

## Faktoreinsatz in der landwirtschaft -ein beitrag zur ressourcenschonung (Daten und analysen aus dem müncheberger nährstoff-steigerungsversuch)

Jutta Rogasik , Susanne Obenauf , Manfred Lüttich & Ruth Ellerbrock

**To cite this article:** Jutta Rogasik , Susanne Obenauf , Manfred Lüttich & Ruth Ellerbrock (1997) Faktoreinsatz in der landwirtschaft #ein beitrag zur ressourcenschonung (Daten und analysen aus dem müncheberger nährstoff#steigerungsversuch), Archives of Agronomy and Soil Science, 42:3-4, 247-263, DOI: [10.1080/03650349709385731](https://doi.org/10.1080/03650349709385731)

**To link to this article:** <http://dx.doi.org/10.1080/03650349709385731>



Published online: 15 Dec 2008.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 21



View related articles [↗](#)



Citing articles: 4 View citing articles [↗](#)

## FAKTOREINSATZ IN DER LANDWIRTSCHAFT – EIN BEITRAG ZUR RESSOURCENSCHONUNG (DATEN UND ANALYSEN AUS DEM MÜNCHEBERGER NÄHRSTOFF- STEIGERUNGSVERSUCH)

JUTTA ROGASIK<sup>a</sup>, SUSANNE OBENAUF<sup>a</sup>, MANFRED LÜTTICH<sup>a</sup>  
and RUTH ELLERBROCK<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup>*Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Institut für  
agrarrelevante Klimaforschung, Müncheberg, Germany*

<sup>b</sup>*Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Institut für  
Bodenlandschaftsforschung, Müncheberg, Germany*

(Received 17 August 1997)

Dargestellt werden ausgewählte Ergebnisse des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches unter dem Aspekt des Ressourcenschutzes – Energie, Boden, Wasser und Luft.

*Energie/CO<sub>2</sub>*: Durch den verantwortungsvollen Faktoreinsatz in der Landwirtschaft (mineralische und organische Düngemittel, Treib- und Schmierstoffe) kann der Energieeinsatz und damit die CO<sub>2</sub>-Emission im Vorleistungsbereich der Landwirtschaft reduziert werden.

*Boden*: Die Untersuchungen haben gezeigt, daß kombinierte organisch-mineralische Düngung eine wesentliche Maßnahme ist, optimale Humusgehalte im Boden zu sichern. Menge und Qualität der organischen Bodensubstanz werden durch das Management beeinflusst.

*Luft, Wasser*: Die Höhe der Düngung beeinflusst über die NO<sub>3</sub>-Konzentration im Boden entscheidend die N<sub>2</sub>O-Abgaberraten in die Atmosphäre bzw. Nitratausträge ins Grundwasser. Erfolgreiche N<sub>2</sub>O-Vermeidungsstrategien sind in Managementmaßnahmen zu sehen, die ein optimales Pflanzenwachstum gewährleisten und N-Verluste aus dem System Boden-Pflanze verhindern.

**STICHWORTE**: Dauerversuch, Energieeinsatz, CO<sub>2</sub>-Emission, Boden, C-Speicherung, N-Bilanz, N<sub>2</sub>O-Emission

## USE OF AGRICULTURAL INPUTS – A CONTRIBUTION TO PROTECTING THE NATURAL RESOURCES (DATA AND ANALYSIS OF THE MÜNCHEBERG LONG-TERM FERTILIZER EXPERIMENT)

Selected results of the Müncheberg Long-Term Fertilizer Experiment are reported with regard to protecting the natural resources energy, soil, water, and atmosphere.

*Energy/CO<sub>2</sub>*: Reasonable use of agricultural inputs (mineral fertilizer, animal manure, fuel and oil) will reduce the CO<sub>2</sub> emissions without diminishing yields.

---

\*Jutta Rogasik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode, Institut für agrarrelevante Klimaforschung, Müncheberg, Eberswalder Straße 84 F, 15374 Müncheberg, Germany

*Soils:* The investigations showed that organic manuring in combination with mineral N fertilization are main measures to ensure optimal carbon contents in soil. Quantity (amount of SOM) and quality (molecular weight, functionality) are influenced by management.

*Water, atmosphere:* N surplus due to high amounts of fertilizer is the primary cause of increased  $\text{NO}_3$  concentration in soil and enhanced  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from N-fertilized fields. A successful  $\text{N}_2\text{O}$  mitigation strategy is achieved by a management directed to provide N at the time and place required by the plant to optimize growth and decrease the amount of N that is lost from the soil-plant system.

**KEY WORDS:** Long-term experiment, agricultural input, energy use,  $\text{CO}_2$  emission, soil, C-sequestration, N balance,  $\text{N}_2\text{O}$  emission

## EINLEITUNG

Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch V 140/00 gehört zu den wenigen in der Bundesrepublik Deutschland auf sandigen Ackerstandorten mit mehr als 30 Versuchsjahren erhaltenen Dauerversuchen. Er ist eine wichtige Forschungsgrundlage, vor allem, wenn es um Konzepte nachhaltiger Bodennutzung geht.

Neben den Untersuchungen zur Langzeitwirkung kombinierter mineralisch-organischer Düngung im Vergleich zu alleiniger Mineraldüngung auf Ertragsentwicklung, Nährstoffbilanzen und Bodenfruchtbarkeit wurden zunehmend Aspekte des ressourcenschonenden Einsatzes von Produktionsmitteln in die Prüfung einbezogen. Die gegenwärtige Diskussion um umwelt- und klimarelevante Wirkungen von landwirtschaftlichen Produktionsverfahren und um Nutzungsalternativen wirft vor allem Fragen nach

- dem Verhältnis von eingesetzter und erzeugter Energie
- dem Erhalt der Regelungs-, Nutzungs- und Kulturfunktionen der Böden,
- den Wirkungen auf die  $\text{CO}_2$ -Produktion und dem dadurch verursachten Treibhauseffekt,
- der "Belastbarkeit" von Ökosystemen und natürlichen Ressourcen in Bezug auf Nachhaltigkeit von Landnutzungssystemen

auf. Auch hier gehören Dauerfeldversuche zu den grundlegenden Erkenntnismitteln. Sie sind für die Agrar- und Umweltforschung zur Quantifizierung dieser Langzeiteffekte unentbehrlich. Dieser Feststellung folgend, sollen anhand ausgewählter Ergebnisse des Müncheberger Dauerversuches die Wirkungen von organischer und mineralischer Düngung auf Energieverbrauch im Vorleistungsbereich der Landwirtschaft und  $\text{CO}_2$ -Emission, Änderungen der C-Speicherung im Boden sowie auf Nährstoffbilanzierung und die Emissionen klimarelevanter Spurengase aus Böden bei unterschiedlicher Nutzungsintensität einschließlich der Aufklärung von Regulationsmechanismen quantifiziert werden.

