig. Der metabolische Quotient, der die Effizienz der Veratmung organischer Substanz beschreibt, nimmt mit der Verminderung der organischen und mineralischen Düngung zu, d.h. die Mikroorganismen müssen für ihren Erhaltungsstoffwechsel mehr Substrat mineralisieren. Der Anteil der Mikroben am organischen Kohlenstoff des Bodens nimmt mit der Verminderung der Düngung ab.

Umfangreiche Untersuchungen von KÖRSCHENS (1997) haben ergeben, dass sich das C- und N-Niveau von Löß-Schwarzerde nach 70 Jahren gleichbleibender Düngung nicht mehr wesentlich verändert und sich ein Fließgleichgewicht einstellt. Für die mikrobielle Aktivität des Bodens ist ein ähnliches Verhalten zu erwarten, da sie an die organische Substanz des Bodens gekoppelt ist. Im Statischen Versuch wurde Stalldung mit einer Höhe von 30 t jedes zweite Jahr zu Hackfrucht eingesetzt, eine Menge, die nicht praxisüblich ist. Zur Klärung der Frage, wie sich die mikrobielle Aktivität des Bodens verhält, wenn diese Aufwandmenge noch gesteigert wird, bot sich der Modellversuch mit extrem hohen Stalldunggaben (V 494) an. Es sollte geklärt werden, ob die mikrobielle Aktivität proportional zum C<sub>org</sub> ansteigt oder ob sie ab einer bestimmten Höhe limitierend wirkt. Wie die Ergebnisse in Abb. 8.1 zeigen, steigt die Biomasse mit der Erhöhung des C<sub>org</sub> an, wenn auch nicht proportional. Eine Steigerung der Stalldunggabe von 50 auf 200 t/ha/a (V

494) bewirkte bei einer Fruchtfolge nach 17 Jahren eine Erhöhung des  $C_{org}$  um 112 % gegenüber dem ungedüngten Prüfglied. Die mikrobielle Biomasse zeigte einen ähnlichen Anstieg. Er verlief aber nicht proportional zum  $C_{org}$  und erreichte eine Steigerung von 95 %.

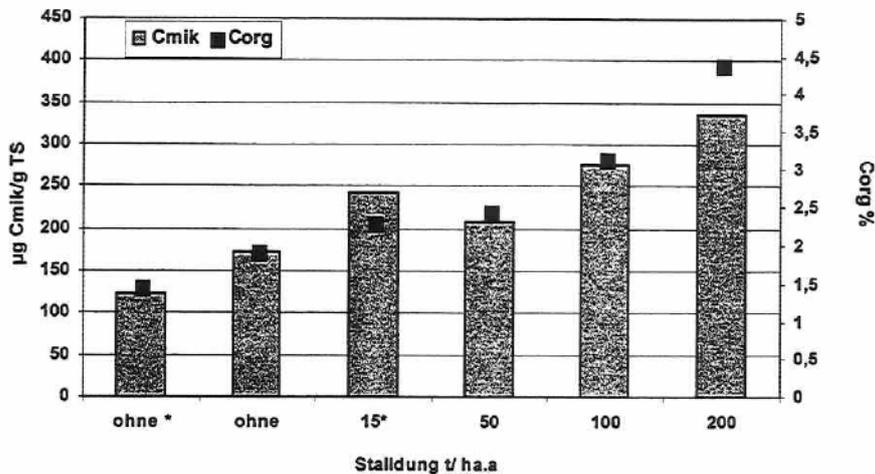


Abb. 8.1.)

Mikrobielle Biomasse ( $\mu\text{g } C_{mik}$ ) und  $C_{org}$  (%) in Abhängigkeit von der Aufwandmenge und Dauer organischer Düngung

Deutlich wird bei den Ergebnissen der Einfluss der Zeitdauer der Behandlung. Die mit \* versehenen Prüfglieder aus dem Statischen Versuch wurden seit 98 Jahren mit 15 t Stallung versorgt bzw. erhielten keine Düngung. Die mikrobielle Biomasse weist einen höheren Wert im Vergleich zu 50 t/ha/a nach 17 Jahren auf, d.h. nach 17 Jahren Behandlungsdauer ist trotz erhöhter Versorgung des Bodens mit organischer Substanz (OS) noch nicht das Niveau einer langzeitigen OS-Versorgung erreicht. Die Stallungsgaben von 100 und 200 t/ha\*a führten nach 17 Jahren dann aber zu einem Anstieg der mikrobiellen Biomasse, der trotz der kurzen Zeitspanne deutlich über der bei 15 t Stallung liegt. Bei den ungedüngten Prüfgliedern (ohne) wird ebenfalls die Langfristigkeit der Behandlung in ihrer Wirkung sichtbar. Nach 17 Jahren fehlender Düngung ist der Status von 98 Jahren Mangeldüngung ebenfalls noch nicht erreicht. Das bedeutet, dass die organische Düngung noch nach 17 Jahren positiv auf die mikrobielle Biomasse des Bodens nachwirkt.

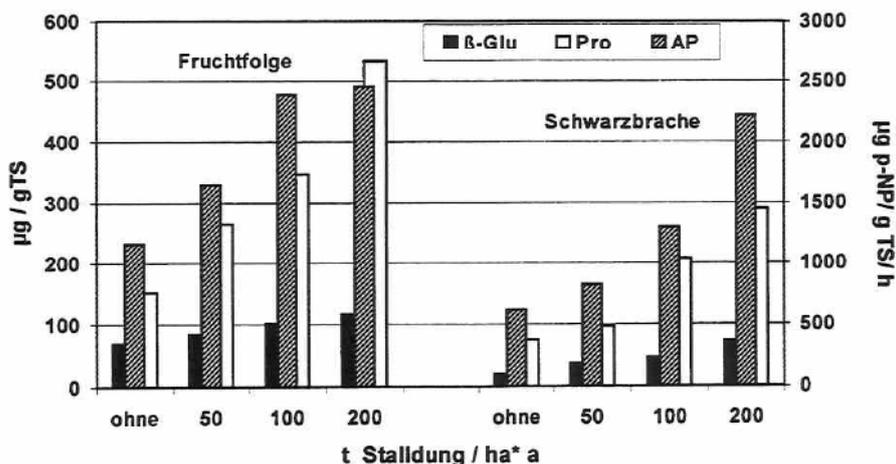


Abb. 8.2)

Einfluss der Stallungsmenge auf die Aktivität der Enzyme Protease (Pro),  $\beta$ -Glucosidase ( $\beta$ -Glu) und alkalische Phosphatase (AP) in Abhängigkeit vom Bewuchs

Der Einfluss erhöhter Stallungsgaben auf die enzymatische Aktivität wird in Abb. 8.2 erkennbar. Sie steigt mit der Aufwandmenge an Stallung an. Bei der alkalischen Phosphatase bewirkt die Verdoppelung von 100 t Stallung auf 200 t in der Fruchtfolge nur noch einen leichten Anstieg. Die Nachhaltigkeit langjähriger statischer Düngung wird sehr deutlich im Boden der Prüfglieder der 1978 in der Düngung umgestellten Schlaghälften des Statischen Versuchs. Die Ergebnisse (Abb. 8.3) lassen erkennen, dass bei Veränderung der organischen und mineralischen Düngung auf unterschiedlichem C-Niveau nach 20 Jahren das Ausgangsniveau der mikrobiellen Aktivität der Vergleichsvarianten noch nicht erreicht worden ist (KLIMANEK 2000).

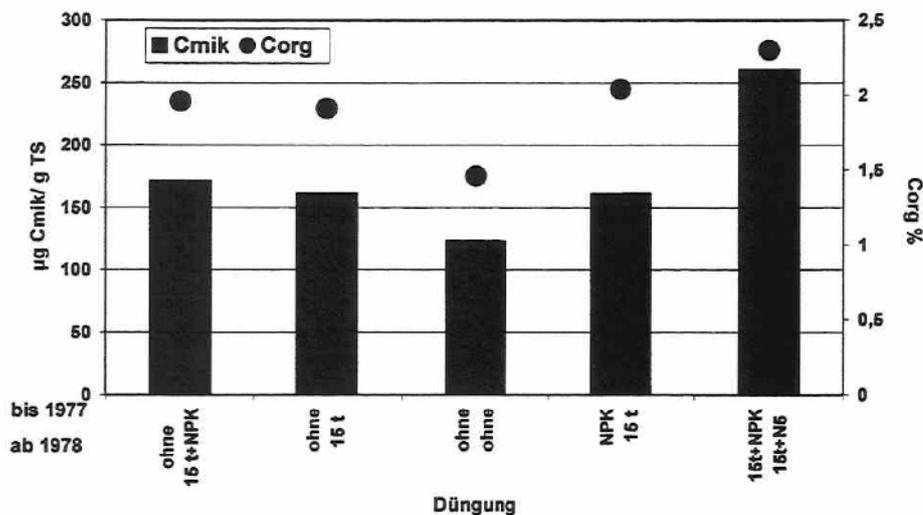


Abb. 8.3)  
Einfluss einer Düngungsänderung auf die mikrobielle Biomasse ( $\mu\text{g } C_{mik}$ ) von Löß-Schwarzerde nach 20 Jahren Behandlungsdauer

Die Volldüngungsvariante wies nach 20 Jahren unterlassener organischer Düngung noch 47 % mehr mikrobielle Biomasse als das 96 Jahre ungedüngte Prüfglied auf. Nach Versorgung des 76 Jahre ungedüngten Prüfgliedes mit 15 t Stallung/ha/a wurden erst 66 % der Volldüngungsvariante erreicht. Das zeigt, dass trotz optimaler Düngung zur Einstellung eines „Fließgleichgewichtes“ auch in der mikrobiellen Biozönose des Bodens längere Zeiträume erforderlich sind und nicht in kurzer Zeit die mikrobielle Leistungsfähigkeit eines Bodens bei Bewuchs gravierend beeinflusst wird. Langjährige organische bzw. organisch-mineralische Düngung hat bei unterlassener Düngung noch über einen längeren Zeitraum eine nachhaltige Wirkung auf die mikrobielle Aktivität von Löß-Schwarzerde ausgeübt. In Tab. 8.2 werden die Veränderungen der mikrobiellen Aktivität nach Einstellung der organischen Düngung bzw. Versorgung der 76 Jahre ungedüngten Prüfglieder mit 30 t Stallung jedes 2. Jahr zur Hackfrucht prozentual zu den entsprechenden Vergleichsvarianten angegeben.

Tab. 8.2)  
 Prozentuale Veränderungen mikrobieller Parameter bei differenzierter Düngung nach der Düngungsänderung in Abhängigkeit vom  $C_{org}$ -Gehalt des Bodens

Düngung		$C_{org}$ %	Mik. Biom.	$\beta$ -Glucos.	Protease	alkal. Phosph.	C-Mineral.
bis 1977	ab 1978						
30 t*+NPK	30t**+N5**	2,30	100	100	100	100	100
30 t*+NPK	30 t*	2,08	- 13	- 9	- 4	- 3	- 10
30 t*+NPK	Ohne	1,90	- 31	- 32	- 10	- 6	- 25
30 t*	N5**	2,23	100	100	100	100	100
30 t*	Ohne	1,80	- 22	- 32	- 27	- 16	- 10
NPK	N5**	1,70	100	100	100	100	100
NPK	Ohne	1,62	- 15	- 7	- 2	+ 30	- 4
NPK	30 t*	2,04	+ 2	+ 39	+ 13	+ 46	+ 39
ohne	Ohne	1,46	100	100	100	100	100
ohne	30 t*	1,91	+ 31	+ 62	+ 25	+ 11	+ 10
ohne	30 t + N5**	1,96	+ 39	+ 130	+ 39	+ 58	+ 16

\* = \* jedes 2. Jahr zur Hackfrucht

N5\*\* = 80-120 kg /ha entsprechend der Versuchsart

(KÖRSCHENS & PFEFFERKORN 1998)

Bei der C-Mineralisierung ergab ein Vergleich mit den Ergebnissen aus der Langzeitinkubation nach 76 Jahren Versuchszeit (KLIMANEK 1980) und 96 Jahren (KLIMANEK 2000), dass sich im Zeitraum von 20 Jahren statischer Düngung nur geringfügige Veränderungen eingestellt haben. Auf den Prüfgliedern hat sich ein Fließgleichgewicht eingestellt. Nach der Umstellung der Düngung führte die Unterlassung der organischen Düngung bzw. die Zufuhr von 30 t Stalldung nach 20 Jahren zu einem deutlichen Rückgang bzw. zu einem Anstieg der Mineralisierungsleistung, der aber noch nicht das Niveau der Vergleichsprüfglieder erreicht hat (Abb. 8.4).