## MATERIAL UND METHODEN

### *Allgemeine Standortbedingungen*

Physisch-geographische Lage

14° 7,4'E, 52° 31,0' N, Ostbrandenburger  
Platte; Untereinheit Lebus-Platte; 62 m über  
NN

Geologische Entstehung / Geologische Formation	Grundmoräne aus fennoskandinavischem Ausgangsmaterial / Jungpleistozän
Geologisches Ausgangssubstrat der Bodenbildung	Geschiebesand über Unterem Diluvialsand und Geschiebemergel des Frankfurter Stadi- als der Weichselvereisung
Bodenart	lehmiger Sand
Bodenformen-Gesellschaft	Rosterde, Braunerde, Parabraunerde, Sandtiefland-Fahlerde
FAO-Bodenklassifikation	Leptic Podzol, Luvic und Cambic Arenosol, Eutric Podzoluvisol
Klassenzeichen der Bodenschätzung	S1 4 D

*Bodeneigenschaften im Versuch (Durchschnittswerte, Krume)*

**Bodeneigenschaften**

**Korngrößenzusammensetzung:**

Ton	< 2,0 $\mu\text{m}$	%	5
Feinschluff	6,3–2,0 $\mu\text{m}$	%	3
Mittelschluff	20–6,3 $\mu\text{m}$	%	5
Grobschluff	63–20 $\mu\text{m}$	%	13
Feinsand	200–63 $\mu\text{m}$	%	44
Mittelsand	630–200 $\mu\text{m}$	%	24
Grobsand	2000–630 $\mu\text{m}$	%	6
Trockenrohdichte ( $d_b$ )		$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	1,5
Festsubstanzdichte ( $d_f$ )		$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	2,62
Hygroskopizität		Masse %	0,98
nutzbare Feldkapazität		Vol. %	12,5
Ct		%	0,60
Nt		%	0,05
C/N			12
pH			5,4
P (DL)		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	68
K (DL)		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	112
Mg		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	44
Sorptionskapazität		$\text{meq}\cdot\text{kg}^{-1}$	41

*Klimatisch-meteorologische Standortbedingungen (Abb. 1)*

Klimagebiet nach BOER	3 – stark kontinental beeinflusstes Binnenlandklima (ostdeutsches Binnenlandklima), Grenzbereich zum mecklenburgisch-brandenburgischen Übergangsklima
Kontinentalitätsgrad nach JOHANSON	50

## Mittlere Windrichtungsverteilung in %

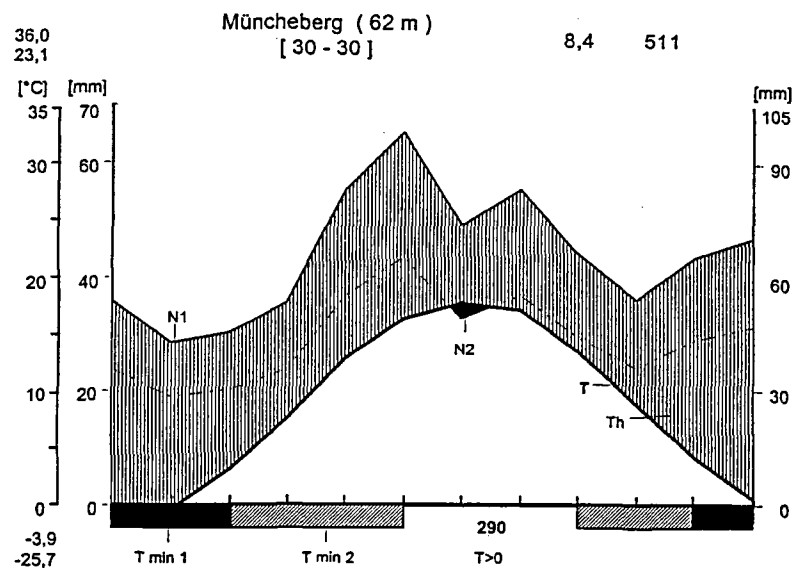
W	SW	NW	SO	S	O	N	NO	Still
20	19	11	12	11	9	7	6	5

Mittlere relative Luftfeuchte	80 %
Mittlere Sonnenscheindauer	1648 h·a <sup>-1</sup>
Mittlerer Wasserdampfdruck	9,3 kPa
Vegetationszeit	215 Tage (> 5°C), 154 Tage (> 10°C)

*Versuchsbeschreibung**Prüffaktoren und Stufen*

Die 21 nachfolgend aufgeführten Düngewarianten werden in einer zweifaktoriellen Blockanlage (AxB)-R mit 8 Wiederholungen (168 Teilstücke, total randomisiert) geprüft (Tab. 1, 2, 3).

Der Versuch lief bis 1993 in einer Hackfrucht-Getreide-Rotation ohne Landwechsel (Smukalski *et al.*, 1990). Ab 1994 wurden Öllein und Erbsen in die



- T Kurve der mittleren Monatstemperaturen
- Th relativ humide Jahreszeit (vertikal schraffiert)
- N<sub>1</sub> Kurve der mittleren monatlichen Niederschläge (im Verhältnis 10°C = 20 mm)
- N<sub>2</sub> erniedrigte Niederschlagskurve (10°C = 30mm; schwarze Fläche = Trockenzeit)
- T<sub>min1</sub> Monate mit mittlerem Tagesminimum unter 0°C
- T<sub>min2</sub> Monate mit absolutem Minimum unter 0°C
- T>0 mittlere Dauer von Tagesmitteln über 0°C

Abb. 1 Klimadiagramm nach Walter für den Versuchsstandort Müncheberg (Beobachtungsjahre 1961 bis 1990)  
Fig. 1 Climatic observations of the Müncheberg site (1961–1990)

Tabelle 1 Prüffaktoren und Stufen des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches V 140/00 bis 1993

Table 1 Treatments and summary of fertilizer inputs of the Müncheberg Long Term Fertilizer Experiment V 140/00 until 1993

PG.	Düngungs- variante	Organische Düngung  $TM [dt \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}]$	Mineraldüngung $[kg \cdot ha^{-1}]^1$		
			N	P	K
0	ohne	0	0	7	26
1.1	NPK	0	52	30	122
1.2	NPK	0	89	35	140
1.3	NPK	0	118	38	150
1.4	NPK	0	157	43	171
1.5	NPK	0	193	48	188
2.1	NPK + Stm 1	12	32	26	104
2.2	NPK + Stm 1	12	68	30	122
2.3	NPK + Stm 1	12	116	36	145
2.4	NPK + Stm 1	12	139	39	156
2.5	NPK + Stm 1	12	169	42	167
3.1	NPK + Stm 2	32	9	24	100
3.2	NPK + Stm 2	32	52	30	121
3.3	NPK + Stm 2	32	77	31	126
3.4	NPK + Stm 2	32	118	37	149
3.5	NPK + Stm 2	32	150	42	164
4.1	NPK + Stroh	20	65	34	123
4.2	NPK + Stroh	20	101	38	141
4.3	NPK + Stroh	20	138	43	159
4.4	NPK + Stroh	20	161	45	163
4.5	NPK + Stroh	20	191	47	169