Die Mineralisierungsaktivität ist abhängig vom leicht mineralisierbaren Kohlenstoff, der über den heißwasserlöslichen Anteil bestimmt werden kann (KÖRSCHENS et al.1990, SCHULZ 1990). Die  $CO_2$ -Freisetzung ist mit  $r=0,84$  signifikant mit dem  $C_{hwl}$  korreliert (Abb. 8.5).

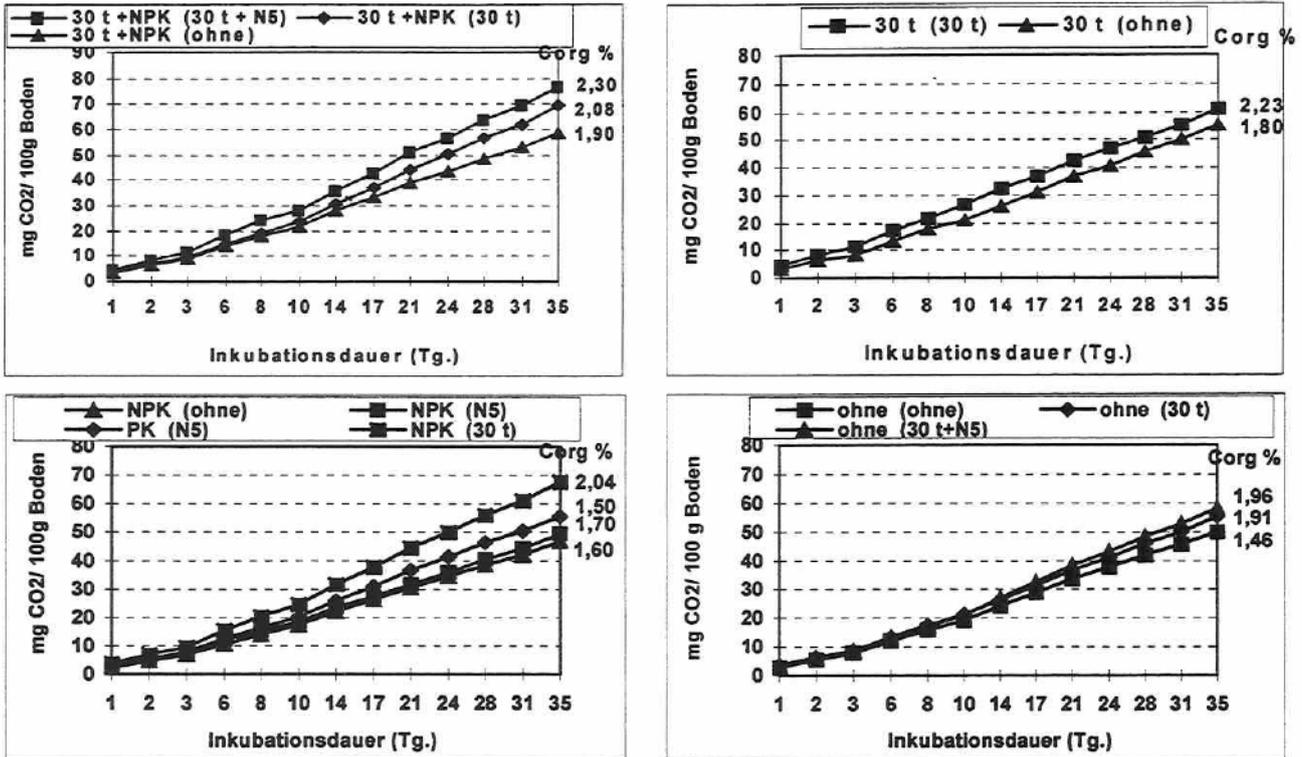


Abb. 8.4)

Mineralisierungsleistung von Löß-Schwarzerde in Abhängigkeit von der Düngung unter Laborbedingungen bei 25° C und 60 %  $WK_{max}$

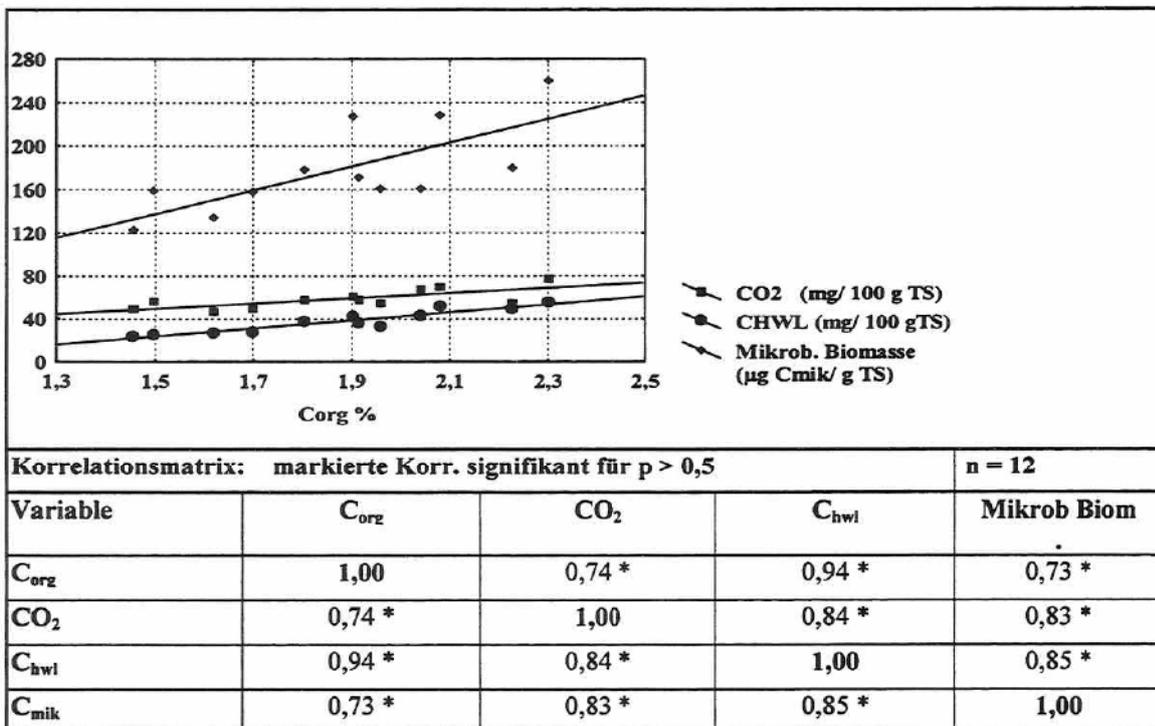


Abb. 8.5)

Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>), CO<sub>2</sub>-Freisetzung und mikrobieller Biomasse (C<sub>mik</sub>)

### 8.4.2 Einfluss des Bewuchses auf die mikrobielle Aktivität

Nicht nur die Düngung beeinflusst die mikrobielle Aktivität eines Bodens, sondern mit ihr zusammen auch der Bewuchs. Der Einfluss der Steigerung der Stallungsgaben wurde unter Bewuchs und unter Brache geprüft. Wie die Ergebnisse für die mikrobielle Biomasse in Abb. 8.6 erkennen lassen, steigen sowohl  $C_{org}$  als auch Biomasse bei beiden Behandlungen mit der Aufwandmenge an Stallung an. Nach 17 Jahren Versuchsdauer hatte die Brache auf allen Prüfgliedern zu einem Rückgang der mikrobiellen Biomasse geführt, der zwischen 37 und 58 % liegt. Diese Abnahme verläuft jedoch nicht proportional zum  $C_{org}$ -Gehalt. Die fehlenden Einträge an organischer Substanz aus den Pflanzenrückständen und den Wurzelexsudaten zur OS-Erhöhung werden in den Ergebnissen deutlich sichtbar und damit auch die Bedeutung der von den Fruchtarten hinterlassenen Ernte- und Wurzelrückstände sowohl für den  $C_{org}$ -Gehalt als auch für die biologische Aktivität des Bodens.

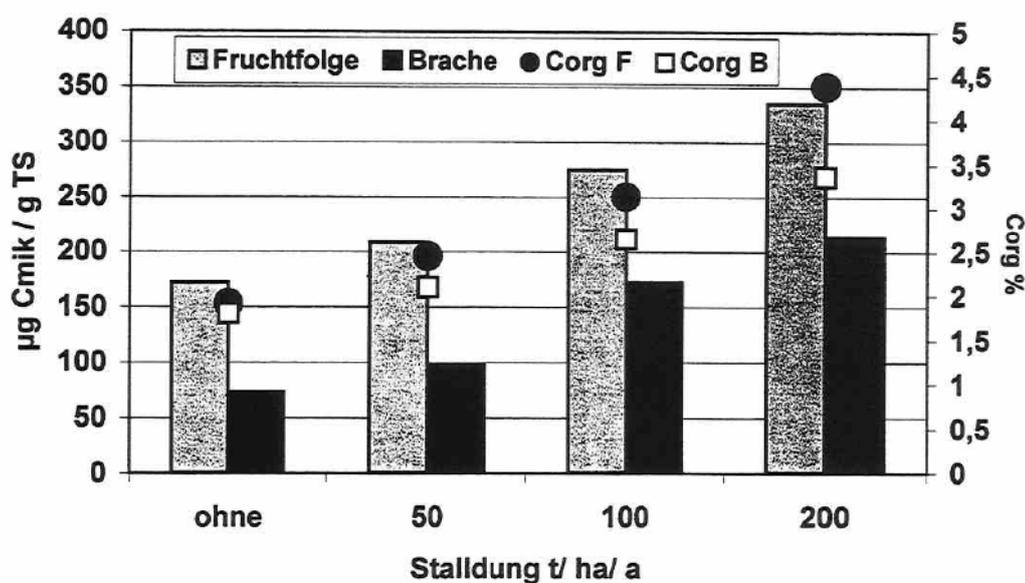


Abb. 8.6)

$C_{org}$ -Gehalt und mikrobielle Biomasse in Abhängigkeit von der Aufwandmenge an Stallung und dem Bewuchs ( $C_{org} F = C_{org}$  der Fruchtfolge;  $C_{org} B = C_{org}$  der Brache)

Ähnliche Ergebnisse waren auch für die Enzymaktivitäten der Protease,  $\beta$ -Glucosidase und alkalische Phosphatase (AP) zu verzeichnen (Abb. 8.2). Auf den Bracheparzellen war ein Abfall der Aktivität von Protease und  $\beta$ -Glucosidase zwischen 40 und 70 % eingetreten, bei der AP auf dem Prüfglied mit 200 t Stallung/ha/a nur 10 %. Bei fehlender Stallungversorgung wird die Wirkung der Brache noch verstärkt. Sie führt dann zu einer gravierenden Verarmung an mikrobieller Aktivität des Bodens. Eine große Rolle für den Rückgang der mikrobiellen Biomasse und enzymatischen Aktivität im Boden spielt außerdem die Zeitdauer des Brachezustandes.

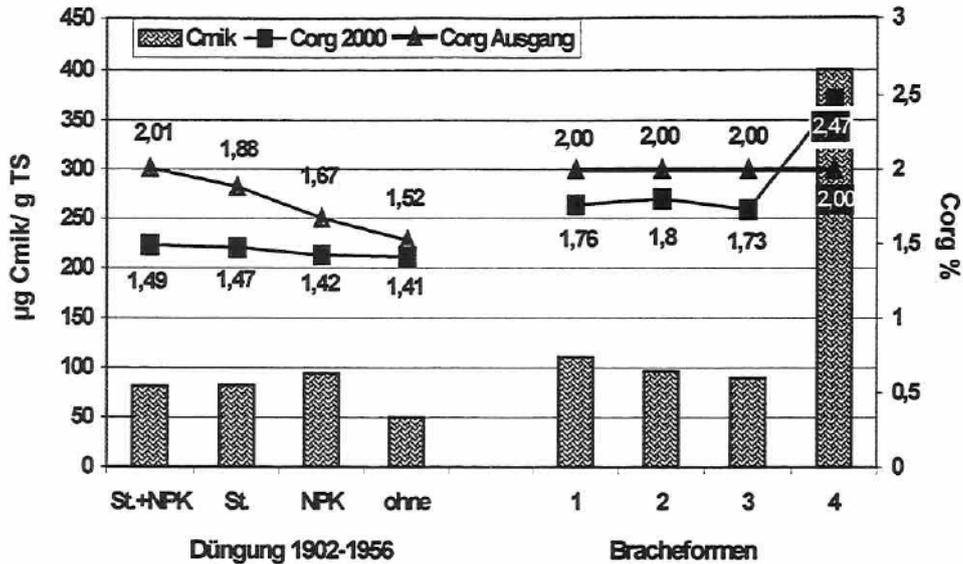


Abb. 8.7)