<sup>1</sup>Düngungsstufen  $\bar{x}$  bis 1993 der Fruchtfolge: Silomais (1963), Winterroggen (1964), Kartoffeln, Winterroggen, Kartoffeln, Sommerweizen, Zuckerrüben, Sommergerste, Silomais, Winterroggen, Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste, Zuckerrüben, Sommergerste, Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste, Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben (1993)

Tabelle 2 Prüffaktoren und Stufen des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches V 140/00 ab 1994  
 Table 2 Treatments and fertilizer inputs of the Müncheberg Long Term Fertilizer Experiment V 140/00 from 1994

PG.	Düngungs- variante	mineralische N-Düngung [kg·ha <sup>-1</sup> ]							
		WW <sup>2</sup>	Mais	HWR <sup>3</sup>	Öllein	WR <sup>4</sup>	ZR <sup>5</sup>	SG <sup>6</sup>	Erbsen
0	ohne	0	0	0	0	0	0	0	0
1.1	NPK	35	40	35	20	35	50	25	0
1.2	NPK	70	80	70	40	70	100	50	20
1.3	NPK	105	120	105	60	105	150	75	40
1.4	NPK	140	160	140	80	140	200	100	60
1.5	NPK	175	200	175	100	175	250	125	80
2.1	NPK+Stm 1	35	40	35	20	35	50	25	0
2.2	NPK+Stm 1	70	80	70	40	70	100	50	20
2.3	NPK+Stm 1	105	120	105	60	105	150	75	40
2.4	NPK+Stm 1	140	160	140	80	140	200	100	60
2.5	NPK+Stm 1	175	200	175	100	175	250	125	80
3.1	NPK+Stm 2	0	0	0	0	0	0	0	0
3.2	NPK+Stm 2	35	40	35	20	35	50	25	0
3.3	NPK+Stm 2	70	80	70	40	70	100	50	20
3.4	NPK+Stm 2	105	120	105	60	105	150	75	40
3.5	NPK+Stm 2	140	160	140	80	140	200	100	60
4.1	NPK+Stroh	35	40	35	20	35	50	25	0
4.2	NPK+Stroh	70	80	70	40	70	100	50	20
4.3	NPK+Stroh	105	120	105	60	105	150	75	40
4.4	NPK+Stroh	140	160	140	80	140	200	100	60
4.5	NPK+Stroh	175	200	175	100	175	250	125	80

<sup>2</sup>Winterweizen<sup>3</sup>Hybridwinterroggen<sup>4</sup>Winterroggen<sup>5</sup>Zuckerrüben<sup>6</sup>Sommergerste

Tabelle 3 Organische und mineralische Grunddüngung des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches V 140/00

Table 3 Organic manure and P, K, Ca fertilizer input of the Müncheberg Long Term Fertilizer Experiment V 140/00

Düngerart	Fruchart WW	Mais	HWR	Öllein	WR	ZR	SG	Erbsen
Organische Düngung [t · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> TM]								
Stm 1	0	4,8	0	0	0	4,8	0	0
Stm 2	0	12,8	0	0	0	12,8	0	0
Stroh	0	4,0	0	4,0	0	4,0	0	4,0
mineralische Grunddüngung [kg · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> ]								
Kalium	100	160	100	100	100	160	100	100
Phosphor	30	45	30	30	30	45	30	30
Calcium	Kalkung nach Bedarf (pH < 5,5)							

Fruchfolge eingegliedert. Die organische Düngung wird zu Hackfrüchten gegeben. Getreide, Öllein und Erbsen erhalten nur mineralische Düngung.

Die Größe der Einzelparzellen beträgt 30 m<sup>2</sup>, davon lassen sich 10 bis 12 m<sup>2</sup> beproben.

### Untersuchungen und Prüfmerkmale

#### • Boden

Textur	%	Pipett-Methode nach KÖHN
Trockenrohdichte	g·cm <sup>-3</sup>	Stechzylindermethode
C <sub>t</sub>	%	trockene Verbrennung
Carbonatgehalt	%	Wösthoff / Elementaranalyse
N <sub>t</sub>	%	Kjeldahl, ab 1995 trockene Verbrennung
P, K	mg·kg <sup>-1</sup>	P-colorimetrisch, K-Flammen Emission
Mg	mg·kg <sup>-1</sup>	CaCl <sub>2</sub> -Extraktion, AAS
pH		KCl
NO <sub>3</sub> —N, NH <sub>4</sub> —N	mg·kg <sup>-1</sup>	KCl-Extraktion, colorimetrisch
Austauschkapazität	meq·kg <sup>-1</sup>	BaCl <sub>2</sub> -TEA Perkolation, pH 8,1
Mikronährstoffe	mg·kg <sup>-1</sup>	Atom-Absorption, ab 1996 ICP
N <sub>2</sub> O Konzentration	ppb	Gas-Chromatographie
Molekulargewichtsverteilung der OBS	Dalton	GPC
Funktionelle Gruppen der OBS	rel.	FT-IR

#### • Pflanzen

Erträge	dt·ha <sup>-1</sup>	Bodendurchwurzelung	cm·cm <sup>-3</sup>
Inhaltsstoffe	%	Biomasseentwicklung	kg·ha <sup>-1</sup>
Entzüge – N, P, K, Mg	kg·ha <sup>-1</sup>	Bestandesbonituren	DC

## ERGEBNISSE

### Faktoreinsatz und Schutz der Ressource Energie

Der Verbrauch fossiler Energie im Vorleistungsbereich durch den agronomischen Faktoreinsatz (Düngung, Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz ...) verursacht CO<sub>2</sub>-Emissionen und trägt somit zum Treibhauseffekt bei.

Die Emissionsraten für ausgewählte Faktorkombinationen des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches wurden berechnet nach

$$q_m(\text{CO}_2) = E(\text{Faktor}) \cdot Q_{m,E}(\text{Faktor})$$

mit	$q_m(\text{CO}_2)$	Emissionsrate (Massenstromdichte) von CO <sub>2</sub> (in kg·ha <sup>-1</sup> )
	$E(\text{Faktor})$	Emissionsfaktor (in kg CO <sub>2</sub> je Einheit der Bezugsgröße des eingesetzten Faktors)
	$Q_{m,E}(\text{Faktor})$	Faktoreinsatz (in Einheiten der Bezugsgröße)

Eine ausführliche Darstellung der Berechnungsgrundlagen (Energiewerte, CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren) wird bei Dämmgen und Rogasik (1996) gegeben.



Der flächenbezogene Ausstoß von  $\text{CO}_2$  wird bei reduziertem Produktionsmitteleinsatz vermindert. Die produktmengenbezogene  $\text{CO}_2$ -Emission wird entscheidend vom Ertrag beeinflusst. Auf der Grundlage von Ergebnissen aus dem Müncheberger Dauerfeldversuch kann der Schluß gezogen werden, daß eine produktmengenbezogene Reduktion der  $\text{CO}_2$ -Emission nicht zu erwarten ist, wenn die Erträge durch Reduzierung des Faktoreinsatzes um mehr als 20 % absinken. In den Versuchspartellen mit praktisch ausschließlicher organischer Düngung (N1+Stm 2) ist die GE-Leistung der Fruchtfolge etwa um 30% geringer verglichen mit Varianten des konventionellen oder integrierten Landbaus (Abb. 2). Die  $\text{CO}_2$ -Freisetzung bezogen auf das erzeugte Produkt steigt an (Tab. 4).

Wie die kumulativen GE Erträge in Abhängigkeit von der Mineraldüngung bei differenzierter organischer Düngung zeigen, muß ein reduzierter Düngemiteinsatz nicht mit signifikanten Ertragsminderungen verbunden sein (Abb. 2). Für sandige Ackerstandorte liegt das N - Optimum für ausschließliche Mineraldüngung bei  $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , für hohe organische Düngung bei  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  im Mittel der Fruchtfolge (vgl. Abb. 2).

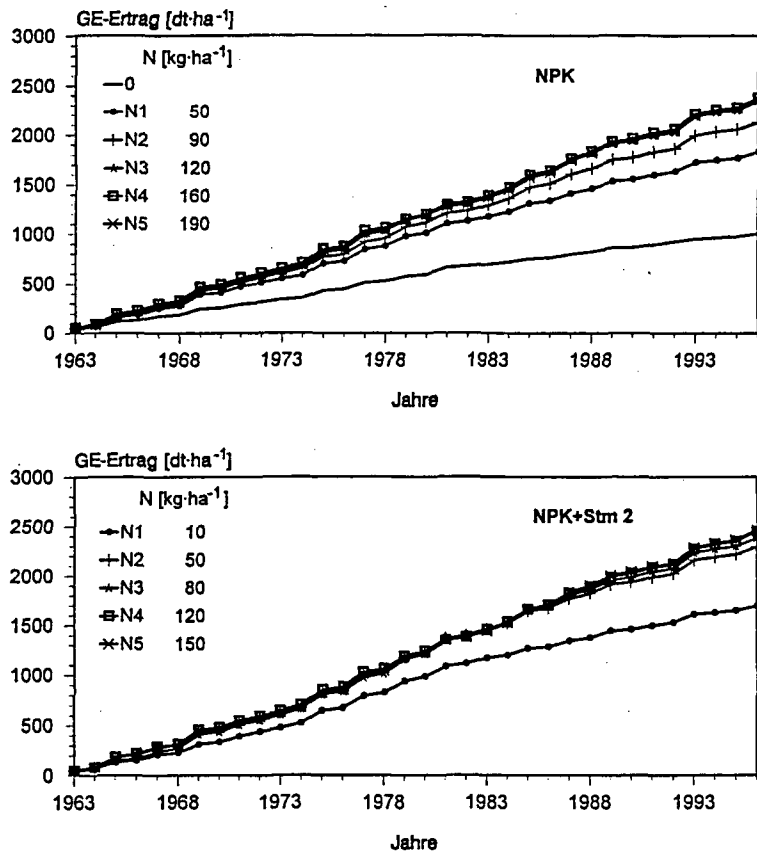


Abb. 2 Kumulative GE-Erträge in Abhängigkeit von der Mineraldüngung bei differenzierter organischer Düngung  
Fig. 2 Cumulative yield of cereal units in relation to mineral fertilization and organic manure

**Tabelle 4** Produktmengenbezogene CO<sub>2</sub>-Emission bei unterschiedlichen Wirtschaftsweisen für sandige Böden Ostbrandenburgs (DÄMMGEN und ROGASIK, 1996) k: konventionell, e: extensiv, ö: ökologisch  
**Table 4** Crop yield related CO<sub>2</sub> production under different farming systems sandy soils of Brandenburg (DÄMMGEN and ROGASIK, 1996) k: conventional, e: extensive, ö: ecological

Kartoffel			Zuckerrübe			Winterweizen			Sommergerste		
k	e	ö	k	e	ö	k	e	ö	k	e	ö
mittlere Ertrag in t · ha <sup>-1</sup>											
36	32	24	52	45	36	5,0	4,3	2,5	4,3	3,5	3,1
Standardabweichung in t · ha <sup>-1</sup>											
14	10	5	10	9	9	1,9	1,4	1,1	1,1	1,0	1,3
Emissionsdichte in t · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> CO <sub>2</sub>											
1,7	1,5	1,5	1,0	0,83	0,7	0,93	0,76	0,56	0,75	0,57	0,39
Emission in t CO <sub>2</sub> je t Ernteprodukt											
0,046	0,047	0,062	0,020	0,018	0,020	0,19	0,18	0,23	0,18	0,16	0,13

#### *Faktoreinsatz und Schutz der Ressource Boden*

Der Schutz der Ressource Boden ist eng verbunden mit der Aufgabe, die Senkenwirkung der Böden für Kohlenstoff und Stickstoff zu erhalten und somit die negativen Wirkungen auf die Produktion klimarelevanter Spurengase und den dadurch verursachten Treibhauseffekt zu minimieren. Quantitative Aussagen erfordern Untersuchungen der Nährstoffkonzentrationen im Boden, Bilanzierung der Stoffein- und -austräge sowie die Aufklärung der Ursachen, die zu vermehrter N<sub>2</sub>O-Emission führen.

#### *Möglichkeiten der Speicherung von Kohlenstoff im Boden*

Der Kohlenstoff der organischen Bodensubstanz ist mit  $1,5\text{--}2,0 \cdot 10^{12}$  t eine bedeutende Komponente des Welt-Kohlenstoff-Reservoirs (Dixon und Turner, 1991; Kuikman und Gorissen, 1993). Der Verlust an Kohlenstoff aus der organischen Substanz in den letzten 200 Jahren vor allem als Folge von Landnutzungsänderungen und Managementmaßnahmen ist bedeutend. Gegenwärtig wird mit einer mittleren C-Freisetzung von Boden und Bestand in Höhe von  $10 \cdot 10^9$  t · a<sup>-1</sup> C gerechnet. Die Werte schwanken in weiten Grenzen.

Der C-Pool wird in Abhängigkeit von Standort, Bodenfruchtbarkeitszustand und Management für die Hauptbodengesellschaften der Bundesrepublik Deutschland auf 3 bis 20 kg · m<sup>-2</sup> C<sub>org</sub> geschätzt. Von Van Breemen und Feijtel (1990) wird eine Speicherkapazität von 5 bis 35 kg · m<sup>-2</sup> C<sub>org</sub> angegeben.