Einfluss von Schwarzbrache auf die mikrobielle Biomasse des Bodens in Abhängigkeit vom Corg-Gehalt des Bodens und der Bracheform  
(1=mechan., 2=Herbizid-, 3=mechan.-chem. Brache, 4=Unkrautbrache;  $C_{org\ 2000}$ = 2000 bestimmte C-Werte)

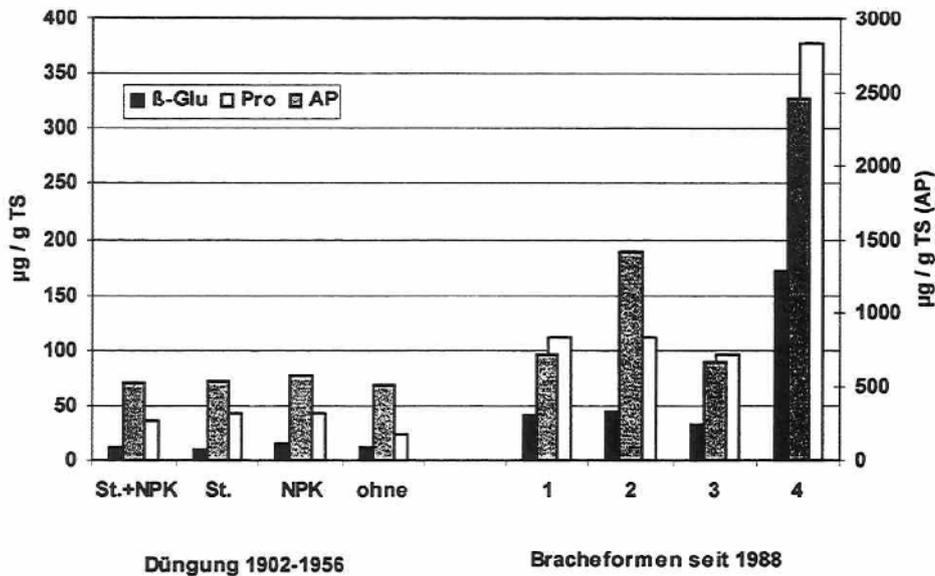


Abb. 8.8)

Einfluss von 44 Jahren Schwarzbrache bzw. 13 Jahren unterschiedliche Bracheformen auf Enzymaktivitäten des Bodens

Zur Untersuchung dieser Frage bot sich der Versuch zur Stallungsteigerung (V494) und der Betonringversuch an. Im V494 wurde auch bei Brache der Boden mit Stallung in gestaffelter Menge versorgt. Der Boden in den Betonringen, die bei Anlage des Versuches ein unterschiedliches  $C_{org}$ -Niveau aufwiesen, ließen nach 44 Jahren unterlassener Düngung und Schwarzbrache nur noch geringe Unterschiede sowohl im  $C_{org}$  als auch im Biomasse-Gehalt erkennen (Abb. 8.7). Der niedrigste  $C_{mik}$ -Gehalt war auf dem seit 1902 ungedüngten Prüfglied (ohne) zu finden. Die  $C_{org}$ -Gehalte waren während der 44 Jahre Brache (von 1956 bis 2000) gegenüber den bei Versuchsanlage (Ausgangswerte) gemessenen Werten stark abgefallen. Ähnliche Ergebnisse

konnten für die geprüften Enzyme  $\beta$ -Glucosidase, Protease und alkalische Phosphatase nachgewiesen werden (Abb. 8.8).

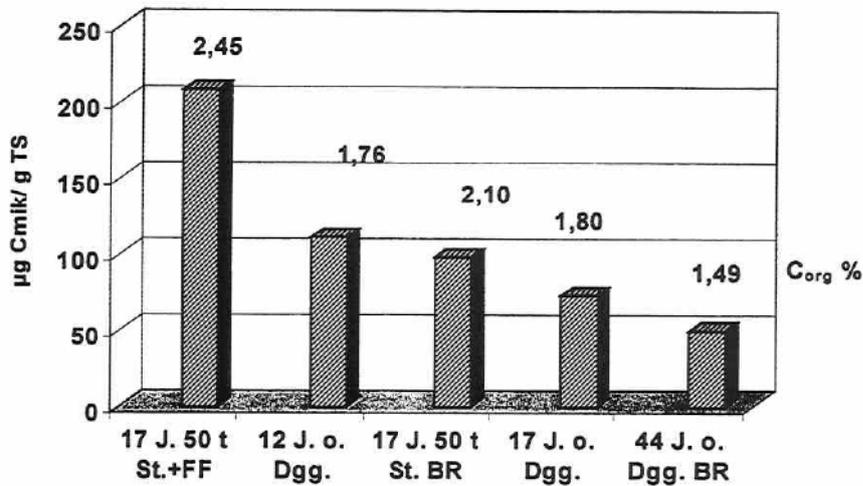


Abb. 8.9)

*Einfluss von Schwarzbrache in Abhängigkeit von der Versuchsdauer auf  $C_{mik}$  und  $C_{org}$  im Vergleich zu Stalldungzufuhr und Bewuchs auf Löß-Schwarzerde (FF=Fruchtfolge, BR=Brache)*

Abb. 8.9 zeigt die Veränderungen der Gehalte der mikrobiellen Biomasse und der organischen Substanz ( $C_{org}$ ) auf Brache ohne Düngung nach 12, 17 und 44 Jahren sowie Brache mit Stalldungversorgung im Vergleich zu einer Fläche mit Fruchtfolge (FF) und Stalldunggabe. Nach 12 Jahren Brache war ohne Stalldungzufuhr schon ein deutlicher Rückgang im  $C_{org}$  und der mikrobiellen Biomasse zu verzeichnen, der sich mit zunehmender Versuchsdauer verstärkte. Der Boden des 98 Jahre ungedüngten Prüfgebietes (in Abb. 8.9 als 44 J.o.Dgg. + BR ausgewiesen), der bis 1956 in einer Fruchtfolge bewirtschaftet wurde, wies nach 44 Jahren Brache sowohl den niedrigsten  $C_{org}$ -Gehalt als auch die geringste mikrobielle Biomasse auf. Es wurde ein Niveau erreicht, das sich auf Löß-Schwarzerde des Standortes Bad Lauchstädt nicht mehr wesentlich verändert.