Das Management hat den dominierenden Einfluß auf die Veränderung der organischen Bodensubstanz. Ein Effekt im Sinne einer CO<sub>2</sub>-Senke wird durch Zufuhr organischer Düngetrockenmasse erreicht. Eine mittelfristig anhaltende C-Akkumulation besonders auf sandigen Ackerstandorten ist jedoch nur mit hohen Inputs möglich (Tab. 5). Kurzfristige Änderungen im Gehalt des Bodens an organi-

scher Substanz betreffen im wesentlichen die leichtumsetzbaren Bestandteile (Körschens, 1992; Smukalski und Rogasik, 1992).

**Tabelle 5** Gehalte, Verluste und Akkumulation an organischer Substanz als Funktion des Managements auf einem Podzoluvisol/Arenosol (1963 bis 1990) (ROGASIK *et al.*, 1994)

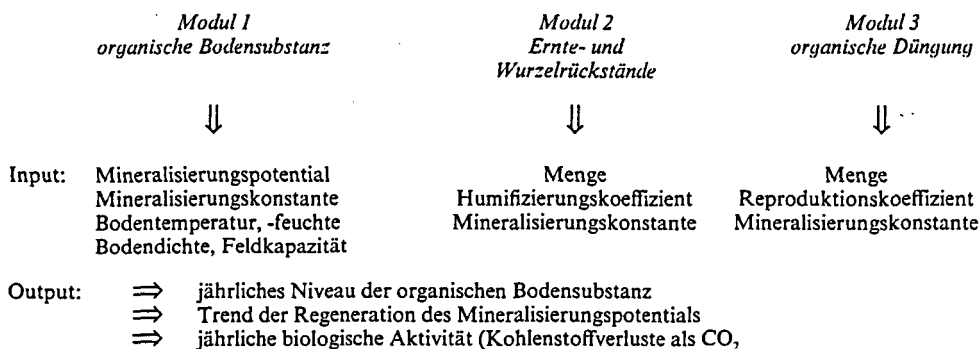
**Table 5** Concentrations, losses and gains of organic carbon as a function of management (podzoluvisol/arenosol at Müncheberg/Germany, 1963–1990) (ROGASIK *et al.*, 1994)

Düngungsvariante	$C_{org}$ -Vorrat im Ober-		Kohlenstoff-Bilanz $\Delta C_{org}$	
	und Unterboden		jährlich	kum. nach 28 Jahren
	[kg · m <sup>-2</sup> C]		[g · m <sup>-2</sup> · a <sup>-1</sup> C]	[g · m <sup>-2</sup> C]
NPK+3,2 t · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> TM	3,65		+7	+196
NPK+1,2 t · ha <sup>-1</sup> · a <sup>-1</sup> TM	3,26		-7	-196
NPK	2,91		-17	-476
ungedüngt	2,77		-23	-644

Verluste:  $\Delta C_{org} < 0$ , Akkumulation:  $\Delta C_{org} > 0$

Die Umsetzungsprozesse der organischen Bodensubstanz wurden auf der Basis der im Müncheberger Dauerversuch erhobenen Parameter mit einem einfachen Modell (Kinetik 1. Ordnung) kalkuliert (Lüttich und Rogasik, unveröffentlicht):

Modellstruktur zur Quantifizierung der Umsetzungsprozesse der organischen Bodensubstanz



Veränderungen der organischen Bodensubstanz am Standort Müncheberg können wie folgt zusammengefaßt werden (Rogasik *et al.*, 1995):

- Die Zufuhr von 3,2 t · ha<sup>-1</sup> · a<sup>-1</sup> organische Düngetrockenmasse (NPK+Stm2) bewirkte einen Anstieg von etwa 0,1%  $C_{org}$  im Oberboden im 30-jährigen Versuchszeitraum. Demgegenüber steht eine Verminderung der organischen Bodensubstanz durch reduzierte organische Düngung bzw. ausschließliche Mineraldüngung im gleichen Versuchszeitraum (Abb. 3).

#### Qualität der organischen Bodensubstanz

Neben der quantitativen Ausprägung des Senkenpotentials des Bodens für Kohlenstoff und damit für CO<sub>2</sub> werden auch qualitative Merkmale wie Molekulargewichtsverteilung und Funktionalität der OBS vom Management entscheidend

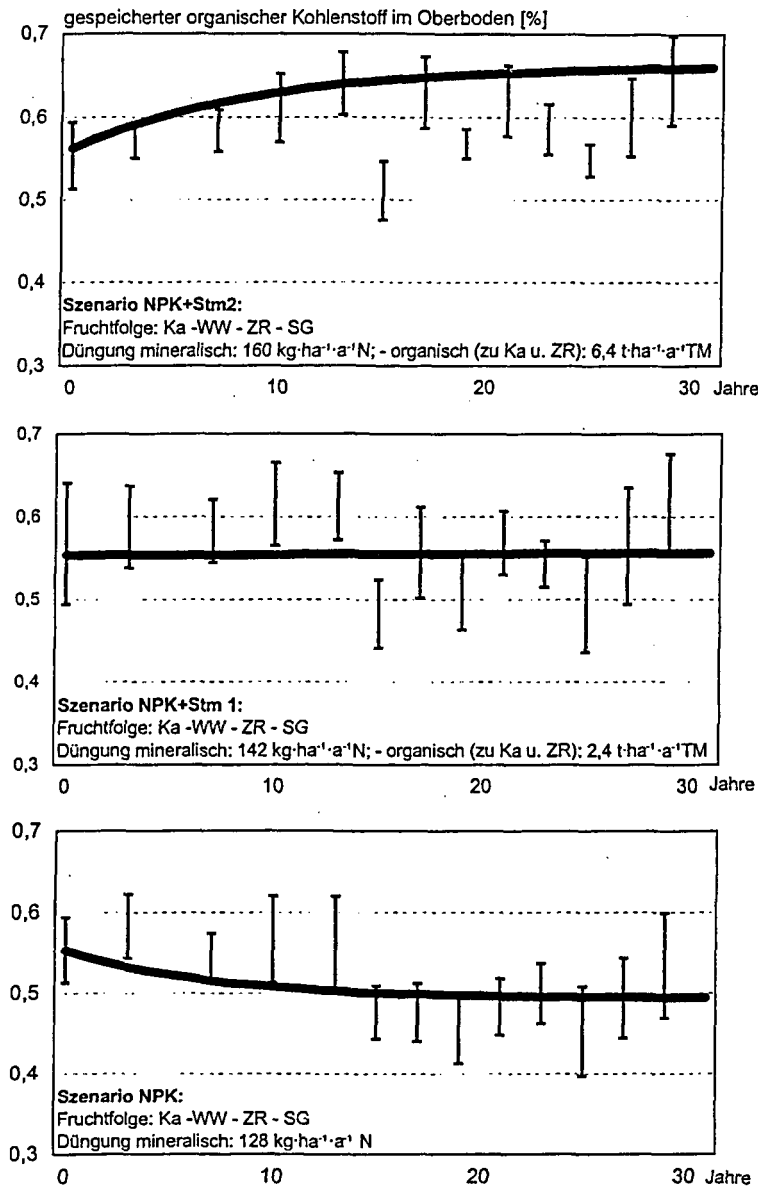


Abb. 3 Kalkulation der organischen Bodensubstanz für den Oberboden (0...25 cm)  
Fig. 3 Model calculations of organic matter in the topsoil (0...25 cm)

beeinflusst (Capriel *et al.*, 1992; Ellerbrock *et al.*, 1997; Rogasik *et al.*, 1996, 1997). Abbildung 4 demonstriert anhand von Chromatogrammen die unterschiedliche Molekulargewichtsverteilung der organischen Bodensubstanz in den Varianten "ungedüngt" und "NPK+Stm2". Letztere zeichnet sich durch einen größeren Anteil von Komponenten mit höherem Molekulargewicht aus.

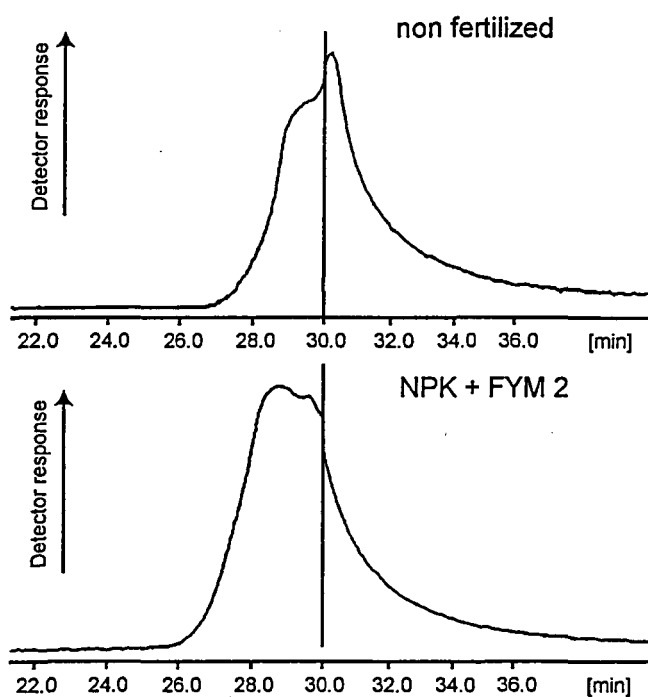


Abb. 4 Molekulargewichtsverteilung der organischen Bodensubstanz in den Varianten ungedüngt und NPK+Stm 2 (Gelpermeations-Chromatogramme der Na-Pyrophosphat-Extrakte, Dauerversuch V140/00, Müncheberg)  
 Fig. 4 Molecular weight distribution of soil organic matter of non fertilized and NPK+FYM 2 plot (Gel permeation chromatograms of the sodium pyrophosphate extracts, Long Term Fertilizer Experiment V140/00, Müncheberg)

Kombinierte organisch-mineralische Düngung (NPK+Stm 2) erhöht außerdem die Anzahl der Carboxylgruppen in der organischen Bodensubstanz (siehe Abb. 5, Wellenzahl =  $1636\text{ cm}^{-1}$ ). Langjährige Strohdüngung (NPK+Stroh) hat einen vergleichsweise geringeren Anteil von Carboxylgruppen in der organischen Bodensubstanz zur Folge. Der Gehalt an Carboxylgruppen in der organischen Bodensubstanz ist mit dem Bindungsvermögen gegenüber Kationen korreliert. Diese Verknüpfung wird durch das Düngemanagement beeinflusst und damit die Austauschfähigkeit für Nährstoffe entscheidend mitbestimmt (Tab. 6).

#### *Faktoreinsatz und Schutz der Ressourcen Luft und Wasser*

##### *Stickstoffbilanzen*

Allgemein bekannt ist, daß das Risiko von N-Verlusten mit zunehmendem Nährstoffangebot ansteigt. Bei der Stickstoffbilanzierung sind deshalb neben der Zufuhr aus organischer und mineralischer Düngung, die N- und C-Vorräte im Boden sowie deren Umsetzungsbedingungen zu berücksichtigen.  $\text{NO}_3$ -Austräge oder  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen können durch das Einbeziehen möglichst vieler Bilanzgrößen bei der Kalkulation des Nährstoffbedarfs reduziert werden (Smukalski *et al.*, 1993).

Die Beziehungen zwischen dem Gehalt an  $\text{C}_{\text{org}}$  bzw.  $\text{N}_{\text{min}}$  und der N-Bilanz illustrieren die Abbildungen 6 und 7. Danach ist die Erhaltung eines standorttypischen

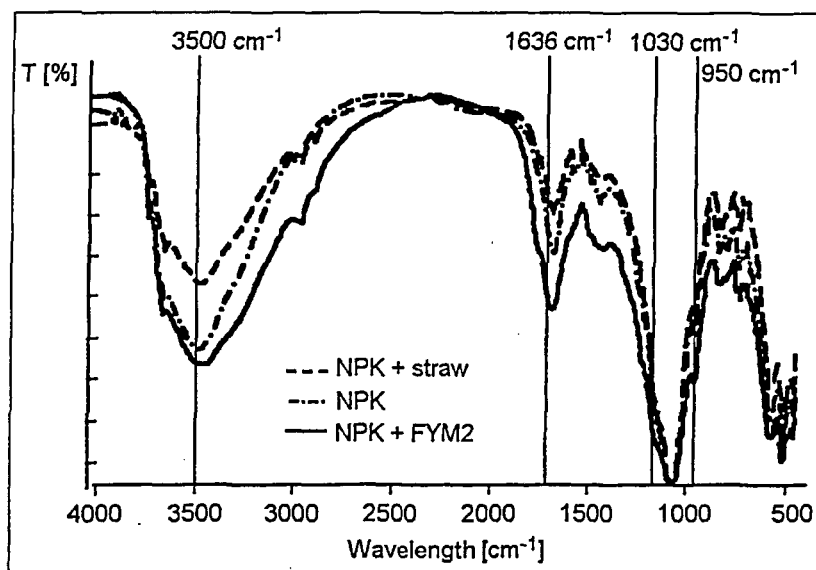


Abb. 5 FT-IR Spektren der organischen Bodensubstanz (rel.) in Abhängigkeit vom Düngungs-niveau: NPK+Stm 2, NPK, NPK+Stroh (Na-Pyrophosphat-Extrakte, Dauerversuch V 140/00, Müncheberg)  
 Fig. 5 FT-IR spectra of soil organic matter (rel.) in relation to fertilizer treatments: NPK+FYM 2, NPK, NPK+straw (sodium pyrophosphate extracts, Long Term Fertilizer Experiment V140/00, Müncheberg)

Tabelle 6 Einfluß der organischen und mineralischen Düngung auf die Kationenaustauschfähigkeit (Dauerversuch V 140/00, Müncheberg)  
 Table 6 Influence of organic manuring and mineral fertilization of the CEC (Long Term Field Experiment V 140/00, Müncheberg)

	$C_{org}$ [%]		Austauschkapazität [mval · kg <sup>-1</sup> ]	
	0–25	25–50 cm	0–25 cm	25–50 cm
ungedüngt	0,47	0,26	37	26
NPK	0,52	0,30	37	30
NPK+Stm1	0,54	0,29	40	31
NPK+Stm2	0,57	0,31	41	32
NPK+Stroh	0,56	0,32	37	29

Kohlenstoffgehaltes im Boden auf sandigen Ackerstandorten nur bei N-Bilanzüberschüssen von 30–40 kg·ha<sup>-1</sup> möglich (Abb. 6). Dies hat erwartungsgemäß den Anstieg des N<sub>min</sub>-Gehaltes im Boden zur Folge (Abb. 7). Damit steigt gleichzeitig die Gefahr von N-Verlusten durch NO<sub>3</sub>-Ausrag bzw. N<sub>2</sub>O-Emission.