Schwarzbrache kann auf unterschiedliche Weise erzeugt werden. Geprüft wurde eine Brache, die mechanisch (1), mit Hilfe von Herbiziden (2), sowie mit der Kombination aus mechanischer und chemischer Behandlung (3) schwarz gehalten wurde und eine Unkrautbrache (4) in ihrer Wirkung auf den Kohlenstoffgehalt und die mikrobielle Aktivität des Bodens. Der C-Gehalt sank innerhalb von 12 Jahren auf den mechanisch und chemisch erzeugten Brachen um 0,20-0,27 %C. Wie die Ergebnisse in Abb. 8.8 und 8.9 zeigen, bewirken diese Bracheformen einen Rückgang der mikrobiellen Aktivität. Zwischen den Brachen 1 und 2 bestehen nur geringfügige Unterschiede in ihrer Wirkung auf die mikrobielle Aktivität des Bodens, wobei aber ein verstärkt negativer Einfluss durch die mechanisch-chemische Brache zu erkennen ist. Unkrautbrache dagegen führt zu einer Erhöhung des  $C_{org}$ -Gehaltes. Der Kohlenstoffgehalt ist in den 12 Jahren nur durch die organische

Substanz des Wildwuchses um 0,47 % angestiegen. Mit den Pflanzen wird dem Boden leicht mineralisierbare Substanz zugeführt, die sowohl eine starke Erhöhung der mikrobiellen Biomasse als auch der Enzymaktivitäten bewirkt hat.

### 8.4.3 Nachwirkung hoher $C_{org}$ -Gehalte auf die mikrobielle Aktivität von Löß-Schwarzerde

Langjährige gleichartige Düngung hat, wie nach Umstellung der Düngung im Statischen Versuch nachgewiesen, eine nachhaltige Wirkung auf die mikrobielle Aktivität des Bodens, d.h. die positive bzw. negative Wirkung der Düngung oder des Mangels ist noch viele Jahre auch nach Einstellung oder Veränderung der Düngung festzustellen.

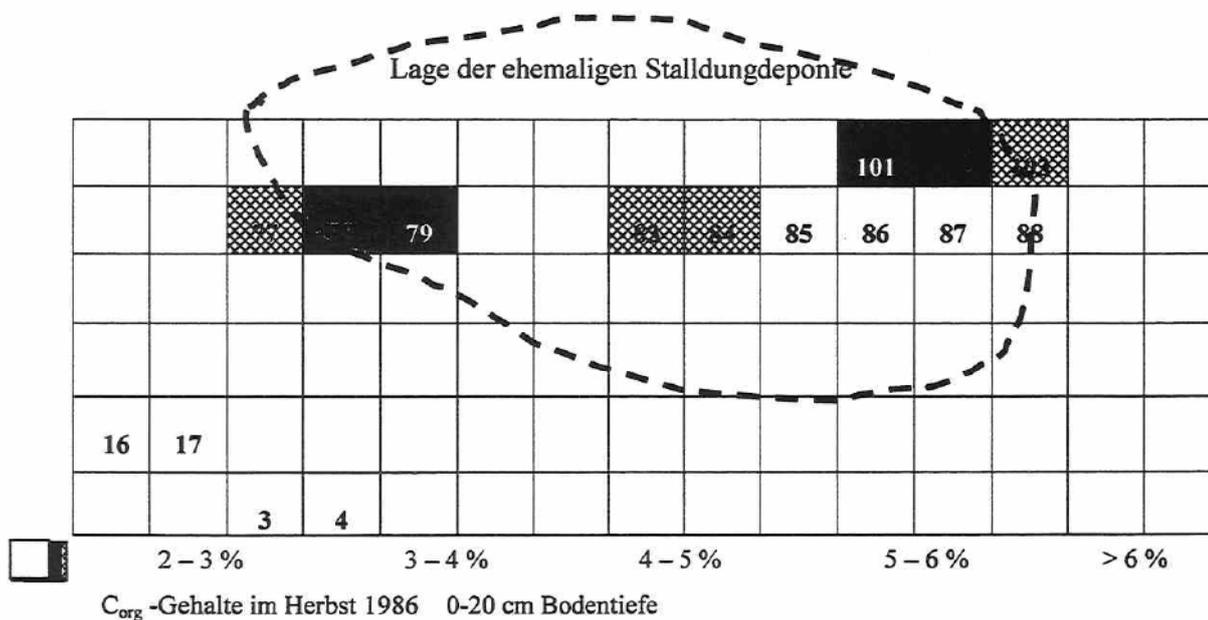


Abb. 8.10) Lageplan der ehemaligen Stallungdeponie (nach KÖRSCHENS & PFEFFERKORN 1998)

Auf der Fläche einer ehemaligen Gülle- und Stallung-Deponie sollte geprüft werden, wie lange ein hoher  $C_{org}$ - und N-Gehalt bei Unterlassung weiterer Düngergaben auf mikrobielle Bodenparameter nachwirkt, wenn ein Anbau von Pflanzen erfolgt. Nach Beräumung der Deponie und Aufteilung der Flächen in Parzellen wurden diese auf ihren  $C_{org}$ - und N-Gehalt untersucht und in Kategorien eingeteilt. Der  $C_{org}$ -Gehalt erreichte auf einigen Parzellen mehr als 6 %. Der Versuchsplan und die Lage der untersuchten Parzellen sind Abb. 8.10 zu entnehmen. Nach einer Versuchszeit von 14 Jahren ist der  $C_{org}$ -Gehalt der stark belasteten Prüfglieder 77, 78, 79, 83, 84, 101-103 teilweise um 50 % zurückgegangen und liegt nunmehr bei 2,0 bzw. 3,0-3,5 % (Abb. 8.11). Nach 8 Jahren war ein starker Rückgang des  $C_{org}$  zu verzeichnen. In den folgenden 6 Jahren veränderten sich die Kohlenstoffgehalte kaum noch. Obwohl die ehemals mit ca. 7 % Kohlenstoff angereicherten Parzellen noch C-Gehalte von über 3 % aufweisen, unterscheidet sich die mikrobielle Biomasse nur wenig von der der unbelasteten Prüfglieder (Abb. 8.12). Die Werte liegen unter dem für Löß-

Schwarzerde üblichen Niveau von  $200 \mu\text{g } C_{\text{mik}}/\text{g TS}$ . Die Korrelationskoeffizienten zwischen  $C_{\text{org}}$ ,  $C_{\text{mik}}$  und  $C_{\text{hwl}}$  betragen  $r=0,71-0,74$ . Die vielfach nachgewiesene enge Beziehung zwischen  $C_{\text{hwl}}$  und  $C_{\text{mik}}$  von  $r>0,85$  konnte hier nicht bestätigt werden. Durch die in den Boden eingetragenen hohen C- und vor allem N-Mengen zur Zeit der Gülle- und Stallmist-Deponie kann es möglich sein, dass im Boden eine Veränderung der mikrobiellen Biozönose eingetreten ist, die aber mit Hilfe der geprüften Parameter nicht nachzuweisen ist.

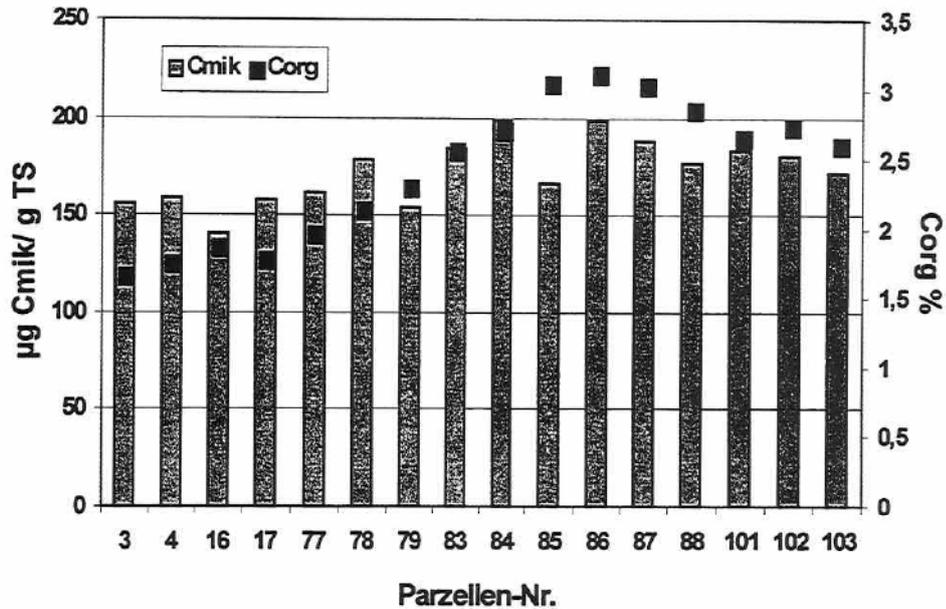


Abb. 8.11)

Veränderung des  $C_{\text{org}}$ -Gehaltes ausgewählter Parzellen der Stallung-Gülle-Deponie während eines Versuchszeitraumes von 14 Jahren

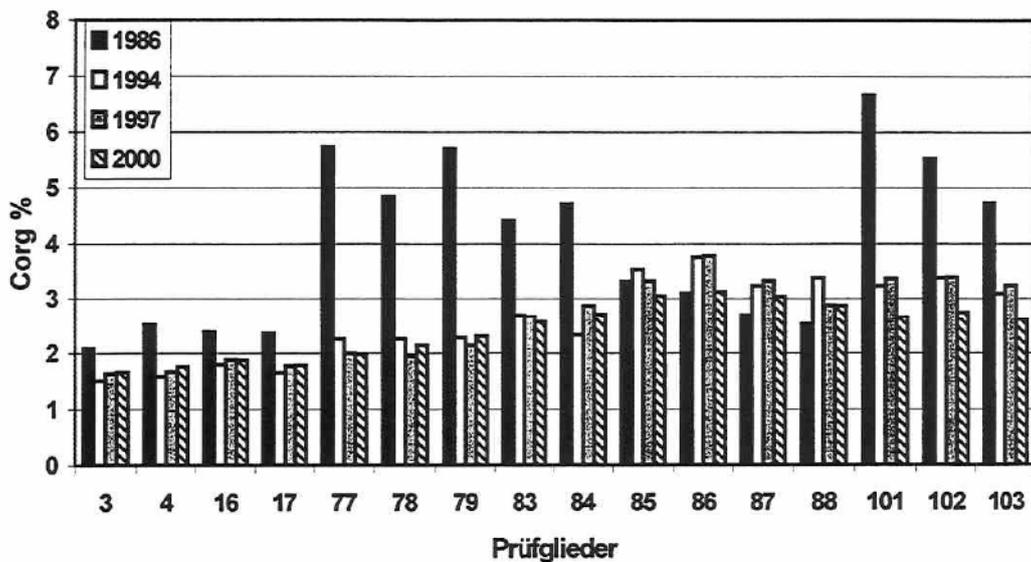


Abb. 8.12)

Mikrobielle Biomasse ( $\mu\text{g } C_{\text{mik}}$ ) und  $C_{\text{org}}$ -Gehalte der ausgewählten Parzellen der Stallung- und Gülle-Deponie

Dagegen lag die Aktivität der Enzyme (Abb. 8.13 und 8.14) auf den ehemals stark belasteten Prüfgliedern deutlich höher. Sie waren mit  $C_{org}$  bzw.  $C_{hwl}$  mit  $r=0,82-0,95$  signifikant korreliert, während  $C_{mik}$  nur ein  $r=0,74$  aufwies. Die hohe Aktivität der AP auf den Parzellen 83-103 deutet auf das Vorhandensein von organisch gebundenem Phosphor hin. Für die mikrobiellen Bodenparameter liegen leider aus der Zeit der Versuchsanlage keine Ergebnisse vor. Daher ist es nicht möglich, Aussagen über mögliche Veränderungen der mikrobiellen Aktivität während des Versuchszeitraumes zu treffen.