#### N<sub>2</sub>O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden

Eine große Anzahl natürlicher Faktoren beeinflusst die mikrobiellen Prozesse im Boden, die N<sub>2</sub>O produzieren (z. B. Bodentemperatur, Bodenfeuchte, N<sub>min</sub>, C<sub>org</sub>, pH, ...). Das agronomische Management beeinflusst vor allem über Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung diese natürlichen Abläufe. Die anthropogene N<sub>2</sub>O-

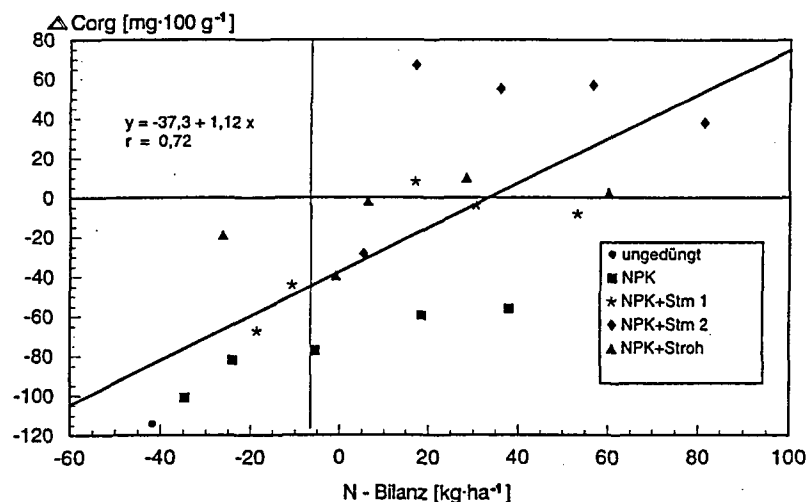


Abb. 6 Veränderungen der organischen Bodensubstanz ( $\Delta C_{org}$ ) als Funktion der N-Bilanz (Nährstoffsteigerungsversuch, Müncheberg Profiltiefe 0 – 25 cm)

Fig 6 Changes in soil organic matter ( $\Delta C_{org}$ , final value: initial value) as a function of N balance (Long Term Fertilizer Experiment, Müncheberg, soil depth 0 – 25 cm)

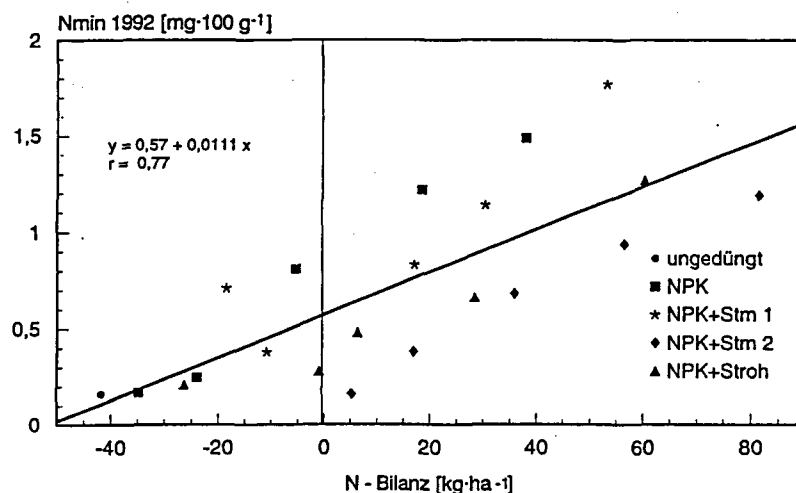


Abb. 7  $N_{min}$ -Konzentration im Oberboden als Funktion der N-Bilanz im Nährstoffsteigerungsversuch Müncheberg, 1992

Fig. 7  $N_{min}$  concentration in soil as a function of N balance (Long Term Fertilizer Experiment, Müncheberg, 1992)

Emission ist in Landnutzungssystemen mit hohem N-Input am größten. Die bisher geschätzten  $N_2O$ -Emissionen variieren sehr stark (vgl. z.B. Thornton und Valente, 1996), deshalb beschränkt man sich bei der Berechnung des emittierten  $N_2O$  in der Regel auf Emissionsfaktoren, die sich auf Art und Menge des aufgewendeten Stickstoff-Düngers beziehen.

Erste Messungen der  $N_2O$ -Emission auf ausgewählten Parzellen des Müncheberger Dauerversuches geben die typischen Emissionsraten unter Getreide wieder (Abb. 8). Auf Grund der hohen  $N_2$ -Fixierung durch Leguminosen ist bei anschließender Mineralisierung der mikrobiellen Biomasse mit höheren N-Verlusten durch  $N_2O$ -Emission zu rechnen. Die Beträge für Erbsen liegen auf sandigen Ackerstandorten etwa doppelt so hoch wie bei Getreide.

### SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die langfristigen Beobachtungs- und Meßreihen des Müncheberger Dauerversuches sind zur Quantifizierung von Langzeiteffekten hinsichtlich Energieeinsatz und  $CO_2$ -Freisetzung, C-Speicherung im Boden, Bilanzierung der N-Düngung und  $N_2O$ -Emission geeignet. Die Ergebnisse sind wesentliche Bausteine für ressourcenschonende Landnutzungssysteme.

- Durch optimierten Einsatz von Treib- und Schmierstoffen, mineralischen und organischen Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln kann die Emission klimawirksamer Spurengase gemindert werden.
- Systemimmanent für umweltgerechte, nachhaltige Wirtschaftsweisen sind nur die Maßnahmen, die die organische Bodensubstanz und somit das Senkenpotential des Bodens für  $CO_2$  erhalten.
- Molekulargewicht und Funktionalität der organischen Bodensubstanz werden durch das Management beeinflusst.

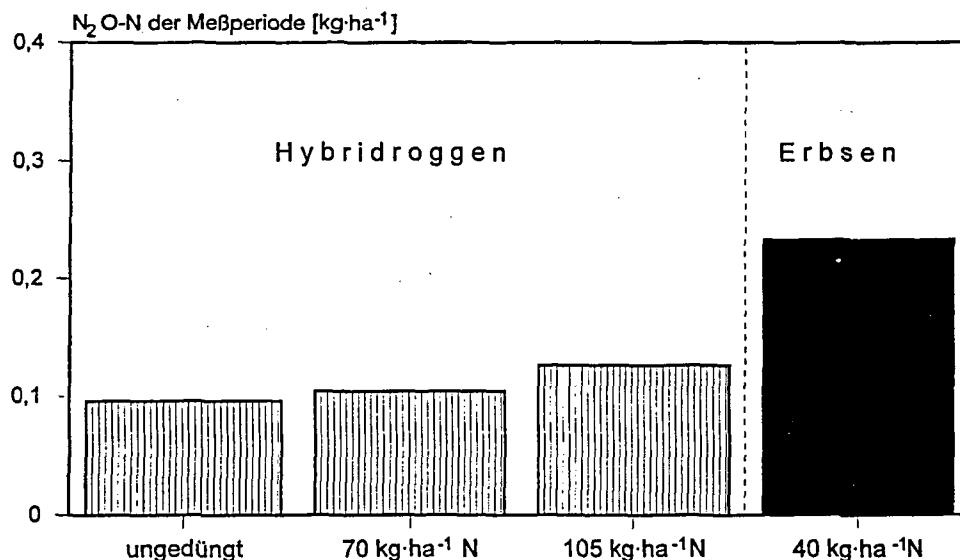


Abb. 8 Saisonale  $N_2O$ -Abgaberate auf dem Standort Müncheberg in Hybridroggen und Erbsenbeständen (Meßperiode 1996: Wochen 19–24)

Fig. 8 Seasonal  $N_2O$  emissions from long-term different fertilized arable soil (Müncheberg, field experiments with winter rye and peas, weeks 19–24 in 1996)



- $C_{org}$ - und  $N_{min}$ -Gehalte des Bodens sind Funktionen der N-Bilanz. Als Konsequenz hoher N-Überschüsse ist mit steigenden Konzentrationen von  $NO_3-N$  und  $NH_4-N$  im Boden zu rechnen.
- Die Höhe des  $NO_3$ -Gehaltes im Boden beeinflusst im Zusammenspiel mit Bodenwassergehalt, Temperaturverläufen, Wurzel- und Bestandsentwicklung sowie mikrobieller Aktivität entscheidend die  $N_2O$ -Abgaberraten in die Atmosphäre bzw. Nitratausträge ins Grundwasser.
- Erfolgreiche  $N_2O$ -Vermeidungsstrategien können durch Managementmaßnahmen erreicht werden, die ein optimales Pflanzenwachstum gewährleisten und N-Verluste aus dem System Boden-Pflanze verhindern.

### Literatur

- Capriel, P., Härter, P., Stephenson, D.: Influence of management on organic matter of a mineral soil. *Soil Science* 135, S. 122–128 (1992)
- Dämmgen, U. und Rogasik, J.: Einfluß der Land- und Forstbewirtschaftung auf Luft und Klima. In: Linckh, G.; Sprich, H.; Flaig H.; Mohr, H. (Hrsg.) Nachhaltige Land- und Forstwirtschaft. *Expertisen. Akademie für Technikfolgeabschätzungen* Stuttgart, Springer-Verlag, 850 S. (1996)
- Dixon, R.K.; Turner, D.P.: The Global Carbon Cycle and Climate Change: Responses and Feedbacks from Below-ground Systems. *Environmental Pollution* 73, S. 245–262 (1991)
- Ellerbrock, R.; Höhn, A. and Rogasik, J.: Functional analyses of soil organic matter composition with respect to soil management. Im Druck (1997)
- Körschens, M.: Simulationsmodelle für den Umsatz und die Reproduktion der organischen Substanz im Boden. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Hamburg, Berlin: Parey, Bd. 4. *Humushaushalt. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft*; N. F., 206, S. 140 – 154 (1993)
- Kuikman, P.J.; Gorissen, A.: Carbon fluxes and organic matter transformation in plant-soil-systems. In: van den Geijn, S.C.; Goudriaan, J.; Berendse, F. (Hrsg.): Climate change; crops and terrestrial ecosystems. *Agrobiological Themes* 9. Wageningen: DLO Centre for Agrobiological Research (CABO-DLO) S. 97–107 (1993)
- Rogasik, J.; Dämmgen, U.; Lüttich, M. und Obenauf, S.: Wirkungen physikalischer und chemischer Klimaparameter auf Bodeneigenschaften und Bodenprozesse. In: Brunnert, H., Dämmgen, U. (Hrsg.): Klimaveränderung und Landbewirtschaftung Teil II. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 148, S. 107–139 (1994)
- Rogasik, J.; Dämmgen, U. und Lüttich, M.: Ökosystemare Betrachtungen zum Einfluß klimatischer Faktoren und veränderter Intensität der Landnutzung auf Quellen- und Senkeneigenschaften von Böden für klimarelevante Spurengase. *Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der HU Berlin*, 3, S. 37–58 (1995)
- Rogasik, J.; Obenauf, S.; Lüttich, M.; Scholz-Seidel, C.: Sink and source properties of soils and plants for greenhouse gas emissions influenced by soil and crop management. Abstracts of the International Conference on Sustainable Crop Production in Fragile Environments, CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India, Nov. 25 – 28, S. 116 (1996)
- Rogasik, J.; Obenauf, S.; Lüttich, M.; Scholz-Seidel, C.; Ellerbrock, R.: Agriculture and the greenhouse effect – influences of soil and crop management on sinks and sources for  $CO_2$ . International Conference on Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry. Books of Abstracts, Braunschweig, S. 300 (1997)
- Smukalski, M.; Kundler, P.; Rogasik, J.: Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch. Dauerfeldversuche der DDR, Berlin, S. 251–259 (1990)
- Smukalski, M.; Rogasik, J.: Nährstoffbilanzen und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit bei extensivem bis intensivem Wirtschafts- und Mineraldüngereinsatz. Maercker-Symposium zum 90jährigen Bestehen des Statischen Düngungsversuchs Bad Lauchstädt: "Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik", 9. – 12.6. 1992 in Bad Lauchstädt, S. 36–41
- Smukalski, M.; Rogasik, J.; Obenauf, S.: Nährstoffumsatz und Nährstoffbilanzen bei ackerbaulicher Nutzung pleistozäner Sandböden in Abhängigkeit von Nährstoffzufuhr und Fruchtfolge – Ergebnisse aus Müncheberger Dauerfeldversuchen. *Landbauforschung Völkenrode* 43 (4), S. 211–223 (1993)

- Thornton, F. C., Valente R. J.: Soil emissions of nitric oxide and nitrous oxide from no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **60**, S. 1127–1133 (1996)
- Van Breemen, N.; Feijtel, T.C.J.: Soil processes and properties involved in the production of greenhouse gases, with special relevance to soil taxonomic systems. In: Bouwman, A.F. (Hrsg.): *Soils and the greenhouse effect. Proceedings of the International Conference Soils and the Greenhouse Effect*. Wageningen, S. 195–223 (1990)