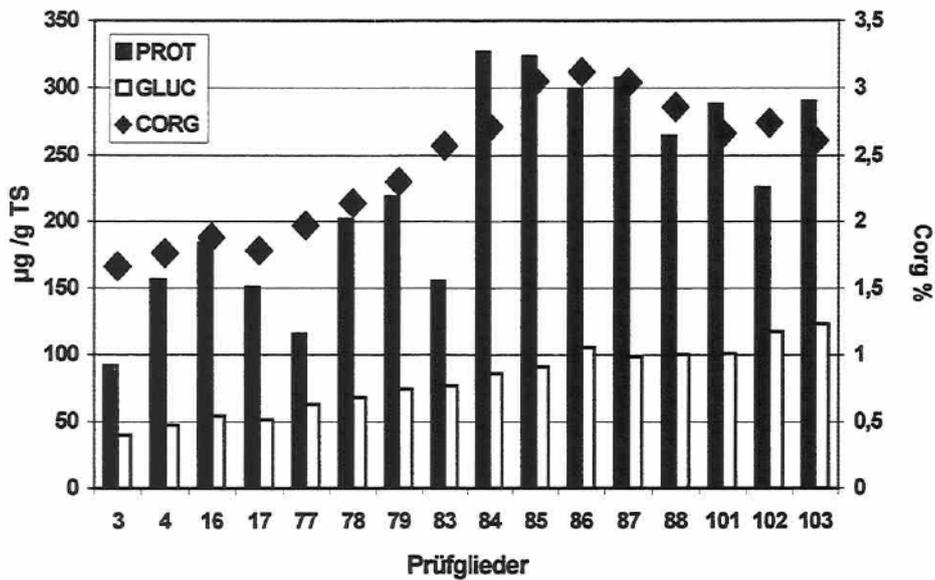


Abb. 8.13) Die Enzymaktivitäten Protease und  $\beta$ -Glucosidase in Beziehung zum  $C_{org}$ -Gehalt der Parzellen der Gülle-Stallung-Deponie

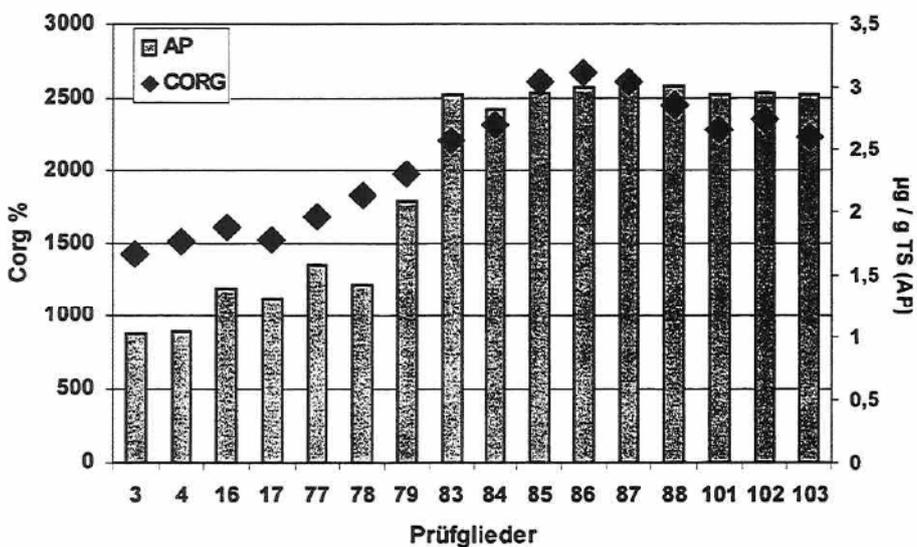


Abb. 8.14) Aktivität der alkalischen Phosphatase (AP) in Beziehung zum  $C_{org}$ -Gehalt der Parzellen der Gülle-Stallung-Deponie

## 8.5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse aus den Dauerfeldversuchen haben gezeigt, dass nicht nur chemische, sondern auch mikrobielle Parameter eines Bodens durch Düngungs- bzw. Bewirtschaftungsmaßnahmen nur langfristig beeinflusst werden.

Mangel an organischer Substanz führt erst nach längeren Zeiträumen bei Pflanzenbewuchs zu einem deutlichen Abfall der mikrobiellen Aktivität. Zufuhr organischer Substanz zu einem schlecht organisch versorgten Boden, kann eine geringe mikrobielle Aktivität des Bodens nicht kurzfristig dauerhaft erhöhen.

Bei Unterlassung der Zufuhr organischer Substanz erreichen auch mikrobielle Parameter des Bodens Grenzen, die nur noch wenig unter- bzw. überschritten werden.

Schwarzbrache führt schon nach kurzer Zeit zu einem Rückgang der mikrobiellen Aktivität des Bodens, die durch die Zufuhr organischer Substanz vermindert werden kann.

Die Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände für die mikrobielle Aktivität eines Bodens konnte deutlich nachgewiesen werden.

Die zwischen mikrobielle Parametern, dem organischen ( $C_{org}$ ) sowie dem heißwasserlöslichen Kohlenstoff ( $C_{hwl}$ ) des Bodens vielfach nachgewiesenen signifikanten positiven Korrelationen konnten bestätigt werden, wobei der Korrelationskoeffizient  $r$  auf der Stallung- und Gülledeponie wesentlich niedriger als für Düngungs- und Bracheprüfglieder lag.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass auch zur Aufklärung bodenmikrobiologischer Fragen Dauerfeldversuche von großer Bedeutung sind.

Die Aktivitätsparameter können nichts über die Veränderung der Diversität innerhalb der Biozönose des Bodens aussagen, die besonders unter Brache oder der Stallung- und Gülledeponie zu erwarten sind. Zur Aufklärung dieser Fragen wäre die Einbeziehung molekularbiologischer Methoden oder Methoden zur Erfassung von Strukturmerkmalen (Phospholipidfettsäuremuster = PLFA) der Mikroben wünschenswert.

UFZ-Bericht

**Einfluß der Landnutzung auf Landschaftshaushalt  
und Biodiversität in agrarisch dominierten Räumen**

Heidrun Mühle (Hrsg.)

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH