



UFZ-Bericht

UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht • UFZ-Bericht

UFZ - Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Nr. 24/1999

Internationales Symposium
vom 3. bis 5. Juni 1999 in Halle/Saale
**Dauerdüngungsversuche als Grundlage für
nachhaltige Landnutzung und
Quantifizierung von Stoffkreisläufen**

120 Jahre "Ewiger Roggenbau"
50 Jahre Hallenser Dauerdüngungsversuche

Kurzfassungen der Beiträge

Hrsg.: Wolfgang Merbach und Martin Körschens

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Landwirtschaftliche Fakultät

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung

ISSN 0948-9452



INTERNATIONALES SYMPOSIUM

Dauerdüngungsversuche als Grundlage für nachhaltige Landnutzung und Quantifizierung von Stoffkreisläufen

Vom 3. bis 5. Juni 1999 in Halle/Saale

120 Jahre „Ewiger Roggenbau“
50 Jahre Hallenser Dauerdüngungsversuche

Veranstalter:

Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Deutsche Gesellschaft für Pflanzenernährung
Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung
International Society for Sustainable Agriculture & Ressource Management, Hisar (Indien)
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft

Schirmherr:

Der Minister für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten des Landes Sachsen-Anhalt,
Herr **Johann Konrad Keller**

Sponsoren:

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) Bonn
- Stadt Halle, Amt für Wirtschaftsförderung
- Gesellschaft der Freunde der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther-Universität
- Kali und Salz GmbH Kassel
- Kultusministerium des Landes Sachsen-Anhalt
- Stiftungsfonds der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Hrsg.: Wolfgang Merbach und Martin Körschens

Inhalt und Form der Beiträge liegen in ausschließlicher Verantwortung der jeweiligen Autoren.

Vorwort

Böden und Ökosysteme reagieren infolge ihrer Puffereigenschaften auf unterschiedliche Landnutzung oder klimatische Veränderungen meist nur sehr allmählich. Quantitative Aussagen sind deshalb oft erst nach vielen Jahrzehnten möglich. Dauerfeldversuche gestatten es, z. B. durch den Vergleich unterschiedlicher Düngungsvarianten, derartige Langzeitwirkungen für den jeweiligen Standort experimentell nachzuweisen und daraus nachhaltige, umweltgerechte Nutzungskonzeptionen abzuleiten.

Die Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg verfügt mit dem 1878 von Julius Kühn begründeten Versuch **“Ewiger Roggenbau”** über einen der weltweit wohl bedeutendsten Dauerdüngungsversuche, neben dem **Broadbalkfield** in Rothamsted (Großbritannien) und dem **Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt**. Außerdem existieren in Halle noch vier weitere Dauerdüngungsversuche sowie ein Dauerversuch zur Bodenbildung, die alle von Karl Schmalfuß angelegt wurden. Diese Versuche gilt es auch in Zukunft sorgfältig zu erhalten und optimal zu nutzen. Bezieht man die benachbarten Bundesländer Sachsen, Brandenburg und Berlin mit ein, so stehen uns 20 Dauerfeldversuche zur Verfügung, die unter recht unterschiedlichen Standortbedingungen die Überprüfung der Nachhaltigkeit verschiedener Landnutzungsverfahren erlauben.

Diese Erwägungen waren Grund genug, aus Anlaß des 120-jährigen Bestehens des “Ewigen Roggenbaus” und des 50-jährigen Jubiläums der Gründung der Schmalfußschen Dauerdüngungsversuche in Halle ein Internationales Symposium durchzuführen, an dem etwa 200 Fachleute aus dem In- und Ausland teilnahmen. Die Tagung stand unter dem Motto “Dauerdüngungsversuche als Grundlage für nachhaltige Landnutzung und Quantifizierung von Stoffkreisläufen”. In etwa 45 Vorträgen und 70 Postern wurden die Ergebnisse der Hallenser Dauerversuche und 40 weiterer Langzeitversuche aus 10 Ländern dargestellt. Dabei zeigte sich die Bedeutung solche Feldexperimente zur Erkennung und Dokumentation langfristiger Veränderungen bei Böden und Pflanzen, für wissenschaftlich “belastbare” Folgeabschätzungen unterschiedlicher Düngungs- und Bewirtschaftungsverfahren sowie zur Prognose zukünftiger Entwicklungen. Darüber hinaus wurde der Einfluß langfristig unterschiedlicher Düngung und Landnutzung auf das Nährstoffnachlieferungs- und Schadstoffpufferungsvermögen, die Einstellung neuer Fließgleichgewichte in Böden und die Bodenentwicklung quantifiziert. Nicht zuletzt galt das Interesse der Rolle von Dauerdüngungsversuchen als Basis für die Aufklärung grundlegender Prozesse im System Pflanze - Boden.

Der vorliegende Band enthält die Kurzfassungen eines großen Teils der Vorträge und Poster, die auf dem Symposium präsentiert wurden. Bei der Fertigstellung haben Frau Mohr (Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle), Herr Dr. Wittenmayer sowie Herr Dr. Gransee (beide Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) umfangreiche Organisations-, Schreib- und Korrekturarbeiten übernommen. Ihnen gebührt unser besonderer Dank. Ferner sind wir auch allen

auf der Titelseite aufgeführten Organisatoren und Sponsoren des Symposiums zu Dank verpflichtet.
Für die Herausgabe des Tagungsbandes betrifft dies in besonderem Maße das UFZ Leipzig-Halle,
das die Druckkosten übernommen hat.

Halle, im Juli 1999

W. Merbach
M. Körschens

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Plenartagung I

W. Merbach, L. Schmidt, J. Garz, H. Stumpe, W. Schliephake – Halle:
Die Dauerdüngungsversuche in Halle – ein Überblick 1

L. Schmidt, J. Garz, W. Merbach – Halle:
120 Jahre Dauerdüngungsversuch
„Ewiger Roggenbau“ in Halle/Saale 5

J. Garz, L. Schmidt, H. Stumpe, W. Merbach – Halle:
50 Jahre Dauerdüngungsversuche von Schmalfuß in Halle/Saale 9

H. Stumpe – Bad Kösen:
Organisch-mineralischer Dauerdüngungsversuch („Feld F“) 13

U. Walther, H. R. Oberholzer, P. Weisskopf – Zürich, Schweiz:
50 Jahre „Humusdüngungsversuch“ Zürich – Reckenholz 17

*F. Ellmer, H. Peschke, W. Köhn, F.-M. Chmielewski,
M. Baumecker – Berlin:*
Die Dauerfeldversuche an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen
Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
Übersicht und ausgewählte Ergebnisse 21

P. Poulton, D. Powlson – Rothamsted, Großbritannien:
Are the Rothamsted experiments still relevant to
modern farming? 25

Plenartagung II

M. Körschens, A. Pfefferkorn – Halle/Bad Lauchstädt:
Bewertung der Nährstoffgehalte im
Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt 29

J. Rogasik, S. Schroetter – Müncheberg/Braunschweig
Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch – Effekte
Kombinierter organisch-mineralischer Düngung auf
Nährstoffbilanzen und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit 33

K. J. Hülsbergen, St. Biermann, W. Diepenbrock – Halle:
Die Nachhaltigkeit von Düngungssystemen anhand der
Seehausener Dauerversuche 37

<i>F.-M. Chmielewski, W. Köhn – Berlin:</i> Beziehungen zwischen Ertragsbildung und Witterung bei Winterroggen anhand langjähriger Beobachtungen	41
<i>J. Schellberg, M. Körschens, A. Hüging – Bonn/Bad Lauchstädt:</i> Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf den C- und N-Gehalt des Bodens im Dauerdüngungsversuch Dikopshof	45
<i>S. Mercik, W. Stepień, J. Łabętowicz – Warschau, Polen:</i> Results of 75 years of continuous fertilization experiments in Skierniewice	51
<i>K. Debreczeni, T. Kismányoky – Keszthely, Ungarn:</i> Dauerdüngungs-Feldversuche in Ungarn	55
 Sektion I – Nährstoffhaushalt	
<i>E. Albert – Leipzig:</i> Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalte und N-Bilanz	59
<i>L. Brenk, W. Zerulla – Limburgerhof:</i> Düngungseffekte des 40-jährigen Dauerfeldversuchs in Limburgerhof	63
<i>K. Carlgren – Uppsala, Schweden:</i> Is it possible by use of heavy fertilisation to boost the small yields normally obtained from arable land with unfavourable natural qualities to the yield levels of unfavourable land?	67
<i>S. Dev, T. Chand, S. P. S. Karwasara – Hisar, Indien:</i> Long-term effects of various phosphatic fertilizers on the productivity of pearl millet – wheat cropping sequence	71
<i>U. Haferkorn, S. Knappe – Brandis/Halle:</i> Ergebnisse 17-jähriger Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt typischer Bodenformen Mitteleuropas in der Lysimeterstation Brandis	75
<i>T. Kismányoky, K. Debreczeni – Keszthely, Ungarn:</i> The optimal nutrition of maize in the Hungarian national long-term field experimental network	79
<i>J. Baier, V. Baierová – Prag, Tschechien:</i> Nutrient intake in long-term fertilizer trials on different sites	85

<i>K. Orlovius – Kassel:</i> Langfristige Auswirkungen unterschiedlicher Kali-Versorgung in einem K-Dauerdüngungsversuch bei ständiger Anpassung an die standortspezifische Intensität	89
<i>S. R. Poonia – Hisar, Indien:</i> Sustainable soil fertility and adsorption/desorption of nutrient and non-nutrient cations in relation to soil organic matter	93
<i>S. P. Sharma, S. K. Subehia – Palampur, Indien:</i> Effect of 25 years' fertilizer use on maize-wheat yields and soil health in an acidic soil	98
<i>G. Heckrath, P. Brookes, H. P. Blume, – Tjele/Kiel:</i> Phosphorus balances and P losses by preferential flow in the Broadbalk long-term experiment at Rothamsted	99
<i>H. W. Scherer, H. E. Goldbach, J. Clemens – Bonn:</i> Einfluß langjähriger differenzierter K-Düngung auf K-Bindungs- formen und K-Nachlieferung einer Parabraunerde aus Löß	103
<i>H. Spiegel, T. Lindenthal – Wien, Österreich:</i> Ergebnisse von drei 40jährigen Dauerversuchen in Österreich	107
<i>A. Weigel, R. Russow, M. Körschens, W. Schaecke – Halle:</i> Ermittlung des atmogenen N-Eintrages aus N-Bilanzen von Dauerfeldversuchen und dessen Validierung durch direkte Messungen mit dem ITNI-System am Beispiel des Standortes Bad Lauchstädt	111
<i>Ph. Wenz, N. Claassen, W. Römer – Göttingen:</i> Boden-Kalium-Gehalte und Erträge in einem langfristigen K-Düngungsversuch sowie die Wirkung einer Salzdüngung auf die Zuckerrübe	115
<i>W. Römer, K. Wulff, N. Claassen – Göttingen:</i> Auswirkungen einer zehnjährigen differenzierten P-Düngung auf Erträge und P-Gehalte in zwei Sandböden	117
Sektion II - Bodenmikrobiologie	
<i>J. G. Anthes, K. Schmidtke; R. Rauber – Göttingen:</i> Zur Selbstregulierung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen ?	121
<i>R. K. Behl, R. Singh, K. P. Singh, P. L. G. Vlek – Hisar, Indien/Göttingen:</i> Response of wheat genotypes to dual inoculation of VA mycorrhiza and Azotobacter for phosphorus use efficiency based on long-term trials	125

A. L. Khurana, S. S. Dudea, M. Singh – Hisar, Indien:
Increasing the efficiency of phosphatic fertilizer with phosphate
Solubilizing bacteria to improve soil fertility and chickpea
(*Cicer arietinum*) productivity 129

V. Kumar, R. K. Behl, N. Narula – Hisar, Indien:
Studies of NPK uptake and their concentration in P responsive
wheat varieties as influenced by *Azotobacter chroococcum*
isolates-mutants under field conditions 133

Sektion III – Organische Düngung und C/N-Kreislauf

A. P. Gupta, R. P. Narwal, R. S. Antil – Hisar, Indien:
Direct, residual and cumulative effect of farmyard manure
application on the nitrogen response to pearl millet-wheat
cropping sequence 137

J. Kubát, J. Klir, D. Cerhanová – Prag, Tschechien:
Quantification of the carbon and nitrogen cycles in
long-term field experiments in Prague 141

D. S. Thakur, P. N. Bapat, B. R. Tembhare – Boirdadar, Indien:
Studies on mineral and organic fractions of nitrogen fertilizers
In vertisols of India 145

G. Guggenberger, G. Rubæk, B. Christensen – Beyreuth/Tjele, Dänemark:
Labile organische P-Formen in Böden
des Dauerdüngungsversuches Askov 149

Sektion IV – Spezialuntersuchungen in Dauerversuchen

T. Gaiser, B. Fadegnon, M. Cretenet, C. Gaborel
- Hohenheim/Montpellier, Frankreich:
Long-term Experiment on a Tropical Acrisol: Evolution of Soil
Properties and Crop Yield 153

R. Singh, D. P. Singh, O. P. S. Verma – Hisar, Indien:
Response of Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]
hybrids to integrated nutrient management in
semi-arid tropical environment 157

H. Böttcher, D. Weipert, J. Garz – Halle:
Verarbeitungsfähigkeit des Erntegutes aus dem Dauerversuch
„Ewiger Roggenbau“ in Halle/Saale 163

H. Dörfel, K. Warnstorff – Halle:
Statistische Auswertung des Dauerversuches
„Ewiger Roggenbau“ 167

B. D. Kiryushin, F. Ellmer – Moskau, Rußland/Berlin:
 Ausgewählte Ergebnisse des Moskauer Dauerfeldversuches
 im Blick auf den russischen Ackerbau 171

Poster

Birgit Hütsch – Gießen:
 Methanoxidation im Boden unter dem Einfluß
 langjähriger N-Düngung im „Ewigen Roggenbau“
 in Halle und in Dauerversuchen in Rothamsted 175

O. Erekul, F. Ellmer, W. Köhn – Berlin:
 Einfluß langjährig differenzierter organisch-mineralischer Düngung
 auf Kornertrag und Backqualität von Winterweizen 179

H. Peschke, St. Mollenhauer, W. Köhn – Berlin:
 Ausgewählte Aspekte des Stickstoffhaushaltes
 eines schluffigen Sandbodens in Abhängigkeit
 von organischer und mineralischer Düngung 183

M. Baumecker, F. Ellmer, U. Steffin – Berlin:
 Wirkungen langjährig differenzierter Fruchtfolge und
 Düngung auf Humusgehalt und Getreideertrag 187

S. Hoffmann, T. Kismányoky, J. Balász – Keszthely, Ungarn:
 Soil fertility in a long-term fertilizer trial with different tillage systems 191

J. Balázs, S. Hoffmann, T. Kismányoky – Keszthely, Ungarn:
 Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung
 auf Ertrag und Boden im IOSDV-Versuch Keszthely 195

V. Bosak:
 Dynamik des Nährstoffgehaltes im Boden
 in Abhängigkeit vom Düngungsniveau 199

H. Beschow, A. Gransee, W. Merbach – Halle:
 Nährstoffdynamik im Verlauf der Bodenbildung auf Lößsubstrat 203

H.-G. Stock, C. Schuster, W. Diepenbrock – Halle:
 Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen – Aussagen zur
 Stickstoffdüngung im Winterweizenanbau 207

R. S. Sheoran, G. P. Lodhi, S. K. Pahuja –
 Effect of continuous fodder based sequences and fertilization
 on crop yield, nutrient uptake and soil fertility status 211

E. Kuntzsch, W. Diepenbrock – Halle:
 Etzdorfer Dauerversuche 217

<i>J. Seeger, R. Meißner, H. Rupp – Falkenberg:</i> Langzeitlysimeteruntersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Düngung und Bewirtschaftung auf das Auswaschungsverhalten relevanter Kationen und Anionen	221
<i>A. Bruß, H. Bergmann – Jena:</i> Untersuchungen zum Selen anhand von Dauerfeldversuchen	225
<i>K. Schweitzer, H. Pagel – Berlin:</i> Einfluß langjährig unterschiedlicher Düngung auf die P-Fraktionen und die P-Sorption im Boden	229
<i>B. Steingrobe – Göttingen:</i> Die Wurzelentwicklung von Zuckerrüben auf einem Sand- bzw. Lößstandort nach langjährig gestaffelter P-Düngung	233
<i>J. Raupp – Darmstadt:</i> Entwicklung des Kornertrages und der Ertragskomponenten Von Winterroggen in einem Langzeit-Düngungsversuch	237
<i>Yadvika, D. P. Singh, K. P. Singh – Hisar, Indien:</i> Utilization of bio-resource flow models of integrated farming system as holistic approach to sustain good soil health and eco-friendly environment for future agricultural development	241
<i>N. Stockfish, C. Hoffmann, H.-J. Koch – Göttingen:</i> N-Bilanz in einer Zuckerrüben – Weizen – Gerste – Fruchtfolge bei langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung	247
<i>J. Augustin, J. Rogasik – Müncheberg/Braunschweig:</i> Kurz- und Langzeiteffekte differenzierter ackerbaulicher Nutzung sandiger Böden auf die Emission klimarelevanter Spurengase (N ₂ O, CH ₄)	251
<i>A. Singh, K. Chand – Hisar, Indien:</i> Transformation of heavy metals in sludge amended soils	255
<i>K. Isermann, R. Isermann – Hanhofen:</i> (Un-)Möglichkeiten (zur weitgehenden Schließung) von Nährstoffkreisläufen bei nachhaltiger Landnutzung (auch) als Grundlage zur Anlage und Bewertung von Dauerdüngungsversuchen	259
<i>S. Ruppel, J. Rühlmann – Großbeeren:</i> Relation zwischen dem Gehalt an mikrobieller Biomasse und dem Pflanzenenertrag auf Sand-, Auenlehm- und Lößlehm Boden nach langfristig unterschiedlicher organischer und mineralischer N-Düngung	263

<i>K. Lakshminarayana, K. S. Yadav, S. Suneja, N. Narula, Y. S. Malik, N. Singh, B. K. Nehra – Hisar, Indien:</i> Improvement of microbes for higher crop productivity	267
<i>N. Narula, V. Kumar – Hisar, Indien:</i> Interaction of P-solubilizing bacteria with various varieties of wheat	273
<i>S. S. Dudea, A. L. Khurana – Hisar, Indien:</i> Long-term multilocation field evaluation of chickpea rhizobia in India	277
<i>A. Gransee, L. Wittenmayer, A. Deubel, G. Lezovic, W. Merbach – Halle:</i> Phosphatmobilisierung in der Rhizosphäre durch direkte und indirekte Wirkungen von Wurzelabscheidungen höherer Pflanzen	281
<i>J. Schulze, H. Beschow, W. Merbach – Halle:</i> Untersuchungen mit einem spezifischen Inhibitor deuten darauf hin, daß PEPC eine Rolle bei der Regulation einer variablen Sauerstoffdiffusionsbarriere im Kortex von Leguminosenknöllchen spielen könnte.	285
<i>J. Schulze, H. Beschow, W. Merbach – Halle:</i> Über welchen Mechanismus regulieren Leguminosen den C-Verbrauch der Stickstofffixierung?	289
<i>R. Krähmer – Kiel:</i> Veränderungen des pH-Wertes in der Nährlösung und im Xylemsaft von <i>Ricinus communis</i> in Abhängigkeit von der in der Nährlösung angebotenen Kationen- und Anionenart	293
<i>L. Wittenmayer, W. Merbach – Halle:</i> Migration von Verbindungen aus den Wurzelabscheidungen von Apfelsämlingen (<i>Malus x domestica</i>) der Sorte „Bittenfelder Sämling“ im Boden	297
<i>M. F. Soliman, S. F. Kostandi, A. A. Ghaly – Bacos, Egypten:</i> Timing effect of in-season N-application and planting date on yield and smut disease potentials in corn cultivars	301
<i>A. Schultz, W. Mirschel, G. Lutze, K.-O. Wenkel – Müncheberg:</i> Long-term field experiments – Basis and touchstone of agroecosystem modelling	305
<i>S. Hahn – Leipzig:</i> Risikofunktionen für Erträge, basierend auf Feldversuchsdaten sowie Expertenvorgaben	309
<i>Th. Lickfett – Göttingen:</i> In situ-Bestimmung der Stickstoff-Nettomineralisation im Herbst/Winter nach dem Anbau von Winterraps	313

E. Schulz, K. Heinrich – Halle:
Nutzung von Böden aus Dauerfeldversuchen für
Modelluntersuchungen zu Transfer- und Bindungsprozessen
organischer Fremdstoffe im System Boden – Pflanze 317

J. Łabętowicz, M. Korc – Warschau, Polen:
Phosphorus balance under the conditions of long-term experiment
on light soil 321

*G.-W. Rathke, St. Biermann, K.-J. Hülsbergen,
W. Diepenbrock – Halle:*
Energiebilanz im Feldversuch 325

Autorenverzeichnis

Die Dauerdüngungsversuche in Halle – ein Überblick

Merbach, W.¹; Schmidt, L.¹; Garz, J.²; Stumpe, H.³; Schliephake, W.⁴

¹Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Adam-Kuckhoff-Str. 17 b, D-06108 Halle (Saale), Fax (0345) 5527113, e-mail: merbach@landw.uni-halle.de

²Zechenhausstr. 4 A, D-06120 Halle

³Adolf v. Menzel-Str. 28, D-06628 Bad Kösen

⁴Feldstraße 7a, D-06188 Oppin

1. Allgemeine Bedeutung von Dauerversuchen

Dauerversuche sind in mehrfacher Hinsicht bedeutungsvoll (Schilling, 1997; Merbach *et al.*, 1998). Da die Effekte menschlicher Tätigkeit (z. B. unterlassene Düngung oder Klärschlammanwendung) wegen der Pufferwirkung der Böden bzw. Ökosysteme erst sehr allmählich sichtbar werden, sind Dauerversuche zunächst eine einzigartige Möglichkeit, langfristige Veränderungen bei Böden und Pflanzen durch nebeneinandergelegte unterschiedliche Düngungs- oder Bewirtschaftungsvarianten zu erkennen und zu dokumentieren. Dies betrifft u. a. die Dauer und das Ausmaß des Nährstoffnachlieferungsvermögens und der Abpufferung von Schädwirkungen durch Böden, den Zeitraum und das Niveau für die Erstellung neuer Fließgleichgewichte (vgl. Körschens, 1998) oder den Verlauf von Bodenentwicklungsprozessen. Sie ermöglichen somit die **Folgeabschätzung gegenwärtiger Maßnahmen** und die **Bewertung zukünftiger Entwicklungen** und können daher fundierte **Entscheidungshilfen für die Agrar- und Umweltpolitik** liefern. Sie stellen darüber hinaus, z. B. durch das Sichtbarwerden von Nährstoffgehaltsunterschieden oder durch auftretende Mangelsymptome, ein einzigartiges Lehrmaterial dar. Dauerversuche erlauben es schließlich, allmählich zutage tretende Unterschiede zwischen verschiedenen Landnutzungsverfahren zu quantifizieren. Dadurch wird es möglich, Boden- und Pflanzenmaterial für verschiedene Labor- und kurzfristige Vegetationsuntersuchungen zur Aufklärung der zugrundeliegenden Mechanismen zu erhalten, was auf andere Art nicht zu beschaffen ist. Beispielsweise kann man an der langfristigen Ertragsentwicklung von Düngungsvarianten prüfen, ob Methoden zur Boden- und Pflanzenanalyse die Nährstoffbelieferung der Pflanzen hinreichend widerspiegeln. Oder man kann untersuchen, wie sich langfristig unterschiedliche Düngung auf die Bildung organisch-mineralischer Komplexe im Boden (Leinweber u. Reuter, 1990) und somit auf die Bodenstruktur auswirkt. Solche Untersuchungen tragen zur **wissenschaftlichen „Belastbarkeit“ von Prognosen** bei. Gleichzeitig fallen dabei auch **Materialien für andere Wissenschaftszweige** an, ohne daß dies in der ursprünglichen Versuchsfrage enthalten war. Bei Publikationen wird die Herkunft des Materials zwar genannt, doch wird der Öffentlichkeit dabei meist nicht deutlich, daß die gewonnenen Erkenntnisse nur durch die Existenz entsprechender Dauerversuche möglich gewesen sind.

2. Übersicht über die Hallenser Dauerdüngungsversuche

Zu den Hallenser Dauerdüngungsversuchen zählen

- a) der 1878 von Julius Kühn begründete Versuch *Ewiger Roggenbau*. Er umfaßt 0,6 ha und ist nach dem Weizenversuch in Rothamsted (England) der weltweit zweitälteste Dauerdüngungsversuch.
- b) Die von Karl Schmalfuß 1949 eingerichteten Dauerdüngungsversuche. Sie umfaßten ursprünglich 4,8 ha mit folgenden Teilversuchsreihen:

<i>Feld A</i> mit dem Kalkdüngungsversuch	252	Parzellen
<i>Feld B</i> mit dem Versuch zur physiologischen Reaktion der Düngemittel	72	Parzellen
<i>Feld C</i> mit dem Kaliumdüngungsversuch	240	Parzellen
<i>Feld D</i> mit dem Phosphatdüngungsversuch	144	Parzellen
<i>Feld E</i> mit dem Stickstoffdüngungsversuch	192	Parzellen
<i>Feld F</i> mit den Versuchen zur organischen Düngung	216	Parzellen
Insgesamt	1116	Parzellen

Die Versuche *Feld B* und *Feld E* wurden inzwischen eingestellt, und im Fall von *Feld A*, *Feld C* und *Feld D* wurde der Versuchsumfang erheblich eingeschränkt (auf 108, 120 bzw. 72 Parzellen). Außerdem wird seit 1970 auf den ursprünglich umfangreichen Anbau von Gemüse in den Versuchen generell verzichtet.
- c) der 1948 von Karl Schmalfuß eingerichtete Dauerversuch zur Bodenbildung im Campus der Professur „Physiologie und Ernährung der Pflanzen“ in Halle, Adam-Kuckhoff-Str. 17 b.

Weitere Informationen finden sich bei Merbach et al. (1999).

3. Bedeutung und Besonderheiten der Hallenser Dauerdüngungsversuche

Die Hallenser Dauerdüngungsversuche haben in ihrer bisherigen Laufzeit wichtige Erkenntnisse bzw. Entscheidungshilfen für die Agrar- und Umweltpolitik geliefert. Dafür sprechen u. a. folgende Resultate:

Erstens haben die Hallenser Dauerdüngungsversuche die **Langfristigkeit agroökosystemarer Reaktionen auf Bewirtschaftungsveränderungen** eindrucksvoll belegt. So zeigte sich, daß entsprechende Veränderungen bei der Umstellung des Anbausystems (*Ewiger Roggenbau* 1961) oder der Einstellung der Düngung (*St II-Variante Ewiger Roggenbau* 1953) frühestens nach 30 Jahren meßbar werden und neue Fließgleichgewichte oft erst nach 70 Jahren eintraten (Varianten *U* oder *St I Ewiger Roggenbau*). Dies gilt sowohl für die Boden-C- und -N-Gehalte (und dabei besonders für die Humusqualität) als auch für die P- und K-Vorräte nach unterlassener Mineraldüngung. So wirkt z. B. die von 1893 bis 1953 erfolgte jährliche Stallmistgabe (*St II Ewiger Roggenbau*) im N-Nachlieferungsvermögen noch heute nach. Derartige Resultate gewinnen z. B. bei der **Bewertung der Flächenstillegungsproblematik** an Aktualität.

Zweitens zeigte sich, daß die **N- und C-Gehalte der Böden** auf die Dauer vor allem von der mit der organischen Düngung **zugeführten Menge an schwer zersetzbarer Substanz** abhängen und

unter praktischen Bedingungen die Möglichkeiten zur Steigerung des Humusgehaltes begrenzt sind. Dabei wirkte sich auch eine hohe Mineral-N-Applikation über mehr Ernte- und Wurzelrückstände förderlich auf den Humusgehalt aus.

Drittens beweist der Versuch *Ewiger Roggenbau*, daß eine nährstoffadäquate **Mineraldüngung** die organische Düngung hinsichtlich einer **nachhaltigen Ertragsfähigkeit** ersetzen kann.

Viertens ließ sich in den Hallenser Dauerdüngungsversuchen ein außerordentlich **hohes P-Nachlieferungsvermögen aus dem Boden** feststellen (*Ewiger Roggenbau*, P-Düngungsversuch), das sich in herkömmlichen Methoden der Ermittlung des pflanzenverfügbaren P nicht hinreichend widerspiegelt. Mit Abstrichen galt dies auch für K (Kalidüngungsversuch), wenngleich bei unterlassener Kalidüngung infolge der K-Nachlieferung aus den Zwischenschichtgittern des Illits Tonmineralveränderungen und NH_4^+ -Fixierung (verzögerte N-Düngewirkung) nicht auszuschließen waren.

Fünftens kam es auf dem Versuchsstandort zur **Akkumulation leichtlöslicher Salze im Unterboden** (Nitrat!), was in Jahren mit hohen Niederschlägen eine **Auswaschungsgefahr** bedeutet.

Sechstens haben die Versuche einen regelmäßigen Kalkbedarf mitteldeutscher Schwarzerden (Kalkdüngungsversuch), insbesondere bei niedriger organischer Bodensubstanz und physiologisch saurer Düngung, nachgewiesen.

Siebtens basiert die von der LUFA Sachsen-Anhalt entwickelte **Stickstoffbedarfsanalyse** zu einem großen Teil auf Materialien und Daten aus den Dauerdüngungsversuchen des Julius-Kühn-Feldes.

Nicht zuletzt aber dienen die Hallenser Dauerversuche verschiedenen **Grundlagenuntersuchungen**. So wurde z. B. mit Hilfe von ^{15}N der Weg des Dünger-N im Agroökosystem verfolgt, die K-Dynamik im Boden untersucht oder den Einflußfaktoren der Freisetzung des klimarelevanten Methans nachgegangen.

Diese wenigen Beispiele verdeutlichen bereits die Vielfältigkeit der Ergebnisse und Anwendungsmöglichkeiten der Hallenser Dauerdüngungsversuche. Es wird sichtbar, daß diese Versuche auf Grund der durch ihre lange Laufzeit zutagetretende Differenzierung zwischen den Varianten auch auf heutige Fragen Antworten geben können, so daß Entscheidungshilfen für die Agrar- und Umweltpolitik geschaffen werden.

Zu fragen blieb aber nach der allgemeinen Gültigkeit der dargestellten Resultate und Aussagen. Wie alle acker- und pflanzenbaulichen Experimente sind natürlich auch die Hallenser Versuche hinsichtlich ihrer Gültigkeit standortgebunden. Prinzipiell kann man aber die Befunde auch auf andere Gebiete übertragen, die vergleichbare Boden-, Klima- und Witterungsbedingungen besitzen.

Daher entscheidet der Versuchsort über den Grad der Allgemeingültigkeit der gewonnenen Ergebnisse (Schilling, 1997).

Das Julius-Kühn-Feld liegt am Rand des mitteldeutschen Löß-Schwarzerdegebietes, das für das östliche Harzvorland typisch ist und das an die Schwarzerden des Thüringer Beckens sowie der Magdeburger Börde grenzt. Bei dem Boden handelt es sich um eine lessivierte Schwarzerde (Tschernosem-Braunerde bis Griserde, nach FAO Haplic Phaeozem), die aus weichseleiszeitlichem Sandlöß hervorgegangen ist und die in 80...130 cm Tiefe von einer mehrere Meter mächtigen Geschiebemergelbank unterlagert wird. Die Reichsbodenschätzung vergab Bodenzahlen von im Mittel 55. Der mittlere jährliche Niederschlag lag 1965 bis 1989 im 2 km entfernten Zöberitz bei 467 mm, die Lufttemperatur betrug 9,0 °C.

Der Standort ist somit durch geringe Niederschläge bei hoher Einstrahlung gekennzeichnet. Das im Vergleich zu den Schlufflößböden geringere Wasserspeichervermögen des Sandlößes verschärft den Trockenstreß noch. Der Standort ist damit **repräsentativ** für ähnlich geartete **Sandlöß-Gebiete zwischen Saale, Elbe und Mulde**. Die Abweichung gegenüber **anderen Trockenstandorten des mitteleuropäischen Raumes** sowie **osteuropäischer Gebiete** ist nicht groß, bei denen ebenfalls mit wenig Auswaschung, aber einer Verlagerung von Nähr- und Schadstoffen in tiefere Schichten zu rechnen ist. Unter solchen Bedingungen liefern die Hallenser Dauerversuche nach Schilling (1997) „wertvolle Ratschläge, die von der Landwirtschaft unter sich ändernden Marktbedingungen gebraucht werden. In den westlichen Bundesländern gibt es weder derartige Umweltbedingungen noch vergleichbare Versuche. Letzteres gilt, was insbesondere das systematisch aufgebaute Spektrum der Varianten angeht, sogar für ganz Europa. Insofern handelt es sich bei den Dauerdüngungsversuchen um ein kostbares Gut, das es zu bewahren gilt.“

Die Hallenser Dauerversuche sollen daher auch zukünftig weitergeführt und – wo notwendig – behutsam modifiziert werden.

Literatur

- KÖRSCHENS, M.: Entwicklung der düngbezogenen Forschung in Deutschland am Beispiel der Dauerversuche in Bad Lauchstädt. In: Forschung als Grundlage der Düngungsberatung. Tagg. des Verb. Landw.-kam. u. Bundesarbeitskreis Düngung, 21./22. April 1998, 7-18
- LEINWEBER, P., REUTER, G.: Ergebnisse der Untersuchung organisch-mineralischer Komplexe (OMK) aus dem „Ewigen Roggenbau“. Wiss. Beiträge Univ. Halle 31 (S. 72), 47-52 (1990)
- MERBACH, W., GRANSEE, A., SCHMIDT, L.: Pflanzenernährungsforschung im Spannungsfeld von Prozeßaufklärung und Düngungsberatung - Widerspruch oder Chance? In: Forschung als Grundlage der Düngungsberatung. Tagg. des Verb. Landw.-kam. u. Bundesarbeitskreis Düngung 21./22. April 1998, 19-35
- MERBACH, W., SCHMIDT, L., WITTENMAYER, L. (Hrsg): Die Dauerdüngungsversuche in Halle (Saale) – Beiträge aus der Hallenser Pflanzenernährungsforschung, B. G. Teubner Stuttgart-Leipzig 1999, 150 Seiten
- SCHILLING, G.: Wertvolle Dauerdüngungsversuche auf dem Julius-Kühn-Feld in Gefahr – ein Memorandum. Fakultätsbote der Landw. Fak. Univ. Halle, Aug./Sept. 1996 / März 1997, 17-24

120 Jahre Dauerdüngungsversuch *Ewiger Roggenbau* in Halle/Saale

Schmidt, L.¹; Garz, J.²; Merbach, W.¹

¹Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Adam-Kuckhoff-Str. 17 b, D-06108 Halle (Saale), Fax (0345) 5527113, e-mail:

merbach@landw.uni-halle.de

²Zechenhausstr. 4 A, D-06120 Halle

1. Zielstellung

Im Jahre 1878 begründete JULIUS KÜHN auf dem Versuchsfeld in Halle/S. den Dauerdüngungsversuch *Ewiger Roggenbau*.

Wichtigste Zielstellung des Versuches war die Beweisführung für eine nachhaltige Erhaltung der Ertragsfähigkeit des Bodens bei ausschließlicher Mineraldüngung. Der Einfluß der Düngung auf die Qualität des Erntegutes, wichtige Bodeneigenschaften und umgebende Sphären sowie die Erforschung und Quantifizierung der Nährstoffquellen sowie -flüsse kamen als weitere Ziele hinzu.

2. Varianten und Standort

Zu diesem Zweck wurden zunächst fünf Düngungsvarianten auf je 1000 m² großen Teilstücken ohne Wiederholungen angelegt, und zwar:

- Stallmist, 120 dt/ha, ca. 60 kg N, 20 kg P und 60 kg K beinhaltend – **St I** -
- Mineraldünger, 40 kg N, 24 kg P und 75 kg K/ha – **NPK** -
- Mineraldünger, nur 40 kg N/ha – **N** -
- Mineraldünger, 20 kg P und 75 kg K/ha – **PK** -
- Ohne jegliche Dünger – **U** -.
- Die sechste Variante wurde 1893 als Vergleichsvariante zur NPK mit 80 dt/ha Stallmist –
- **St II** - und somit etwa 40 kg N/ha hinzugefügt.

Im Verlauf seiner 120jährigen Geschichte wurden folgende Veränderungen an den bereits genannten Düngungsvarianten vorgenommen:

- **1952** wurde auf der St II die Stallmistdüngung eingestellt, um nach 60 Jahren ununterbrochener Düngung deren Nachhaltigkeit in der Wirkung auf Boden und Ertrag zu ergründen.
- **1961** wurde auf Grund einer dominanten Schachtelhalmverunkrautung auf dem nördlichen Teil der Versuchsfläche der Versuch in drei Teile geteilt und damit unterschiedliche Bewirtschaftungssysteme eingeführt:
 - Maismonokultur auf dem nördlichen Drittel, Abt. A,
 - Kartoffel-Roggen-Fruchtwechsel auf dem mittleren, Abt. B, und
 - Fortsetzung der Roggenmonokultur auf dem südlichen Drittel, Abt. C.

Zwischen den Dritteln wurden 5 m breite Schwarzbrachestreifen ohne Düngung eingerichtet.

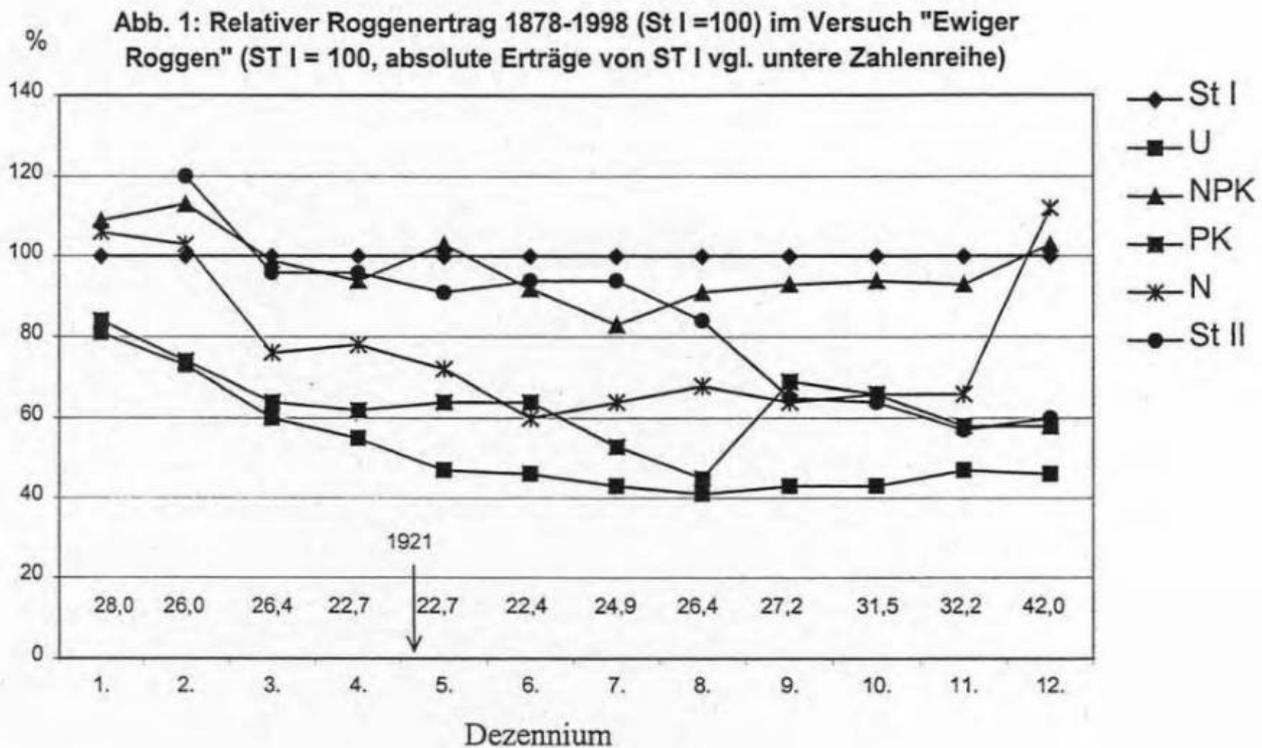
- 1990 wurde die N-Variante in eine NPK + St I - Düngung umgewandelt und die N-Menge bei NPK an das der St I – 60 kg/ha – angeglichen. Seither wird auch soviel Stallmist gedüngt, daß 60 kg N/ha zugeführt werden.

Die wichtigsten **natürlichen Standortbedingungen** des Kühn-Feldes sind: 113 m ü. NN; 9,2 °C; 494 mm (sommerbetont); 1684 h Sonnenschein (langjährige Mittel); lessivierte Schwarzerde bis Griserde (FAO: Luvic Phaeozem) auf Sandlöß (69 % S, 23 % U, 8 % T); etwa 100 cm mächtig über Geschiebemergel; AZ 55; pH 6,3; 1,5...2,5 m Grundwassertiefe; nFK ca. 120 l; ca. 50 kg N; 54 kg SO₄⁻ und 11 kg Cl⁻ atmogene Deposition je ha und Jahr.

3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1. Erträge

Der Korntrag des Winterroggens ist hauptsächlich unter dem Einfluß der Monokultur und des Abbaus des Saatgutes durch ständige Eigenerzeugung der Landsorte Saaleroggen bis 1921 auch bei den vollgedüngten Varianten (**St I** und **NPK**) beständig abgesunken (Abb. 1). Danach erhöhte sich der Ertrag durch Sortenwechsel (Zuchtfortschritt), verbesserte Agrotechnik (ca. 5 cm tieferes Pflügen), Einsatz von PSM (Herbizide etc.) und auch durch mehr atmogenen N-Eintrag. In den Varianten ohne N-Düngung setzte sofort (bereits im 1. Dezen.) ein rapider Ertragsabfall ein, während die PK-Mangeldüngung durch die Bodenvorräte erst im dritten Versuchsjahrzehnt Mindererträge im Vergleich zu **St I** hervorrief. Der beträchtliche Ertragsanstieg bei der PK-Variante im 9. Dezennium ist auf eine starke Verunkrautung mit Leguminosen (Luft-N₂-Fixierung) zurückzuführen. Die NPK-Variante lieferte im Vergleich zu **St I** - nach anfänglich höheren Erträgen – auf Grund der um 20 kg/ha niedrigeren N-Menge durchschnittlich um etwa 5 % geringere Kornträge. Seit Angleichung der N-Menge besteht Ertragsgleichheit, bzw. eine leichte Überlegenheit ist angedeutet (12. Dezen.). Die St II-Variante lieferte auf Grund der späteren Anlage (kürzere negative Monokulturwirkung) im 2. Dezennium die höchsten Erträge, die jedoch im dritten Jahrzehnt auf das Niveau der NPK-Variante abfielen. Ab Unterlassung der Stallmistdüngung (1953) nahm der Ertrag im 8. und 9. Dezennium erheblich ab und erreichte das Niveau der PK-Variante. Mit etwa 60 % zur St I liegt der Ertrag des Roggens auf der nunmehr 45 Jahre ungedüngten St II-Variante aber noch bedeutend über dem von U. Von den etwa 800 kg N/ha, die durch 60jährige Stallmistdüngung im Boden akkumuliert wurden, sind heute noch knapp 50 % erhalten, so daß noch eine andauernde Nachwirkung zu erwarten ist. Die Umstellung der N-Variante auf **NPK + St I**, die mit einer Aufdüngung (200 kg P, 400 kg K) und Kalkung im Herbst 1990 verbunden war, steigerte den Ertrag des Roggens bereits mit der Ernte 1991 auf den von St I und im Dezenniummittel auf 112 %.



Der Korntrag des Roggens auf der Abteilung B weist bei allen Düngungsvarianten einen Mehrertrag von mehr als 10 dt/ha gegenüber den der Vergleichsjahren auf der Abt. C auf, bei St I liegt er im Mittel der letzten drei Jahrzehnte 15 dt/ha (Tab. 1). Dieser Mehrertrag wird als Fruchtfolgeeffekt der Kartoffeln hauptsächlich durch höhere N-Hinterlassenschaft (Kartoffelkraut) und phytosanitäre Wirkungen verursacht.

Tab 1: Erträge im Ewigen Roggenbau vor und nach der Umstellung 1990

Var.	St I	St I	U	NPK	N/ St+ NPK	PK	(St II) U
	dt ha ⁻¹	%	%	%	%	%	%
Abt. A Maismonokultur, Silomais (25% TS)							
1979-88	289	100	40	92	54	52	52
1991-98	352	100	37	98	109	53	56
Abt. B Kartoffel-Roggen-Wechsel							
a) Roggen, Korn (86%)							
1979-88	46,5	100	54	95	73	60	69
1991-97	60,2	100	56	100	108	58	62
b) Kartoffeln, Knollen (25% TS)							
1979-88	149	100	43	116	59	55	65
1992-98	190	100	34	115	130	52	48
Abt. C Roggenmonokultur, Korn (86% TS)							
1979-88	32,2	100	47	93	66	64	57
1991-98	42,0	100	47	103	112	59	60

Die Kartoffeln reagierten auf die Düngungsvarianten wie folgt: Die NPK-Düngung erbrachte 16 % Mehrerträge gegenüber St I, auch schon vor der N-Mengenangleichung, obwohl die Kartoffel als

guter Mistverwerter beschrieben wird. Anbau mittelfrüher Kartoffeln und Herbstdüngung erklären teilweise diese Ergebnisse. Die Knollenerträge der Intensivfrucht Kartoffel sind auf U bereits deutlich unter 40 % des St I-Ertrages und bei St II unter 50 % im 12. Dezennium abgefallen. Die Umstellung der N-Düngung brachte einen weitaus größeren Ertragszuwachs (30 %) als beim Roggen.

Der Silomais (Abt. A) zeigt ähnliche Ertragsunterschiede zwischen den Düngungsvarianten wie der Roggen. Nach Untersuchungen von EHRENPFFORDT (1994) hat die Düngung einen signifikanten Einfluß auf den die Futterqualität bestimmenden Kolbenanteil des Silomaises: NPK...37, St I...36, N...33, St II...31, PK... 28 und U...21 % (Mittel 1962 - 1979).

3.2. Boden

Zu Beginn des Versuches hatte der Boden 1,24 % C (0 - 20 cm Tiefe, KÜHN,1901, Tab 2). Nach 50jähriger Versuchsdauer wies der Boden in Abhängigkeit von der Düngung eine bedeutende Differenzierung auf (SCHEFFER; 1931). Bei St I hatte der C-Gehalt um etwa 30 % zugenommen, auf NPK war er erhalten geblieben und auf U um etwa 10 % abgefallen. Ungefähr die gleichen Werte stellte MERKER (1956) nach 75 Jahren fest. Daraus kann gefolgert werden, daß sich während der ersten 5 Jahrzehnte ein düngungsspezifisches Fließgleichgewicht im C-Haushalt des Bodens eingestellt haben muß.

Tab. 2: Veränderung des C-Gehaltes im Boden des *Ewigen Roggenbaus*(in %)

Jahr	Abt.	Jahre	St I	U	NPK	
1878	-	0	1,24	1,24	1,24	Kühn
1929	-	50	1,64	1,15	1,24	Scheffer
1953/54	-	75	1,68	1,12	1,26	Merker
1984/87	A	108	1,66	1,22	1,37	
	B		1,53	1,24	1,30	
	C		1,73	1,29	1,41	
1993/96	A	118	1,63	1,11	1,24	
	B		1,53	1,07	1,17	
	C		1,63	1,13	1,33	

Die Einführung der Humuszehrer Kartoffel und Silomais senkte insbesondere auf den Varianten mit hohem Gehalt an organischer Masse im Boden – St I und NPK – den C-Gehalt nach etwa 30 Versuchsjahren nachweislich.

4. Literatur

- Ehrenpfordt, A. 1994: Der Maisanbau in Monokultur und seine Auswirkungen auf Boden und Pflanze. Univ. Halle, Diss.
- Kühn, J. 1901: Das Versuchsfeld des landwirtschaftlichen Instituts der Universität Halle a. d. Saale. In: Ber. Physiol. Labor. u. Versuchsanstalt des Landw. Inst. der Univ. Halle. Dresden 15, 169-189
- Merker, J. 1956: Untersuchungen an den Ernten und Böden des Versuches „Ewigen Roggenbau“ in Halle (Saale). Kühn-Archiv 70, 154-215.
- Scheffer, F. 1931: Chemische und biologische Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Böden des „Ewigen Roggenbaues“ in Halle a. d. Saale. Archiv Pflanzenbau, 7, 169-238.

50 Jahre Dauerdüngungsversuche von Schmalfuß in Halle/Saale

Garz, J.³; Schmidt, L.¹; Stumpe, H.²; Merbach, W.¹

¹Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Adam-Kuckhoff-Str. 17 b, D-06108 Halle (Saale)

²Adolf v. Menzel-Str. 28, D-06628 Bad Kösen

³Zechenhausstr. 4 A, D-06120 Halle (Saale)

1. Einleitung

Im Jahre 1949 legte SCHMALFUSS auf dem Versuchsfeld in Halle sechs Dauerdüngungsversuche (insges. 1116 Parzellen; 30 m²/Parzelle) mit folgenden Varianten an:

- | | |
|--------|--|
| Feld A | Kalkdüngung (Kalkung aller 3 Jahre mit CaCO ₃ in 4 verschiedenen Mengen), |
| Feld B | Physiologische Reaktion der Dünger (1969 beendet), |
| Feld C | Kaliumdüngung (jährliche K-Düngung in 4 Mengestufen und mit 4 K-Düngerformen), |
| Feld D | Phosphordüngung (jährliche und 3jährliche P-Düngung in 3 Mengestufen und mit 3 P-Düngerformen), |
| Feld E | Stickstoffdüngung (1969 beendet) und |
| Feld F | Mineralisch-organische Düngung (Nährstoffmangelversuch, Stallmist + NPK-Düngung, jährliche Strohdüngung, Stallmist- und Strohnachwirkung, Humus und Ertrag). |

Die Zielstellungen dieser Versuche lauten:

- Prüfung des Einflusses weit gestaffelter Mengen an Mineraldüngern auf Ertrag und Qualität landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und Gemüsearten
- Einfluß der Bindungsform der Nährstoffe und der Nebenbestandteile in den verschiedenen Düngemitteln auf ihre Wirksamkeit
- Wirkung der organischen Düngung (Stallmist, Stroh) auf Boden und Pflanze
- Erfassung langfristiger Veränderungen wichtiger Bodeneigenschaften.

2. Natürliche Standortbedingungen

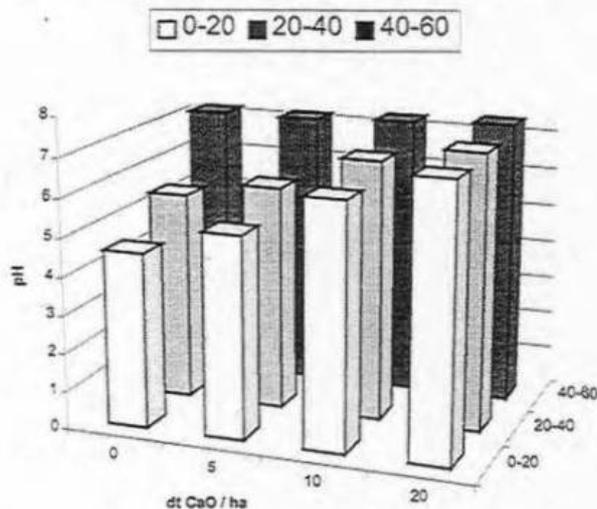
Das Versuchsfeld befindet sich im nordöstlichen Stadtteil von Halle. Der Standort ist wie folgt gekennzeichnet: Höhe über NN: 113 m. Der Boden ist eine lessivierte Schwarzerde bis Griserde (Parabraunerde-Tschernosem, FAO: Luvic Phaeozem) auf Sandlöß (55 % S, 33 % U, 12 % T) über Geschiebemergel; mit: Grundwasserstand zwischen 1,5 und 2,5 m; pH-Wert: 6,5 (versauerungsgefährdet); nFK: 150 l (100 cm Tiefe); C_t: 1,5 %; N_t: 0,12 %; einer KAK: 13 mval (100 g Boden)⁻¹

3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1. Kalkdüngungsversuch Feld A

Die Unterlassung der Kalkung führt zu einer deutlichen Versauerung in der Ackerkrume (Abb. 1), und auch in der Schicht 20 - 40 cm bestehen signifikante Unterschiede im pH-Wert. Zur Aufrechterhaltung eines optimalen pH-Wertes ist eine Kalkgabe von 10 dt ha⁻¹ CaO aller 3 Jahre erforderlich.

Abb. 1: Einfluß der 45jährigen Kalkung auf den pH-Wert , Feld A (1949: pH 6,0)



Auf Grund der Zunahme der pH-Werte im Unterboden sind die Ertragsunterschiede bei den angebauten Fruchtarten - Zuckerrüben, Kartoffeln, Ackerbohnen und Sommergerste - bisher noch relativ gering. Es bestehen enge Beziehungen zwischen pH-Wert und P_{DL}-Gehalt des Bodens (Tab. 1).

Tab. 1: pH-Werte und P_{DL}-Gehalte des Bodens (Mittelwerte 1993/94)

	dt ha ⁻¹ CaO aller 3 Jahre			
	0	5	10	20
pH-Wert	4,6	5,3	6,4	7,4
P _{DL} in mg (100 g Boden) ⁻¹	6,9	8,1	10,3	10,2

3.2. Kaliumdüngungsversuch, Feld C

Die einzelnen Fruchtarten reagierten infolge ihres unterschiedlichen K-Bedarfes und K-Aneignungsvermögens sehr unterschiedlich auf die K-Düngung (Abb. 2). Insbesondere die Hackfruchterträge wurden gefördert. Bei Unterlassung der K-Düngung lieferte der Boden jährlich ca. 66 kg K ha⁻¹, aber auch bei K₂ betrug die Nachlieferung noch 7 kg (Tab. 2).

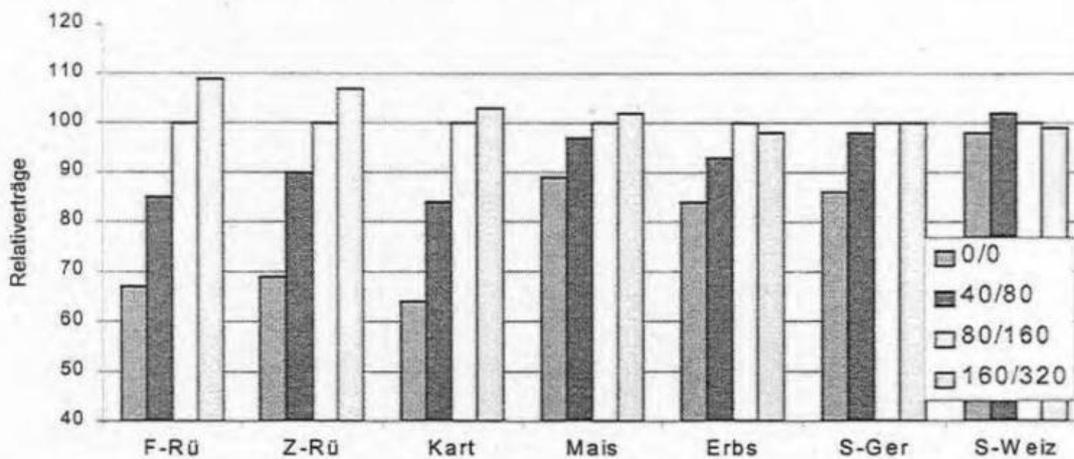
Tab. 2: Vergleich der jährlich zugeführten und entzogenen K-Mengen (kg ha⁻¹) für die Jahre 1977 bis 1997 im Mittel der fünf angebauten Fruchtarten

	Düngungsstufen			
	K ₀	K ₁	K ₂	K ₄
K-Zufuhr	0	60	120	240
K-Entzug	66	92	127	150
Saldo	-66	-32	-7	+90

3.3. Phosphordüngungsversuch, Feld D

Auch nach 50 Versuchsjahren war das P-Nachlieferungsvermögen des Bodens noch so hoch, daß nur relativ geringe Ertragsunterschiede auftraten (Tab. 3). Am größten waren sie bei Luzerne im

Abb. 2: Einfluß der Kalidüngung auf den Ertrag. Feld C. (1970-97)



Ansaatjahr. Es gab keine Unterschiede in der Wirkung der drei P-Düngerformen, Super-, Thomas- und Alkalisinterphosphat

Tab. 3: Trockenmasseerträge (dt ha⁻¹) in Abhängigkeit von der P-Düngung (Mittel von 3 verschiedenen P-Düngern für die Jahre 1974 - 1997)

Fruchtart	kg ha ⁻¹ Jahr ⁻¹ P		
	0	15	45
Luzerne (Ansaatjahr)	49	54	60
Luzerne (2. Jahr)	172	179	183
Kartoffeln	66	69	72
Zuckerrüben	114	120	118
Sommergerste	37	40	41
Winterroggen	55	56	57

Das hohe P-Nachlieferungsvermögen kommt auch in der 'P-Bilanz' zum Ausdruck (Tab. 4).

Tab. 4: Vergleich der zugeführten und entzogenen P-Mengen (kg ha⁻¹) für die Jahre 1977 bis 1997 im Mittel von drei P-Düngerformen bei jährlicher P-Düngung

Mittel der Jahre + Formen	P ₀	P ₁	P ₃
Jährliche P-Zufuhr	0,0	15,0	45,0
Jährlicher P-Entzug	23,2	24,7	26,4
Saldo	-23,2	-9,7	+18,6

3.4. Versuch mit organisch-mineralischer Düngung, Feld F

Von den drei Hackfrüchten reagierte die Kartoffel auf Düngungsunterschiede am stärksten (Tab. 5). Die Stallmistwirkung zur Hackfrucht (Stm + NPK) konnte durch erhöhte Mineraldüngung (N1PK) annähernd ersetzt werden. Die Nachwirkung des Stallmistes wurde bei den Getreideerträgen sichtbar. Eine ähnlich große Nachwirkung hatte aber auch die erhöhte Mineraldüngung. Stallmist und mineralische N-Düngung hatten einen signifikant positiven Einfluß auf den N-Gehalt des Bodens.

Tab. 5: Einfluß der Mineral- und Stallmistdüngung auf die Trockenmasseerträge im Mittel der Jahre 1980 – 1997

	NPK	NPK	0	N1PK	Stm+NPK	Stm
Fruchtart	dt ha ⁻¹	Relativ				
Kartoffel	71,7	100	37	115	107	66
Z-Rüben	106,6	100	50	100	103	80
Silomais	110,3	100	72	106	110	98
Getreide	48,7	100	62	105	107	104
N-Gehalte des Bodens nach 45 Versuchsjahren in mg (100 g Boden) ⁻¹						
0 – 20 cm		107	98	107	113	111
20 – 40 cm		97	89	92	98	94

N: 100 kg ha⁻¹, N1: 200 kg ha⁻¹ N bei Hackfrüchten. N und N1: 50 kg ha⁻¹ N beim Getreide Stm: 200 dt ha⁻¹ jedes 2. Jahr zur Hackfrucht

Strohdüngung hatte in Kombination mit der mineralischen N-Düngung keinen positiven Ertrags-effekt (Tab. 6). Eine zusätzliche mineralische N-Gabe war bei langjähriger Strohdüngung nicht erforderlich. Auf den N-Gehalt des Bodens hatten Stroh und mineralischer N einen positiven Einfluß.

Tab. 6: Erträge Mit und Ohne Strohdüngung sowie gestaffelten mineralischen N-Gaben (Mittel von 1974 - 1997) sowie N-Gehalte des Bodens 1995

Fruchtart	Mit Strohdüngung				Ohne Strohdüngung			
	Mineral-N (kg ha ⁻¹)							
	0	100	200	max.*)	0	100	200	*)
Erträge in dt ha ⁻¹ bei 25% Trockenmasse								
Z-Rüben	318	425	433	157	356	427	437	167
Kartoffeln	168	290	320	180	194	298	317	173
Silomais	381	471	460	139	375	440	458	(186)
	0	50	100	*)	0	50	100	*)
Getreideerträge in dt ha ⁻¹ bei 86 % Trockenmasse								
Getreide	34,6	55,8	63,4	> 100	36,2	54,0	60,9	> 100
N-Gehalte des Bodens nach 48 Versuchsjahren in mg (100 g Boden) ⁻¹								
0 - 20 cm	105	108	112		100	104	105	GD 5%
20 - 40 cm	93	97	95		88	91	94	4,5

*) Mineralische N-Düngermenge für den Höchstertrag

Organisch-mineralischer Dauerdüngungsversuch („Feld F“)

Stumpe, H.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Adam-Kuckhoff-Straße 17 b, D-06108 Halle; gegenwärtige Adresse:
Adolph-von-Menzel-Straße 28, D-06628 Bad Kösen

Es werden Ergebnisse aus 4 von 6 vorhandenen Versuchsabteilungen des Feldes F mitgeteilt. Die Fruchtfolge (3 Hackfrüchte und 3 Getreidearten) ist auf dem gesamten Feld einheitlich.

In der **Versuchsabteilung F 1a** wird die Wirkung einer mineralischen Volldüngung mit *Ungedüngt* (0) und weiteren Nährstoffmangelvarianten verglichen (Tab 1).

Tabelle 1: Trockenmasseerträge (relativ) der Haupternteerträge im Mittel der Jahre 1980 – 1997 und N-Gehalte des Bodens 1995 in Abhängigkeit von der Mineraldüngung

Frucht	NPK	NPK	0	NP-	N-K	-PK	N ₁ PK
	dt ha ⁻¹	Relativ					
Kartoffel	71,7	100	37	69	95	51	115
Z-Rüben	106,6	100	50	83	96	56	100
Silomais	110,3	100	72	91	99	74	106
Getreide	48,7	100	62	98	93	59	105
N-Gehalte in mg (100 g Boden) ⁻¹ nach 45 Versuchsjahren							
0 – 20 cm		107	98	101	103	98	107
20 – 40 cm		97	89	94	95	90	97

N: zur Hackfrucht 100, zum Getreide 50 kg ha⁻¹N. N₁: zur Hackfrucht 200, zum Getreide 50 kg ha⁻¹N

Die Kartoffel reagiert am stärksten auf die Düngungsunterschiede. Die Mindererträge bei *Ohne* N (0 und -PK) sind beträchtlich; bei *Ohne* K (NP-) sind sie bei den Hackfrüchten größer als bei *Ohne* P (N-K). Die in beiden Bodenschichten signifikanten Unterschiede im N-Gehalt des Bodens nach 45 Versuchsjahren bestätigen den vielfach beschriebenen positiven Einfluß der mineralischen N-Düngung auf den Humusgehalt des Bodens.

Die Nährstoffentzüge auf den ungedüngten Varianten in *F 1a* sind nach 50 Jahren noch mehr als doppelt so hoch wie im *Ewigen Roggenbau* nach 120 Jahren (Tab 2).

Tabelle 2: Nährstoffentzüge bei *Ungedüngt* in *Feld F 1a* und im *Ewigen Roggenbau*

(Mittel 1979 - 1997)	Feld F 1a			Ewiger Roggenbau		
	N	P	K	N	P	K
Entzüge in kg ha ⁻¹	59	12	47	26	6	19

In der **Versuchsabteilung F 1b** wird die Kombination von Stallmist- und Mineraldüngung geprüft. Von den 6 Prüfgliedern werden hier 4 vorgestellt (Tab. 3). Die Stallmistwirkung (Stm+NPK) zur Hackfrucht ist mit 3 - 4 % relativ gering. Sie kann auch nach 50 Versuchsjahren noch durch eine erhöhte mineralische N-Düngung substituiert werden. Stallmist allein (Stm) wirkt nur bei der Kartoffel relativ schlecht, was in Übereinstimmung steht mit den Kartoffelerträgen auf der Stallmistvariante im *Ewigen Roggenbau*.

Tabelle 3: Trockenmasseerträge (relativ) der Haupternteerzeugnisse im Mittel der Jahre 1980 – 1997 und N-Gehalte des Bodens 1995 in Abhängigkeit von der Düngung

	NPK	NPK	Stm+NPK	Stm	N1PK
	dt ha ⁻¹	Relativ			
Kartoffel	73,6	100	104	64	104
Z-Rüben	108,9	100	100	78	97
Silomais	118,1	100	103	92	102
Getreide	47,9	100	109	106	111
N-Gehalte in mg (100 g Boden) ⁻¹ nach 45 Versuchsjahren					
0 – 20 cm		102	113	111	107
20 – 40 cm		93	98	94	92

Zur Hackfrucht: N = 100 kg ha⁻¹ N; N1 = 200 kg N. Stm = 200 dt ha⁻¹ Stallmist. Getreide: einheitlich 50 kg ha⁻¹ N

Die Nachwirkung der Stallmistdüngung beim einheitlich mit 50 kg ha⁻¹ N gedüngten Getreide ist nicht größer als die der erhöhten Mineraldüngung (N1PK). Die Wirkung des Stallmistes auf den N-Gehalt des Bodens ist signifikant positiv, vor allem in Kombination mit der Mineraldüngung.

In der **Versuchsabteilung F 3** wurden von 1950 bis 1971 verschieden gelagerte Stallmiste geprüft, was zu Unterschieden im Humusgehalt des Bodens führte. In Untersuchungen von 1972 bis 1983 konnten bei optimaler Mineraldüngung keine Ertragssteigerungen bei höherem Humusgehalt nachgewiesen werden. Die auch 1983 noch vorhandenen signifikanten Unterschiede im Humusgehalt des Bodens ermöglichten weitere Untersuchungen über den Einfluß von Humusgehalt, Stallmistdüngung und mineralischer N-Düngung (3faktorieller Versuch).

Von den 3 geprüften Faktoren hatten nur die Stallmistdüngung und die mineralische N-Düngung einen signifikanten Einfluß auf die Erträge. Bei der weiteren Ertragsanalyse wurde deshalb der Faktor Humusgehalt eliminiert. Als Beispiel werden die Erträge der Kartoffel mitgeteilt (Abb. 1). Auf den unteren N-Düngungsstufen ist eine deutliche Stallmistwirkung vorhanden, die allerdings mit steigenden N-Gaben kompensiert wird. Das trifft auch für Zuckerrüben und Silomais zu. Damit wird die von SCHMALFUSS bereits 1958 getroffene Aussage bestätigt, daß die Stallmistwirkung auf dem halleschen Versuchsfeld in erster Linie eine Wirkung des im Mist enthaltenen N ist. Für den Höchstertrag sind bei *Mit* Stallmist etwa 60 kg ha⁻¹ Mineraldünger-N weniger erforderlich als bei *Ohne* Stallmist. Bezogen auf die in 400 dt Stallmist enthaltenen 200 - 220 kg Gesamtstickstoff ergibt das ein Mineraldüngeräquivalent für den Stallmist-N von etwa 30.

In der Versuchsabteilung F 3 gibt es auch Prüfglieder, die eine Aussage über die Nachwirkung einer Stallmistdüngung erlauben (Tab. 4). Sie ist ähnlich wie auf der St II-Variante im Ewigen Roggenbau und zeigt sich vor allem bei den Hackfrüchten.

Abb.1: Kartoffelerträge (1986/92) in Abhängigkeit von der mineralischen N -Düngung bei *ohne* und *mit* Stallmistdüngung

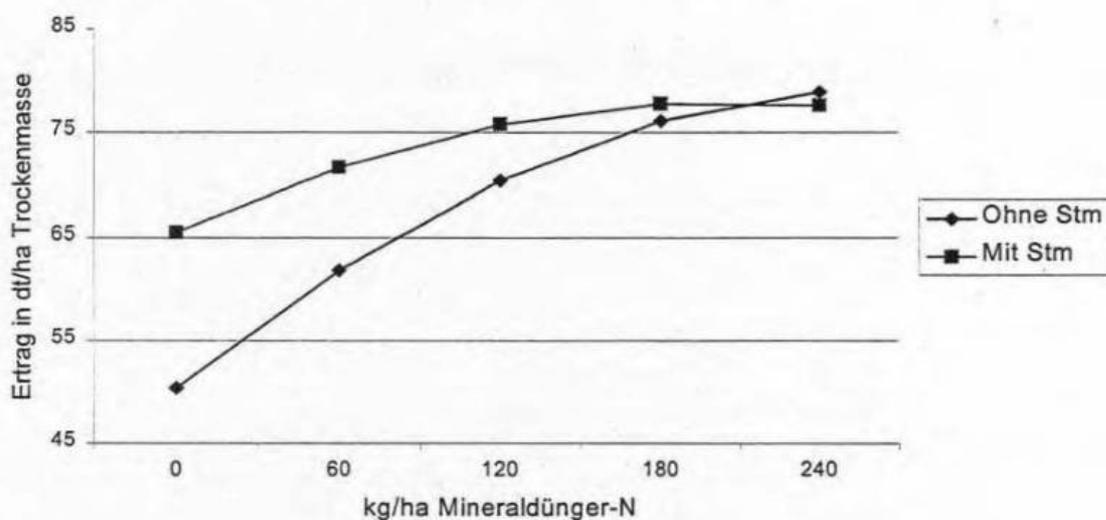


Tabelle 4: Nachwirkung einer 14jährigen (1950 - 1963) jährlichen Stallmistgabe von 300 dt ha⁻¹.

	1950-63 <i>Ohne</i> bzw. <i>Mit</i> Stallmist	
	<i>Ohne</i>	<i>Mit</i>
Fruchtart	Erträge 1964 - 1997 in dt ha ⁻¹ Trockenmasse	
Kartoffeln	27,0	36,8
Zuckerrüben	57,9	75,3
Silomais	74,9	96,4
Getreide	26,7	30,8

In der **Versuchsabteilung F 2a** werden seit 1950 jährlich 50 dt ha⁻¹ Stroh gedüngt. Bis 1979 geschah das jeweils im Frühjahr, ab 1980 im Herbst.

Die Ertragsunterschiede in Abhängigkeit von der N-Düngung sind bei *Mit* und *Ohne* Stroh annähernd gleich (Tab. 5), das heißt ein positiver Ertragseffekt durch die Strohdüngung ist bisher nicht nachweisbar. Auch die zur Erzielung des Höchstertrages erforderlichen mineralischen N-Mengen unterscheiden sich kaum. Das bedeutet, daß bei einer regelmäßigen Strohdüngung kein zusätzlicher Mineraldünger-N für hohe Erträge erforderlich ist. Beim Prüfglied N₀ führt die Strohdüngung bei einigen Fruchtarten zu Mindererträgen. Vermutlich reicht in zahlreichen Jahren die N-Immobilisationsphase bis in das Frühjahr hinein und verursacht ein größeres N-Defizit als bei *Ohne* Stroh.

Die N-Gehalte des Bodens nahmen gegenüber dem Ausgangswert ab, bei *Mit* Stroh allerdings etwas weniger als bei *Ohne* Stroh. Nach 48 Versuchsjahren bestehen aber signifikante Unterschiede in beiden Bodenschichten zwischen *Ohne* und *Mit* Stroh und auch in Abhängigkeit von der mineralischen N-Düngung.

Tabelle 5: Erträge der Haupternteerzeugnisse bei *Mit* und *Ohne* Strohdüngung sowie gestaffelten mineralischen N-Gaben (jeweils 4 Erntejahre je Fruchtart von 1974 - 1997). N-Gehalte des Bodens zu Versuchsbeginn und nach 48 Versuchsjahren.

	Mit Strohdüngung				Ohne Strohdüngung			
	Düngungsvarianten (kg ha ⁻¹ N)							
Fruchtart	0	100	200	*)	0	100	200	*)
Hackfruchterträge in dt ha ⁻¹ bei 25 % Trockenmasse								
Z-Rüben	318	425	433	157	356	427	437	167
Kartoffel	168	290	320	180	194	298	317	173
Silomais	381	471	460	139	375	440	458	(186)
	0	50	100	*)	0	50	100	*)
Getreideerträge in dt ha ⁻¹ bei 86 % Trockenmasse								
W-Weizen	43,7	59,1	70,9	>100	43,3	58,6	69,9	>100
S-Weizen	28,7	54,5	68,3	>100	30,8	50,8	61,4	>100
S-Gerste	31,4	53,8	51,0	70	34,4	52,7	51,4	72
N-Gehalte des Bodens in mg (100 g Boden) ⁻¹								
1949 (0-20)	119							GD 5%
1997 (0-20)	105	108	112		100	104	105	3,2
(0-40)	93	97	95		88	91	94	4,5

*) Mineralische N-Düngermenge für den Höchstertrag

Dieser Versuch erlaubt auch eine Aussage über die **Nachwirkung** einer Strohdüngung. Am deutlichsten ist sie bei Unterlassung der mineralischen N-Düngung (Tab. 6). Bei NPK mit 100 kg ha⁻¹ N sind nur noch bei den Hackfrüchten etwa 5 % Mehrertrag nachweisbar. Die 1995 nur noch geringfügigen Unterschiede im C- und N-Gehalt des Bodens weisen auf eine schnelle Abnahme der durch die 24jährige Strohdüngung angereicherten Humussubstanzen hin.

Tabelle 6: Nachwirkung einer 24jährigen (1950 - 1973) jährlichen Strohdüngung von 50 dt ha⁻¹. Erträge (Mittel von 1974 - 1997) sowie C- und N-Mengen des Bodens in 0 - 60 cm (1995)

1950-73	<i>Ohne Stroh</i>	<i>Mit Stroh</i>	<i>Ohne Stroh</i>	<i>Mit Stroh</i>
Erträge 1974-97 in dt ha ⁻¹ Trockenmasse				
Fruchtart	Bei PK-Düngung		Bei NPK-Düngung	
Kartoffeln	36,2	48,4	69,0	74,4
Zuckerrüben	58,3	89,1	102,1	106,8
Silomais	81,7	93,8	106,5	110,1
Getreide	26,7	30,5	46,6	46,1
C- und N-Mengen des Bodens in 0-60 cm				
C in t ha ⁻¹	90	93	102	103
N in dt ha ⁻¹	74	76	80	81

Auf eine **Zusammenfassung** wird verzichtet, da der gesamte Beitrag eine Zusammenfassung von Ergebnissen aus 50 Versuchsjahren darstellt. Abschließend soll aber betont werden, daß Aussagen über die langfristige Wirkung von Stallmist-, Stroh- und Mineraldüngung nur in solchen Dauerversuchen möglich sind. Das betrifft vor allem auch die nachhaltige Wirkung von Stallmist und Stroh, die in den halleischen Versuchen nachgewiesen werden konnte.

50 Jahre Humusdüngungsversuch Zürich-Reckenholz

Walther, U.; Oberholzer, H.-R.; Weisskopf, P.

Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz
CH-8046 Zürich

Der Versuch wurde 1949 als "Humusdüngungsversuch" mit unbestimmter Laufzeit auf dem Betrieb der Forschungsanstalt Zürich-Reckenholz angelegt. Eine der Hauptfragen war damals und ist heute noch die Wirkung organischer und mineralischer Dünger auf die langfristige Entwicklung von Bodeneigenschaften und Erträge. Bis 1964 wurde der Versuch hinsichtlich Kulturwahl auch zur Beantwortung aktueller Frage benutzt. Die Bemessung der organischen Düngung blieb bis heute unverändert. Die mineralische Düngung erfuhr einzelne Korrekturen.

Standort- und Versuchsbeschreibung

Die durchschnittlichen Jahresniederschläge betragen rund 1000 mm (600 mm im Sommerhalbjahr, 400 mm im Winterhalbjahr) bei einer Durchschnittstemperatur von 7,8 °C. Bei Versuchsbeginn wurden folgende Bodeneigenschaften (0 - 20 cm Tiefe) bestimmt: Tongehalt: 14 %, Schluffgehalt: 27 %, Sandgehalt: 57 %, Humusgehalt: 2,3 %, pH_(H2O)-Wert: 6,5. Der Standort wurde bis 1948 als Naturwiese (Fromentalwiese) genutzt und im Frühjahr 1949 umgebrochen. Die in Tabelle 1 aufgeführten Verfahren wurden in 5-facher Wiederholung (randomisierte Blockanlage) angelegt.

Tabelle 1: Durchschnittliche jährliche Zufuhr an organischer Substanz (OS) und Nährstoffen in kg/ha

Verfahren ¹	Organische Dünger					Mineralische Dünger			
	OS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SM	2500	91	56	78	31	0	0	0	0
GKS	2500	134	255	15	45	0	0	0	0
GKO	2500	118	106	101	31	0	0	0	0
SM + PK	2500	91	56	78	31	0	81	283	7
GKS + PK	2500	134	255	15	45	0	23	343	4
GKO + PK	2500	118	106	101	31	0	38	264	4
TO + PK	2500	26	2	2	3	0	130	356	11
N1P1K1	0	0	0	0	0	56 ² /139 ³	65 ⁴ /43 ⁵	153 ⁴ /101 ⁵	7 ⁴ /3 ⁵
N0P2K2	0	0	0	0	0	0	139 ⁴ /86 ⁵	383 ⁴ /201 ⁵	12 ⁴ /6 ⁵
N1P2K2	0	0	0	0	0	56 ² /139 ³	139 ⁴ /86 ⁵	383 ⁴ /201 ⁵	12 ⁴ /6 ⁵
N2P2K2(Mg ³)	0	0	0	0	0	108 ² /139 ³	139 ⁴ /86 ⁵	383 ⁴ /201 ⁵	12 ² /56 ³

¹ OD=ohne Düngung, SM=Stallmist, GKS=getrockneter Klärschlamm, GKO=getrockneter Kompost, TO=Torf, P=mineralische Phosphatdüngung (Thomasmehl), K=mineralische Kalidüngung (Kalisalz 60%), N=mineralische Stickstoffdüngung (Ammonsalpeter), Mg=mineralische Magnesiumdüngung (Kieserit)

² 1949-1980, ³ seit 1981, ⁴ 1949-1990, ⁵ seit 1991

Fruchtfolge: Winterweizen/Zwischenkultur - Mais - Kartoffeln - Winterweizen/Zwischenkultur - Mais - Sommergerste - Ansaatwiese - Ansaatwiese. Alle Haupt- und Nebenprodukte wurden stets geerntet und abgeführt.

Ausgewählte Ergebnisse

In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Humusgehalte des Bodens verschiedener Düngungsverfahren dargestellt.

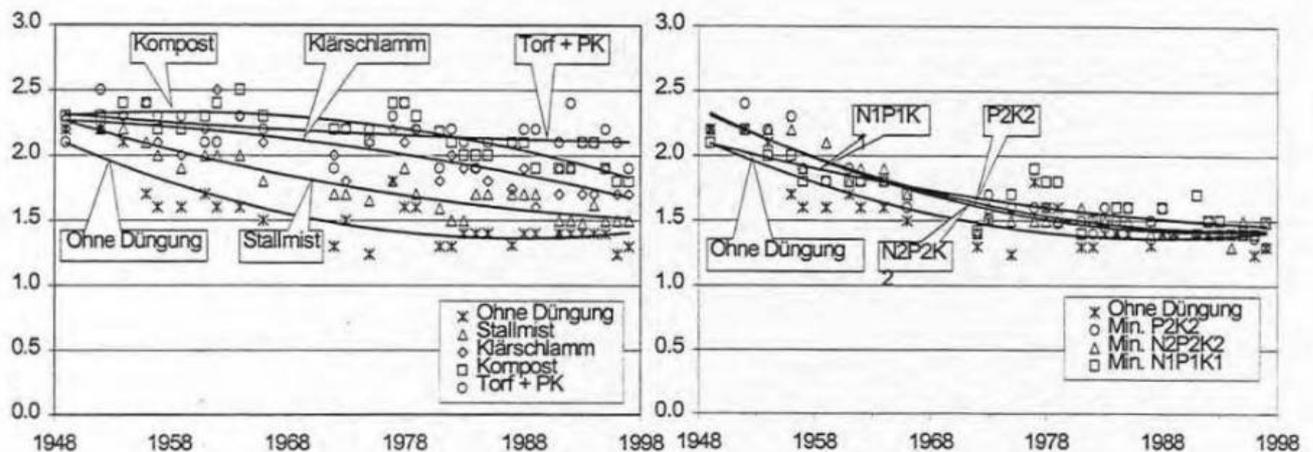


Abbildung 1. Entwicklung der Humusgehalte (0-20 cm) verschiedener Düngungsverfahren. Humus = $C_{org} \times 1.725$.

Ohne Düngung stabilisiert sich der Humusgehalt des Bodens nach etwa 20 Jahren auf einem neuen Niveau von etwa 1.4 %. Bei der regelmässigen Stallmistdüngung (50 dt organische Substanz jedes 2. Jahr) sind die Werte etwa 0.3 % höher und streben heute gegen 1.5 %. Durch die Zufuhr der gleichen Menge organischer Substanz (jährlich 25 dt organische Substanz) in Form von getrocknetem Klärschlamm beziehungsweise Kompost liegen die Werte deutlich höher. Sie fielen jedoch während der letzten 10 bis 20 Jahre ebenfalls unter 2 % und scheinen noch nicht stabil zu sein. Bei zusätzlicher mineralischer PK-Düngung ist die Entwicklung der Humusgehalte ähnlich wie bei ausschliesslicher organischer Düngung, die Abnahme ist jedoch deutlich verzögert. Die ausschliessliche mineralische Düngung führte während der ersten 30 bis 40 Jahre ebenfalls zu einer kontinuierlichen Abnahme der Humusgehalte. Die letzten 10 bis 20 Jahre liegen sie stabil bei etwa 1.4 bis 1.5 %.

Mikrobiologische Kennwerte des Bodens wurden 1989 im Labor (SIR-Methode) und im Feld (Zelluloseabbau während 6 Wochen) systematisch bestimmt. Die mit der SIR-Methode bestimmte mikrobiologische Aktivität ist standortbedingt relativ gering. Die Unterschiede zwischen den Verfahren sind mit Ausnahme der Verfahren "Ohne Düngung (OD)" und "Geringe bis mittlere, suboptimale mineralische Düngung (N1P1K1)", welche eine reduzierte Aktivität aufweisen, gering. Beim

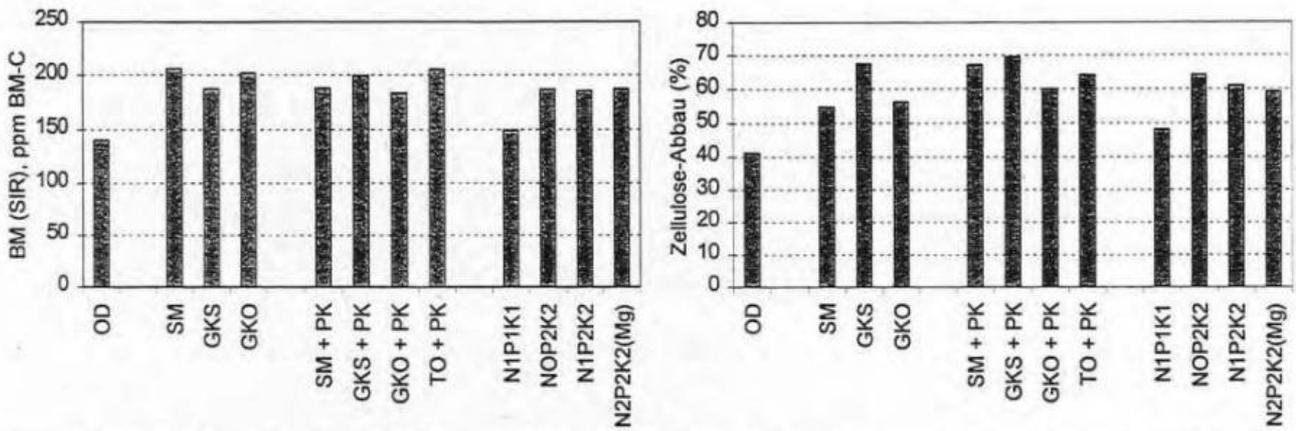


Abbildung 2. Mikrobiologische Kennwerte des Bodens nach 40 Jahren Versuchsdauer. Links: Biomasse (BM) bestimmt mit der SIR-Methode (Substratinduzierte Respiration). Rechts: Zellulose-Abbau während 6 Wochen im Feld.

Zellulose-Abbau im Feld sind die Unterschiede zwischen den organischen Düngern ohne mineralische PK-Ergänzung leicht grösser als bei der SIR-Methode. Dabei fällt auf, dass die alleinige Stallmist- und Kompostdüngung zu einer geringeren Zellulose-Abbaurrate führten als Klärschlamm. Die zusätzliche mineralische PK-Düngung führte bei Stallmist zu einer stärkeren Zunahme als bei den zwei andern organischen Düngern. Bei identischer Zufuhr organischer Substanz durch die Düngung entwickelten sich die Humusgehalte des Bodens nicht der mikrobiologischen Aktivität des Bodens entsprechend. Dies deutet auf Unterschiede in der Qualität der zugeführten organischen Substanzen hin, welche durch die klassischen Methoden der Bestimmung organischer Substanzen in Düngern und Böden nicht erfasst werden.

Die Ausnutzung des Mineraldüngerstickstoffs nahm im Verlaufe der Zeit sowohl bei geringer als auch bei hoher (Abb. 3) N-Düngung zu. Dies dürfte eine Folge des züchterischen und anbautechnischen Fortschritts sein.

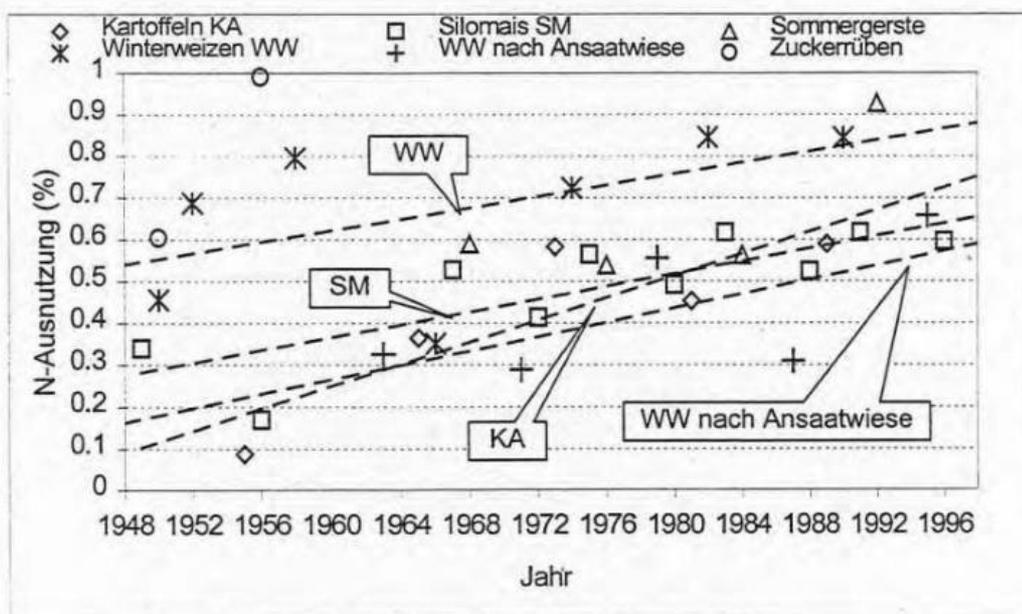


Abbildung 3. Ausnutzung des mineralischen Stickstoffs durch verschiedene Ackerkulturen (ohne Ansaatwiesen und Zwischenkulturen) des Verfahrens N2P2K2.

Für die *Ausnutzung des organischen Stickstoffs* sind in Abbildung 4 die Ergebnisse des Verfahrens mit Stallmistdüngung und mineralischer PK-Ergänzung dargestellt.

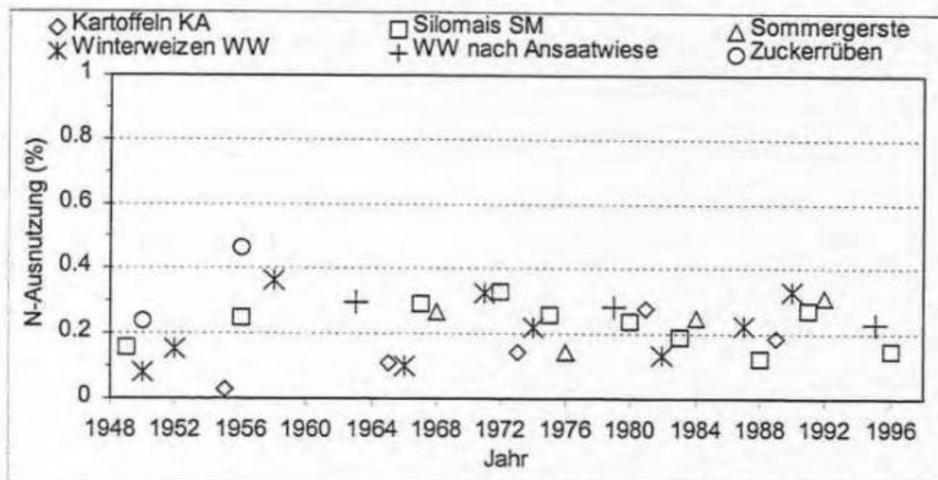


Abbildung 4. *Ausnutzung des Stickstoff aus Stallmist durch verschiedene Kulturen (ohne Ansaatwiesen und Zwischenkulturen).*

Die *Ertragswirkung des Stallmiststickstoffs* (Abb. 5) schwankt je nach Kultur und Jahr in weiten Grenzen. Dabei ist keine klare Trennung zwischen Jahren mit oder ohne Mistgabe ersichtlich.

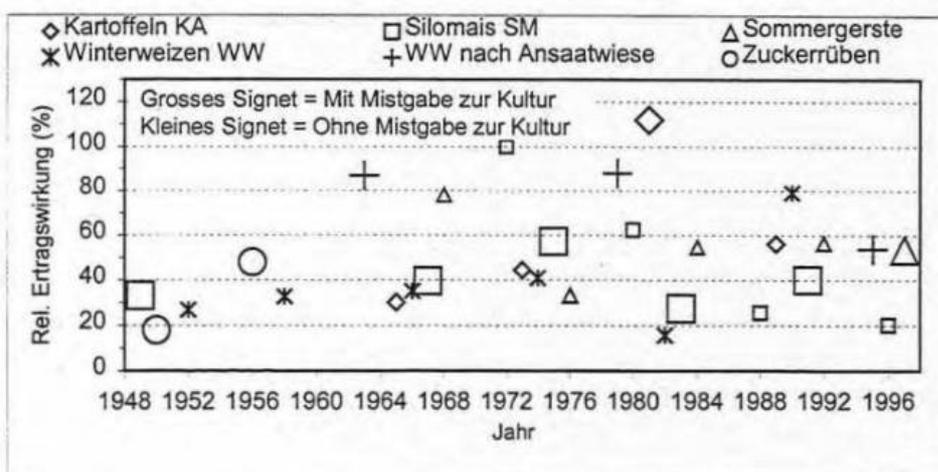


Abbildung 5. *Relative Ertragswirkung des Stallmiststickstoffs beim Verfahren mit mineralischer PK-Ergänzung (Verfahren N2P2K2 = 100)*

Die *Stickstoffbilanzen* sind ohne Berücksichtigung leguminosenhaltiger Kulturen (Ansaatwiesen, Zwischenkulturen) bei organischer Düngung oft positiv, bei mineralischen N-Gaben negativ oder ausgeglichen. Sie liefern Hinweise auf die Umweltverträglichkeit der Düngung. Zur Beurteilung der nachhaltigen Bodenfruchtbarkeit dürften sie, auch unter Berücksichtigung weiterer Faktoren, weniger geeignet sein.

Zusammenfassung

- Weder die Entwicklung der Humusgehalte noch die mikrobiologische Aktivität des Bodens oder die Stickstoffbilanzen geben eindeutige Hinweise, dass alleinige organische oder alleinige mineralische Düngung oder deren Kombination die Bodenfruchtbarkeit nachhaltig gefährdet.
- Ertragswirkung und Ausnutzung des Stickstoffs organischer Dünger ist 2-4 mal geringer als bei mineralischen Stickstoffdüngern. Ihr Umweltgefährdungspotential ist entsprechend grösser.

Die Dauerfeldversuche an der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin. Übersicht und ausgewählte Ergebnisse

Ellmer, F.; Peschke, H.; Köhn, W.; Chmielewski, F.-M.; Baumecker, M.

Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin;

Albrecht-Thaer-Weg 05, 14195 Berlin

1. Einleitung

Die Bedeutung und Notwendigkeit von Dauerfeldversuchen für die pflanzenbauwissenschaftliche und ökologische Forschung wird in jüngerer Zeit verstärkt hervorgehoben (Army & Kemper, 1991; Jenkinson, 1991; Krzysch et al., 1992; Southwood, 1993; Poulton, 1996; Anonym, 1997; Peschke, 1997; Körschens, 1997; Kubat, 1997). An der Humboldt-Universität zu Berlin werden verschiedenartige langjährige Dauerfeldversuche betrieben, die auf Kurt Opitz zurückgehen und vielfältige pflanzenbauwissenschaftliche Fragestellungen berühren. Sie stehen inhaltlich in der Traditionslinie der klassischen Experimente von Rothamsted, Halle und Bad Lauchstädt und stellen deren Fortführung unter den Bedingungen sandiger Böden dar.

2. Übersicht der Dauerfeldversuche

2.1. Versuche in Berlin-Dahlem

In Berlin-Dahlem befinden sich auf mittel schluffigem Sandboden (9,3 °C Mitteltemperatur und 545 mm durchschnittlicher Niederschlagshöhe) drei statische Versuchsanlagen (Tab. 1).

Tabelle 1: Dauerfeldversuche in Berlin-Dahlem

Versuchsbezeichnung	Anlagejahr	Prüffaktoren	Besonderheiten
Statischer Versuch Bodennutzung	1923	A - Bodenbearbeitung (1923) B - Kalkdüngung (1923) C - Phosphordüngung (1923) D - Stallmistdüngung (1939) E - Fruchtfolge (1967)	ältester Dauerfeldversuch auf Sandboden in Deutschland
Statisches agrarmeteorologisches Intensivmeßfeld	1953	keine achtfeldrige Fruchtfolge mit Getreide, Körnerleguminosen und Hackfrüchten; kontinuierliche Messung meteorologischer Parameter in Atmosphäre, Pflanzenbestand und Boden	längste Datenreihe agrarmeteorologischer Meßgrößen in Europa
Internationaler Organischer Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV)	1984	A - organische Düngung B - mineralische N-Düngung Dreifeldrige Fruchtfolge: Kartoffeln, Winterweizen, Sommergerste	Bestandteil einer europaweiten Versuchsserie an 15 Standorten

Der **Statische Versuch Bodennutzung** ist der älteste Dauerfeldversuch auf Sandboden in Deutschland und gemeinsam mit dem im gleichen Jahr in Skiernewice bei Warschau angelegten Fruchtfolge-Düngungsversuch (Mercik et al., 1997) das älteste Sandbodenexperiment in Mitteleuropa. Aus dem **Statischen Agrarmeteorologischen Intensivmeßfeld** ist seit 1953 die europaweit längste kontinuierliche Datenreihe agrarmeteorologischer und pflanzenbaulicher Meßgrößen entstanden, an der die vielfältigen Beziehungen zwischen Witterung und Kulturpflanze untersucht und unter anderem aktuelle Fragen der Klimawirkungsforschung bearbeitet werden (Chmielewski, 1998). Der **Internationale Organische Stickstoff-Dauerdüngungsversuch (IOSDV)** ist Bestandteil einer europaweiten Versuchsserie unter verschiedensten standortökologischen Bedingungen (Köhn & Limberg, 1996; Peschke et al., 1997).

2.2 Versuche in Thyrow

In Thyrow, Kreis Teltow-Fläming (Jahresmitteltemperatur 8,7 °C; mittlere Niederschlagshöhe 496 mm) werden auf grundwasserfernen bis schwach schluffigen Sandböden drei bedeutsame Langzeitexperimente unterhalten (Tab.2).

Tabelle 2: Dauerfeldversuche in Thyrow

Versuchsbezeichnung	Anlagejahr	Prüffaktoren	Besonderheiten
Statischer Nährstoffmangelversuch	1936	A - organisch-mineralische Düngung	unverändert seit Versuchsanlage
Statischer Bodenfruchtbarkeitsversuch	1938	A - organische Düngung/ Bodentextur B - mineralische N-Düngung	einzigster Dauerfeldversuch in Europa mit Prüffaktor Bodentextur
Statischer Beregnungs- und Düngungsversuch	1969	A - Beregnung B - organisch-mineralische Düngung	einzigster Dauerfeldversuch in Deutschland mit Prüffaktor Beregnung

Der **Statische Nährstoffmangelversuch** ist als einfaktorierlicher Düngungsversuch unverändert erhalten geblieben, was ihn nach mehr als sechs Jahrzehnten kontinuierlicher Durchführung zu einem höchst wertvollen Experiment werden ließ.

Im **Statischen Bodenfruchtbarkeitsversuch** ist einmalig in Europa durch das Einbringen von Tonbodensubstrat eine Veränderung der Bodentextur als Prüfglied enthalten. Der **Statische Beregnungs- und Düngungsversuch** ist der einzige Versuch, in dem langjährig die Wirkungen der Zusatzbewässerung auf Boden und Pflanze geprüft werden (Schnieder, 1985; Baumecker & Ellmer, 1996).

3. Ausgewählte Ergebnisse

3.1. Langjährig differenzierte Bodenbearbeitung

Am Statischen Versuch Bodennutzung in Berlin-Dahlem können unter anderem die Auswirkungen jahrzehntelang verminderter Pflugtiefe auf den Bodenzustand und die Pflanzenerträge quantifiziert werden. Die mit dem Prüffaktor A eingerichtete verschieden tiefe Bodenbearbeitung ($a_1 = 17$ cm; $a_2 = 28$ cm) hat zu ausgeprägten Gradienten im Ap-Horizont des Bodens geführt. Als Folge der flachen Pflugarbeit ist in der bearbeiteten Krume bis auf 17 cm eine Akkumulation an organischem Kohlenstoff (+ 44 %) und Phosphor (+ 23 %) zu verzeichnen. Der Kaliumgehalt und der pH-Wert haben sich hingegen nicht differenziert. Die Ertragsentwicklung über 75 Versuchsjahre zeigt, daß die dauerhaft flache Bodenbearbeitung im Mittel der geprüften Fruchtarten (Kartoffeln, Futterrüben, Winterweizen, Winterroggen, und diverse Sommergetreidearten) keine nachteiligen Wirkungen hatte, sondern mit 102,7 % tendenziell positiv abschneidet (Abb. 1).

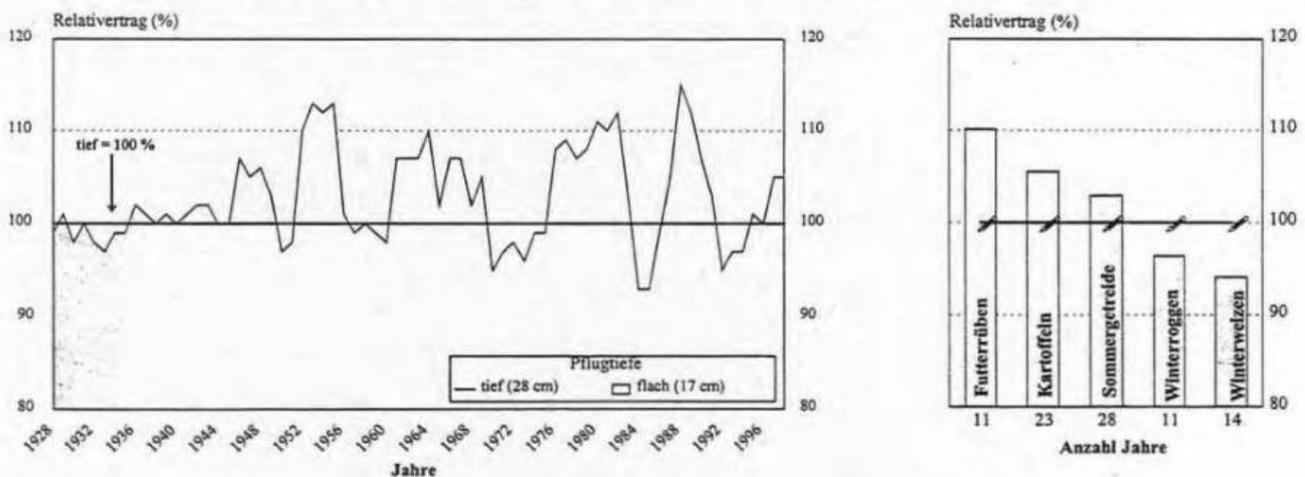


Abbildung 1: Relative Erträge bei langjährig flacher und tiefer Bodenbearbeitung

Bei den einzelnen Fruchtarten zeigt sich ein differenziertes Ergebnis. Während die Sommerungen nach der flachen Pflugfurche mit Mehrererträgen von 2,4 % (Sommergetreide, $n = 28$), 5,5 % (Kartoffeln, $n = 23$) und 10,1 % (Futterrüben ($n = 11$)) reagierten, wiesen die Winterungen im Durchschnitt Mindererträge von 3,6 % (Winterroggen, $n = 11$) und 5,9 % (Winterweizen, $n = 14$) auf. Dies deutet für diesen Standort darauf hin, daß im Gegensatz zur gängigen Lehrmeinung nicht den Hackfrüchten sondern dem Wintergetreide eine tiefere Bodenbearbeitung zugute kommen sollte.

3.2 Langjährig differenzierte Düngung

Am Statischen Nährstoffmangelversuch in Thyrow werden unter anderem langfristige Nährstoffbilanzen berechnet (Tab. 3). In den langjährigen P- und K-Mangelvarianten liefert der Sandboden noch 16 kg ha^{-1} P und 15 kg ha^{-1} K nach. Kombinierte organisch-mineralische Düngung führte zu bedeutenden P- und K-Bilanzüberschüssen.

Tabelle 3: Jährliche P- und K-Bilanz (kg ha⁻¹) im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow Mittel 1960-1996

Parameter	Prüfglieder							
	Ohne	Stm *	NPK+Stm + Kalk	NPK + Kalk	NPK	NP + Kalk	NK + Kalk	PK + Kalk
P-Zufuhr	0	25	49	24	24	24	0	24
P-Entzug	1	16	30	20	14	15	16	7
P-Bilanz	-1	9	19	4	10	9	-16	17
K-Zufuhr	0	95	195	100	100	0	100	100
K-Entzug	3	48	96	59	40	15	54	32
K-Bilanz	-3	47	99	41	60	-15	46	68

* Stm = Stallmist

Die höchsten P- und K-Entzüge entsprechen näherungsweise der Zufuhr mit 150 dt ha⁻¹ a⁻¹ Stallmist, so daß bei organischer Düngung die Mineralgaben reduziert bzw. ausgesetzt werden können.

4. Literatur

- Army, T. J.; Kemper, W. D.: Support for Long-Term Agricultural Research. *Agron. J.*, 1991, 88, 62-65
- Anonym: Für den Erhalt und die umfassende Nutzung der europäischen Dauerfeldversuche. Memorandum der Internationalen Konferenz "Dauerfeldversuche als Forschungsbasis für nachhaltige Landwirtschaft. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 151-153
- Baumecker, M.; Ellmer, F.: Wirkungen langjähriger Beregnung und differenzierter Düngung auf Bodenzustand und Pflanzenenertrag eines marginalen Sandbodens. *Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges.*, 1996, 76, 329-332
- Chmielewski, F.-M.: Der Einfluß der Witterung auf die Ertragsbildung von Sommergerste. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 1998, 11, 97-98
- Jenkinson, D. S.: The Rothamsted Long-Term Experiments: Are They Still of Use?. *Agron. J.*, 1991, 88, 2-10
- Krzysch, G.; Caesar, K.; Becker, K.; Brodowski, M.; Dressler, U.-B.; Grimm, J.; Jancke, G.; Krause, S.; Schlenker, L.: Einfluß langjährig differenzierter Bewirtschaftungsmaßnahmen und Umweltbelastungen auf Bodenfruchtbarkeit und Ertragsleistung eines lehmigen Sandbodens. *Schriftenreihe Fachbereich Internat. Agrarentw. TU Berlin.* 1992, 141
- Poulton, P. R.: The Rothamsted long-term experiments: Are they still relevant?-. *Canadian J. of Plant Science.*, 1996, 76 (4).- 559-571
- Peschke, H.: 60 Jahre Statische Versuche in Thyrow. Bedeutung, Ergebnisse und Ausblick. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 169-179
- Peschke, H.; Mollenhauer, S.; Köhn, W.; Limberg, P.: Entwicklung von Bodenkennwerten im Internationalen Organischen Stickstoff-Dauerdüngungsversuch Berlin-Dahlem nach drei Fruchtfolgerotationen. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 3-10
- Köhn, W.; Limberg, P.: Der Internationale Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem nach drei Rotationen. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1996, 40, 75-95
- Körschens, M.: Die wichtigsten Dauerfeldversuche der Welt. Übersicht, Bedeutung, Ergebnisse. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 157-168
- Kubat, J.; Klir, J.; Apfelthaler, R.: Utilisation of Long-Term Field Experiments in Prague-Ruzyne in Modern Agricultural Research. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 181-191
- Mercik, S.; Stepien, W.; Gebski, M.: Results of 75 years of continous fertilization experiments in Skerniewice as a contribution to modification of fertilization. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1997, 42, 201-210
- Schnieder, E.: Über den Einfluß der Beregnung auf den Ertrag und den Humusgehalt in einem Dauerdüngungsversuch auf Tiefland-Fahlerde. *Arch. Acker- Pfl. Boden.*, 1985, 29 (9), 569-574
- Southwood, T. R. E.: The importance of long-term experimentation. In: *Long-term experiments in agriculture and ecological sciences.* CAB International, Wallingford, 1994. 3-8

Are the Rothamsted experiments still relevant to modern farming?

Poulton, P. and Powlson, D.

Soil Science Department, IACR-Rothamsted,
Harpenden, Herts., AL5 2JQ, UK

Introduction

Why is it that experiments that began 50, 120 or even > 150 years ago are still relevant to modern farming? In some cases the questions being asked when these experiments started have long since been answered. Often, the cropping, the treatments and husbandry originally chosen would have little relevance today. Furthermore, there would have been little or no way of anticipating the environmental concerns that impact upon the present farming community. Why then do we think that these experiments are important in our attempts to understand soil fertility and sustainability of yield? The answer is *change*. There must be a willingness, by those responsible for managing long-term experiments, to conduct regular reviews of the experiments and, if necessary, make changes. These changes may be conceptual, i.e. the realization that better use may be made of existing experiments together with the material and data from them by adopting new ideas, new analytical or statistical techniques or by greater collaboration with other scientists. Often, new ideas will lead to a physical change, e.g. the introduction of new cultivars, treatments or land management.

In recent years Rothamsted staff have produced several reviews, for conferences similar to this, which clearly show that long-term experiments are a valuable resource which we should exploit to the full (see Johnston, 1997; Powlson and Poulton, 1998; Powlson *et al.*, 1998). The list of research papers on which these reviews are based is extensive. In this paper we shall focus on some of the changes that have been made to experiments at Rothamsted and the reasons for those changes.

Discussion

The Broadbalk Continuous Wheat experiment can be used to illustrate some of these changes. Started in 1843 its purpose was to study the effects of various combinations of inorganic fertilizer and farmyard manure (FYM) on the yield of winter wheat. Treatments were not randomized and there was little replication. However, it did have large plots, an important point as this allowed later division.

In the first 8 years treatments changed frequently, although the control and FYM plot did not. Lawes and Gilbert realised that this was a mistake and treatments became "fixed" on each strip from 1851. There were few further changes in design over the next 70 years although changes in husbandry did take place. For example harvesting was originally by hand sickling and a self-binder was first used in 1902; ploughing was originally by horses or oxen, a tractor was first used in 1919.

Weeds had become a major problem by the 1920s. A decision was taken to divide the experiment into 5 sections, one section was then bare fallowed each year to control weed growth. Wheat yields recovered to their former level (Fig. 1). Herbicides were introduced in the 1950s and rotational fallowing stopped. However, half of one section has never received herbicides and provides useful material for weed biologists studying herbicide resistance.

The next major change came in the early 1950s when it was realised that parts of the field had become acid. Broadbalk had received large, non-uniform applications of chalk before the experiment started and this together with the treatment differences (N was applied as ammonium

sulphate) led to considerable variation in pH across the site. Regular liming was started to maintain the soil at c. pH 7, preventing a decline in yield. It could be argued that the use of ammonium sulphate led to some plots becoming acid and that this was a valid effect that should be measured. However, the treatment effects were confounded by the earlier chalk applications and as the soil is naturally acid the whole site would eventually have declined to a level unsuitable for wheat. A test of liming was therefore thought inappropriate on this experiment although such tests were introduced elsewhere.

In the 1960s much thought was given to the future of the long-term experiments at Rothamsted. Their relevance to modern farming was questioned and after lengthy discussions major changes were made to several experiments. On Broadbalk, along with the other cereal experiments, it was decided to change to a modern short-strawed cultivar with a higher grain yielding potential. Older varieties were obsolete and no longer being grown by farmers. The second fundamental change on Broadbalk was the division into 10 sections and the introduction of a rotation to part of the experiment. The purpose of this was to assess the effects of soil-borne diseases on yield by comparing continuous wheat with wheat after a 2-year break. Figure 1 shows that the effect of these two major changes on yield was dramatic, especially when fungicides were applied to protect yield potential.

Over the years a unique archive, comprising > 250,000 crop and soil samples, has been established. Studies on soil organic matter (SOM), a vital factor influencing soil quality and fertility have made extensive use of archived soil samples. Figure 2 shows how the total N content of the plough layer on Broadbalk has changed with time. Some soils have been in equilibrium for > 100 years; where FYM is applied, total N is still increasing. Data from the long-term experiments has been fundamental in constructing and validating the Rothamsted Carbon Model which simulates the turnover of SOM. Part of the validation involved the analysis of archived crop and soil samples for ^{14}C to see whether the model could accurately simulate the input of labelled C into soil as a result of the atmospheric thermonuclear bomb tests of the 1960s. The retrospective analysis of archived samples also allows us to look at the effect of other atmospheric inputs. Thus, as environmental awareness has increased we have been able to show that levels of e.g. polynuclear aromatic hydrocarbons, polychlorinated biphenyls and dioxins have increased in the soil, but that levels of e.g. lead or sulphur in crops have declined.

Because many long-term experiments have a well-documented history they are ideal sites on which to carry out additional measurements. Thus, Broadbalk where the long-term effects of various treatments can be clearly seen (Fig. 2) has been widely used for studies on the N cycle. In the 1980s ^{15}N was used to look at the efficiency with which fertilizer N was used and to follow the fate of residues whilst in recent years ^{15}N isotopic pool dilution techniques have been used to estimate *gross* rates of mineralization, nitrification and immobilization. Gaseous losses by denitrification and losses of $\text{NO}_3\text{-N}$ via drains have also been measured. The drains which were installed in 1849, and partially replaced in 1993, were first used to measure losses of nutrients in the 1860s. As well as looking at $\text{NO}_3\text{-N}$ losses they have also been used to study losses of P and currently of dissolved organic N. The most recent change on Broadbalk has seen the introduction of forage maize, not a common crop in the UK, into the rotation. This will allow us to use the difference in $\delta^{13}\text{C}$ which exists between a C4 crop like maize and a C3 crop like wheat to gain further insight into the fate of organic residues.

For scientists studying the sustainability of different systems or constructing models to be used in predicting the effects of global change there is a requirement for much more data from long-term experiments conducted over a wide range of soil types and climatic conditions. Several countries

e.g. Hungary and India have networks of long-term experiments on different soils and/or agroecological zones and these are very valuable. However, there is still a need for greater international collaboration and networking of long-term sites. The development of GCTE-SOMNET is one example of this; it contains metadata on soil carbon from more than 70 long-term experiments and about 20 SOM models.

Conclusion

Long-term experiments are an essential resource in our attempts to understand those factors which influence soil quality and fertility and the sustainability of yield. They should not be regarded as "museum pieces" which can never be changed, but where changes are made to ensure their continued relevance, the long-term integrity of the experiment should not be compromised.

References

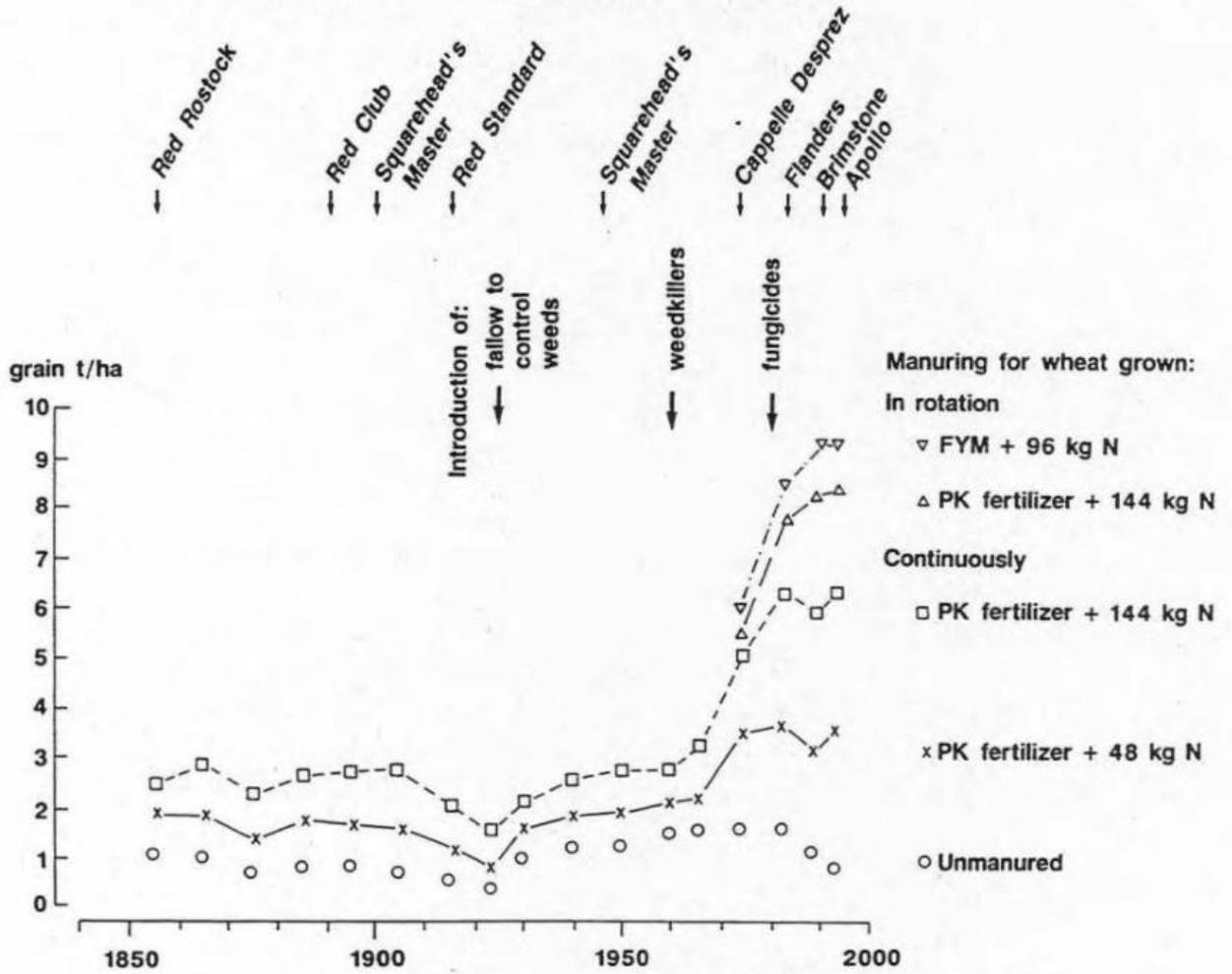
- Johnston, A.E. (1997) The value of long-term experiments in agricultural, ecological and environmental research. *Advances in Agronomy* **59**, 291-333.
- Powlson, D.S. & Poulton, P.R. (1998) Using the long-term experiments at Rothamsted to address current agricultural and environmental issues. *Arch. Acker-Pfl. Boden.* **42**, 455-478.
- Powlson, D.S., Poulton, P.R. & Gaunt, J.L. (1998) The role of long-term experiments in agricultural development. In "Long-term soil fertility management through integrated plant nutrient supply". Eds. A. Swarup, D. Damodar Reddy & R.N. Prasad. Indian Institute of Soil Science, Bhopal, India.

Figure legends

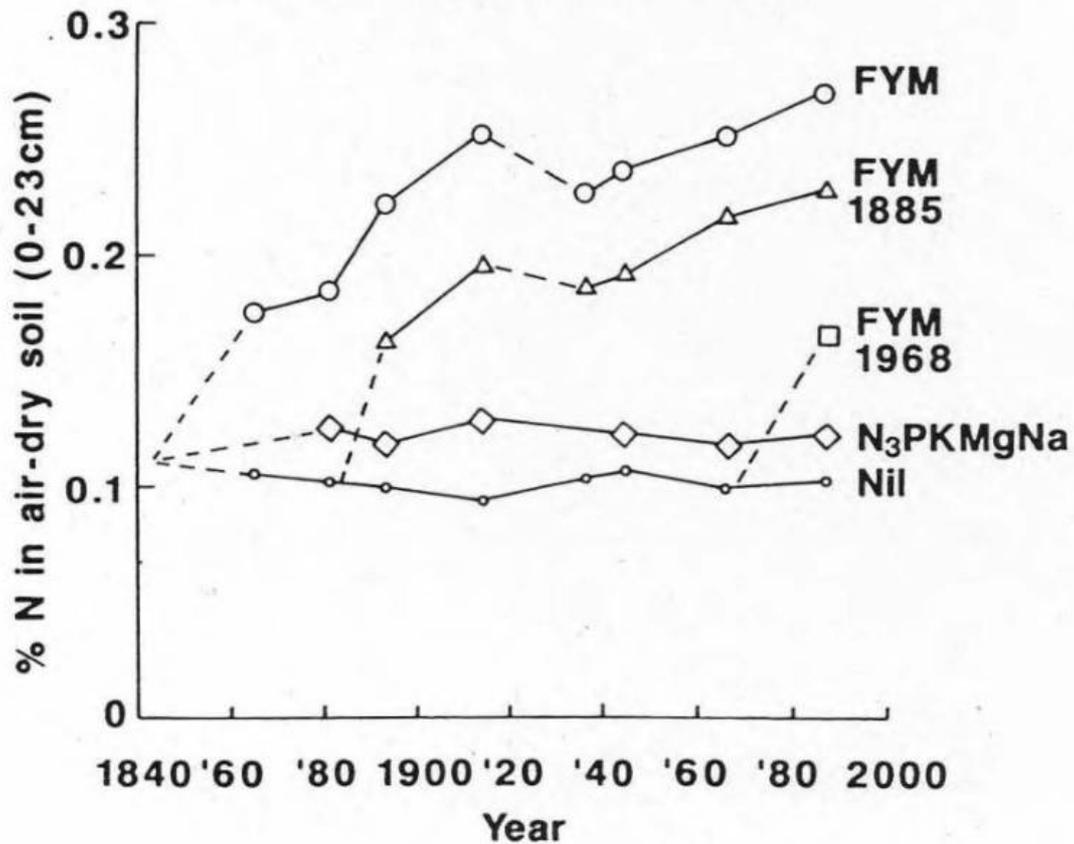
Fig. 1 Broadbalk. Long-term wheat yields. Note: on continuous wheat the yield with FYM alone was the same as that with PK fertilizer + 144 kg N ha⁻¹.

Fig. 2 Broadbalk. Long-term changes in % N in the soil (0 - 23 cm). Nil: unmanured since 1843; N₃PKMgNa: 144 kg N ha⁻¹ since 1851; FYM: 35 t ha⁻¹ since 1843, 1885 or 1968.

Broadbalk Wheat Yields



Rothamsted Broadbalk % N in soil



Bewertung der Nährstoffgehalte im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt

Körschens, M. und Pfefferkorn, A.

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH

Sektion Bodenforschung

Thodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle

1. Einleitung

Die Nährstoffgehalte des Bodens sind Voraussetzung für Quantität und Qualität der Ernteprodukte. Mit Ausnahme für Kohlenstoff und Stickstoff gibt es seit langem ausreichend zuverlässige Richtwerte. Sie gewinnen für die Bewertung der Nährstoffeffizienz und Umweltbelastung eine besondere Bedeutung.

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Tierkonzentration der vergangenen Jahrzehnte und der daraus resultierenden unterschiedlichen regionalen Verteilung der organischen Dünger ist der Einfluß verschiedener Düngung auf den Nährstoffgehalt des Bodens zu quantifizieren. Im Hinblick auf die große Variabilität bodenchemischer Parameter und die notwendige Zeitdauer zur Quantifizierung von Veränderungen im Boden als Folge unterschiedlicher Düngung und Nutzung sind Dauerfeldversuche für derartige Untersuchungen unumgänglich. Über die C- und N-Gehalte wurde bereits mehrfach berichtet (Körschens et al., 1994, Körschens, 1997 u. a.). Nachfolgend werden die Ergebnisse der Makro- und Mikronährstoffbestimmungen ausgewertet.

2. Material und Methoden

Der Statische Düngungsversuch Bad Lauchstädt wurde 1902 angelegt und bietet mit seiner Variantenvielfalt und seiner Versuchsdauer ideale Voraussetzungen für die gegebene Zielstellung. Standort und Versuchsanlage sind mehrfach in der Literatur beschrieben (Körschens et al., 1994 u.a.).

Der Standort ist eine Löß-Schwarzerde im mitteldeutschen Trockengebiet mit 484 mm Jahresniederschlag und 8,7 °C Jahresdurchschnittstemperatur. Die 18 Prüfglieder ergeben sich aus der orthogonalen Kombination der drei Stufen des Faktors „organische Düngung“: ohne, 20 t/ha Stallung jedes 2. Jahr, 30 t/ha Stallung jedes 2. Jahr, mit den sechs Mineraldüngungsstufen: NPK, NP, NK, N, PK, O. Die Fruchtfolge ist: Kartoffeln, Winterweizen, Zuckerrüben, Sommergerste.

Von den Hauptvarianten wird jährlich der Gehalt an C, N, P, K und Mg im Boden bestimmt, im vierjährigen Turnus der Gehalt an Makro- und Mikronährstoffen von allen Parzellen.

Die Untersuchungen 1998 betrafen den **Schlag I**. Dieser ist unterteilt in die **Schlaghälfte 1** (aller vier Jahre Kalk zu Kartoffeln) und die **Schlaghälfte 2** (ohne Kalk, wie der gesamte übrige Versuch). Für pH und Mn zeigen sich sehr deutliche Unterschiede zwischen beiden Schlaghälften, diese werden deshalb gesondert betrachtet. Die Untersuchungen wurden nach den gültigen, standardisierten Methoden mit 4 Wiederholungen für jede Schlaghälfte vorgenommen.

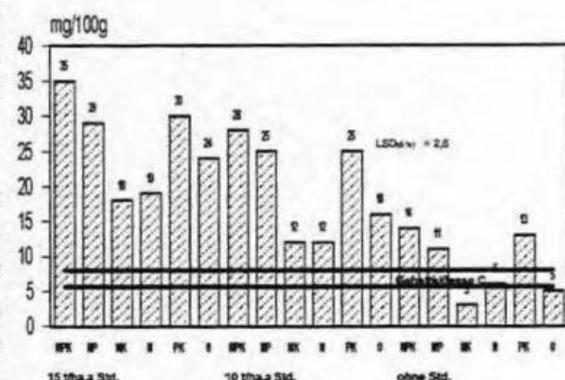


Abb. 1: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Gehalt an doppelaktäoßlichem Phosphor im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1996 (Schlag I, 0 - 30 cm)

3. Ergebnisse

Abb. 1 zeigt die Gehalte an doppelaktatlöslichem **Phosphor** nach 96 Versuchsjahren. Bis auf die Parzellen, die im Verlaufe des gesamten Versuchszeitraumes keinerlei P-Düngung erhalten haben, liegen alle übrigen Prüfglieder deutlich über den Grenzwerten für eine ausreichende Versorgung. Dabei liegen die P-Entzüge der letzten 10 Jahre ohne Düngung noch bei 9 kg/ha.a, die der ausschließlich mit 10 t/ha.a Stallung gedüngten Parzellen bei 20 kg/ha und in der Kombination Stallung + NPK beträgt der jährliche P-Entzug rd. 30 kg/ha (Körschens, 1996). Mit einer jährlichen Stallmistgabe von 10 t/ha

wird der Grenzwert der Gehaltsklasse C von 8 mg/100 g Boden bereits deutlich überschritten.

Unterhalb der Gehaltsklasse C liegen nur die Prüfglieder, die weder eine organische Düngung noch eine mineralische P-Düngung erhalten haben.

Abb. 2 enthält die Ergebnisse zum Gesamtphosphor im Vergleich zum doppelaktatlöslichem P. Die Relationen zwischen den Düngungsstufen sind vergleichbar, der Korrelationskoeffizient zwischen beiden Parametern beträgt $r = 0,84^{***}$. Der Gesamt-P-Gehalt aller ausschließlich mit 10 t/ha.a Stallung oder mit mineralischer P-Düngung versorgten Prüfglieder liegt zwischen 61 und 65 mg/100 g Boden und entspricht einem Gehalt an DL-P von 11 bis 16 mg/100g Boden.

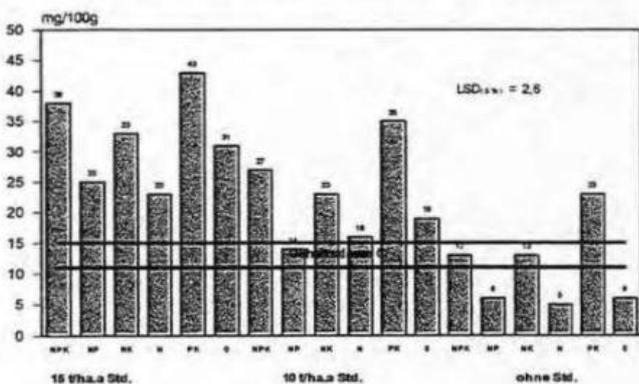


Abb. 3: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Gehalt an doppelaktatlöslichem Kalium im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

Die **Kaligehalte** (Abb. 3) führen zu analogen Aussagen. Wie bei P reichen auch hier 10 t/ha.a Stallung aus um selbst bei hohen Erträgen einen mittleren, anzustrebenden Gehalt an K im Boden zu erhalten. Gleiche Ergebnisse werden mit der ausschließlichen mineralischen K-Düngung erzielt. Höhere Stallungsgaben oder die Kombination Stallung + Mineral-K führen zu Luxusgehalten im Boden.

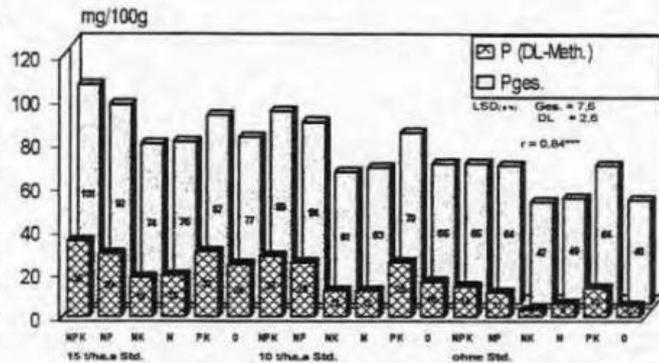


Abb. 2: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Gehalt an Gesamtphosphor und doppelaktatlöslichem P im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

Auch ohne jede P-Düngung unterschreiten die Gesamt-P-Gehalte nicht die Grenze von 47 mg/100g und machen damit etwa 50 % des Gehaltes der „überdüngten“ Variante aus.

15 t/ha.a Stallung bzw. jede Kombination Stallung + Mineral-P führt zu stark überhöhten Gehalten an DL-P und zu einer signifikanten Erhöhung des Gesamt-P. Nach Fleicher (1998) liegt der P-Entzug in Deutschland im Durchschnitt bei 25 kg/ha.a und wird mit einer Dungeinheit abgedeckt. Dies entspricht uneingeschränkt den vorgestellten Ergebnissen.

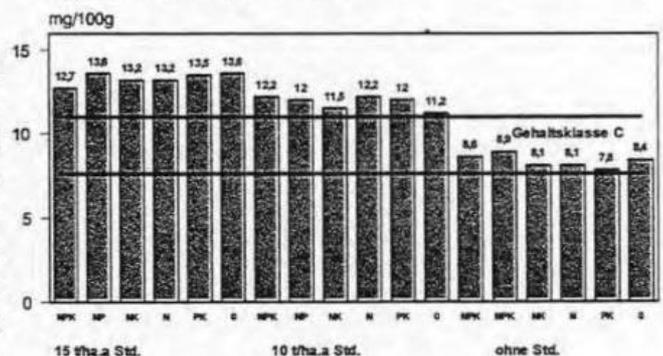


Abb. 4: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Mg - Gehalt im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

Bei **Magnesium** ist eine deutliche, vielfach auch signifikante, Abstufung zwischen den drei Stallungstufen zu verzeichnen, während bei gleicher Stallungsgabe in keinem Falle signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Mineraldüngungsstufen eingetreten sind. Die Gehalte

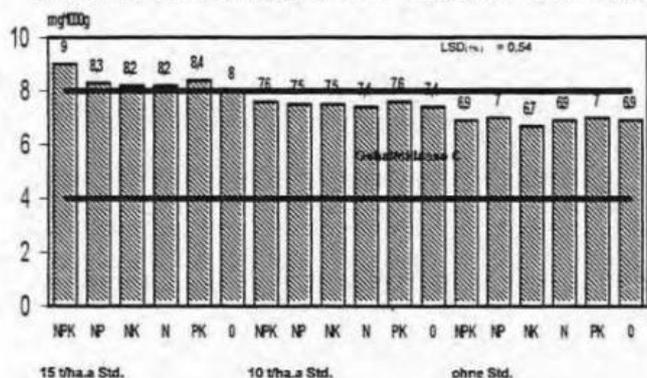


Abb. 5: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Cu - Gehalt im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

bleiben jedoch selbst ohne jede Düngung noch innerhalb der Gehaltsklasse C. Die Unterschiede zwischen den Stallungstufen betragen je 10 t/ha.a Stallung rd. 1,5 mg/100g (Abb. 4).

Der **Kupfergehalt** zeigt nur eine sehr geringe Differenzierung zwischen den verschiedenen Düngungsstufen (Abb. 5), alle Werte liegen zwischen 6,9 und 9,0 mg/100 g Boden und damit im Bereich der Gehaltsklasse C bzw. nur knapp darüber. Signifikante Unterschiede gibt es überwiegend

zwischen den verschiedenen Stallungstufen bei gleicher Mineraldüngung. Die absoluten Werte und die Relationen zwischen den Prüfgliedern entsprechend den Ergebnissen vorangegangener Jahre.

Deutlichere Abstufungen sind dagegen bei **Zink** zu verzeichnen (Abb. 6). Stallung bewirkt einen Anstieg der Gehalte weit über die Gehaltsklasse C hinaus, aber auch ohne jede Düngung wird nach 96 Jahren die untere Grenze dieser Gehaltsklasse noch nicht unterschritten.

Die **pH-Werte** liegen mit Kalkdüngung im Mittel aller Prüfglieder bei 7,3 bei einer nur geringen Spannweite von 7,2 bis 7,5 und damit ausnahmslos innerhalb der Signifikanzschwellen (Abb. 7). Ohne Kalk beträgt der Mittelwert 6,6 mit signifikanten Unterschieden im Bereich von 6,3 bis 7,3. Stallung wirkt sich nicht positiv auf die pH-Werte aus, jedoch zeigen alle Varianten ohne Mineral-N-Düngung (PK und 0) auf den jeweils gleichen Stallungstufen signifikant höhere Werte, bedingt durch den geringeren Ertrag und Ca-Entzug.

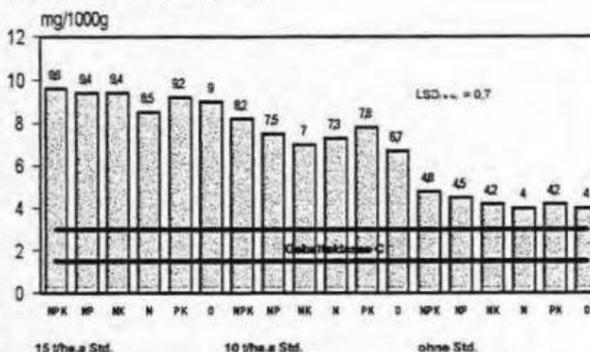


Abb. 6: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Zn - Gehalt im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

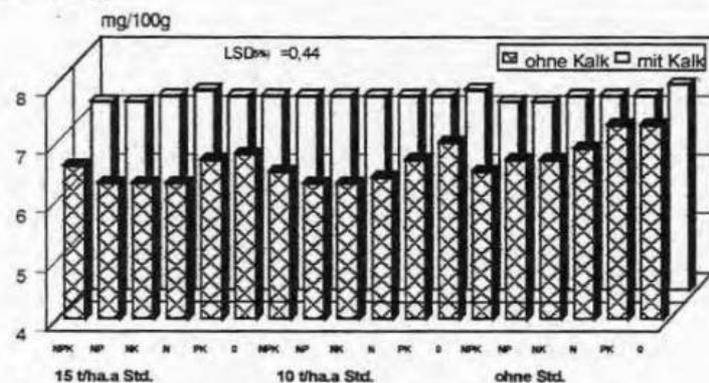


Abb. 7: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den pH-Wert im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

Eine sehr enge Wechselbeziehung besteht zwischen dem pH-Wert und dem Gehalt an löslichem **Mangan**. Mit Kalk bei einem pH-Wert zwischen 7,2 und 7,5 wird Mangan offensichtlich festgelegt und ordnet sich bei sehr geringen Schwankungen zwischen 27 und 40 ppm, und damit auch noch im Bereich anzustrebender

Versorgung, ein. Ohne Kalkdüngung wird eine Festlegung vermieden, es werden Mn-Gehalte zwischen 32 und 100 ppm erreicht. Diese entsprechen den Ergebnissen der Untersuchungen früherer Jahre auf anderen Schlägen ohne Kalk. Die geringeren Mn-Werte der Prüfglieder ohne mineralische N-Düngung lassen sich mit den o. g. höheren pH-Werten dieser Varianten, auch ohne Kalkdüngung, erklären. Zwischen beiden Merkmalen besteht eine hochsignifikante Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = -0,98$.

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

Ökonomie und Ökologie der landwirtschaftlichen Produktion werden in entscheidendem Maße von der Düngung beeinflusst. Optimale Aufwandmengen und -termine und dementsprechende Gehalte im Boden bestimmen die Höhe der Erträge, die Nährstoffeffizienz, und damit das Ausmaß möglicher Umweltbelastungen. Im Hinblick auf den für Produktion, Transport und Ausbringung von Mineraldüngern notwendigen Energieaufwand müssen überhöhte Aufwandmengen oder Bodengehalte schon als Belastung angesehen werden, auch wenn keine Austragung von Nährstoffen in das Grundwasser oder in die Atmosphäre erfolgt. Dabei haben die in den organischen Düngern enthaltenen Nährstoffe eine große Bedeutung. Sie decken einerseits einen erheblichen Bedarf der Pflanzenproduktion, werden aber andererseits nicht immer genügend berücksichtigt. Die Gehalte der organischen Dünger an Makro- und Mikronährstoffen werden kaum bestimmt, die auszubringenden Mengen nicht exakt genug berechnet und verteilt.

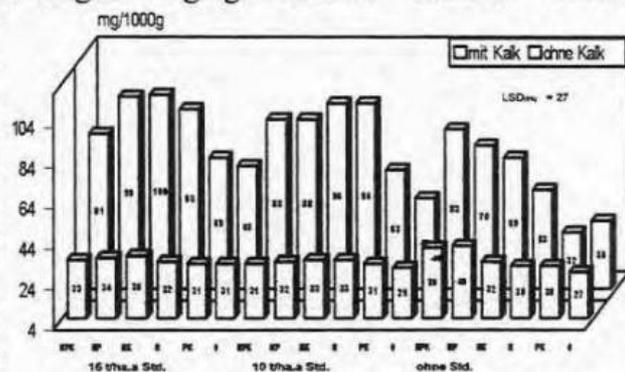


Abb. 8: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Mn - Gehalt im Boden im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach 96 Versuchsjahren im Jahre 1998 (Schlag I, 0 - 30 cm)

Auf der Grundlage von Dauerfeldversuchen läßt sich der Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Bodenkennwerte gut quantifizieren. Im Beispiel des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt kann davon ausgegangen werden, daß das hohe Niveau der Erträge (vergl. Körschens u. Pfefferkorn, 1998) einen entsprechenden Nährstoffentzug gewährleistet und damit sowohl der Pflanzenentzug ausreichend berücksichtigt als auch ein experimenteller Nachweis für die Gültigkeit der Gehaltsklassen gebracht wird.

Sowohl für Phosphor, als auch für Kalium und Magnesium zeigt sich, daß mit 10 t/ha.a Stallung bereits die optimale Zufuhr an Nährstoffen erreicht, teilweise schon überschritten ist. Mit 15 t/ha.a Stallung werden generell überhöhte Werte erreicht. Die Mineraldüngung, die in den Jahren vor 1980 noch sehr hoch war und zu allen Stallungstufen in gleicher Höhe gegeben wurde, führte ebenfalls zu überhöhten Gehalten.

Insgesamt zeigt sich, daß die ökonomischen und ökologischen Grenzen des Düngereinsatzes nicht nur bei Stickstoff, sondern auch bei anderen Nährstoffen schnell erreicht oder überschritten werden können. Diese Gesichtspunkte erfordern beim Einsatz organischer Dünger der Tierproduktion größere Beachtung.

(Die verwendete Literatur ist bei den Autoren einzusehen)

Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch

Effekte kombinierter organisch-mineralischer Düngung auf Nährstoffbilanzen und Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit

Rogasik, J. und Schroetter, S.

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode (FAL),

Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch V140/00 gehört zu den wenigen auf sandigen Ackerstandorten erhaltenen Dauerversuchen in der Bundesrepublik Deutschland. Er ist eine wichtige Forschungsgrundlage für die Umsetzung von Konzepten zur nachhaltigen Bodennutzung. Die Untersuchungen zur Langzeitwirkung kombinierter mineralisch-organischer Düngung im Vergleich zu alleiniger Mineraldüngung auf Ertragsentwicklung, Nährstoffbilanzen und Bodenfruchtbarkeit wurden zunehmend durch die Anforderungen des ressourcenschonenden Einsatzes von Produktionsmitteln geprägt.

Versuchsüberblick

Standort: Müncheberg, Land Brandenburg (52° 30, 35 N ; 14° 8, 32 E).

Die Bodenbedingungen können wie folgt charakterisiert werden:

Körnungsart: schwach schluffiger, schwach lehmiger Sand (Su2, Sl2)

Bodenformenvergesellschaftung: Rosterde, Braunerde, Sandtieflern-Fahlerde

FAO-Bodenklassifikation: Leptic Podzol, Luvic und Cambic Arenosol

Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch wurde 1963 angelegt. Der Versuch umfaßt 21 Prüfgliedkombinationen: Kontrolle (ungedüngt), 4 Stufen organische Düngung kombiniert mit 5 Mineral-N-Stufen:

	org. TM [t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]	N Düngung [kg·ha ⁻¹ ·a ⁻¹]				
		N1	N2	N3	N4	N5
ungedüngt						
NPK	0	51	88	117	156	192
NPK+Stm1	1.2	32	68	116	140	170
NPK+Stm2	3.2	8	51	76	117	149
NPK+Stroh	2.0	62	99	135	160	190

N-Düngung im Mittel der Fruchtfolge Winterweizen/ Zuckerrüben/ Sommergerste/ Kartoffeln,
org. Düngung zu Hackfrüchten

Biomasseproduktion

Im Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch wurden im Bereich optimaler Nährstoffversorgung Erträge von 9 - 10 t·ha⁻¹·a⁻¹ GE (Getreide Einheiten) erzielt. Die über die C-Konzentration in der Trockenmasse berechnete temporäre CO₂-Bindung erreicht Optimalwerte von 14 - 15 t·ha⁻¹·a⁻¹ CO₂. In den Versuchspartellen mit nahezu ausschließlicher organischer Düngung (N1 PK+Stm 2) sind die GE-Leistung der Fruchtfolge und die temporäre Senke für CO₂ um mehr als 30 % geringer im Vergleich zu den Varianten mit kombinierter organisch-mineralischer Düngung. Der Nährstoffeinsatz in der Landwirtschaft verfolgt aber das Ziel, hohe GE-Erträge bei gleichzeitig geringen C- und N-Verlusten zu erzeugen. Die N-Optima für die Erzeugung hoher GE-Erträge und damit für die Gewährleistung einer hohen temporären Senke für CO₂ wurden für die Prüfgliedkombinationen des Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuches berechnet. Sie betragen in den Varianten

NPK	157 kg·ha ⁻¹ N,
NPK+Stalldung (1,2 t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹ TM)	125 kg·ha ⁻¹ N,
NPK+Stalldung (3,2 t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹ TM)	103 kg·ha ⁻¹ N und
NPK+Stroh (2,0 t·ha ⁻¹ ·a ⁻¹ TM)	119 kg·ha ⁻¹ N.

Bodenfruchtbarkeit

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß kombinierte organisch-mineralische Düngung eine wesentliche Maßnahme ist, optimale Humusgehalte im Boden zu sichern (Tab. 1). Menge und Qualität der organischen Bodensubstanz werden durch das Management beeinflusst.

Tabelle 1: Differenzierung der organischen Bodensubstanz (0 - 50 cm) in Abhängigkeit von der Düngungsintensität nach 35 Versuchsjahren

Variante	N-Düngung [kg·ha ⁻¹]		C _{org} -Pool ^{a)} [t·ha ⁻¹ C]
	mineralisch	min.+org.	
PK+Stm2	8	81	25,4
NPK	88	88	25,2
NPK	117	117	23,6
NPK	156	156	24,4
NPK+Stroh	99	111	24,4
NPK+Stroh	135	148	27,6
NPK+Stroh	160	171	27,5
NPK+Stm1	68	100	25,8
NPK+Stm1	116	144	25,9
NPK+Stm1	140	169	27,9
NPK+Stm2	51	124	30,1
NPK+Stm2	76	152	28,9
NPK+Stm2	117	192	30,4

^{a)} Mittelwert der Probenahmen 94, 96, 98 aus je 8 Wiederholungen

Nur durch eine ausgewogene organisch-mineralische Düngung bei hoher Biomasseproduktion wird ein Absinken des Humusvorrates (Startwert zu Versuchsbeginn ca. $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ C}_{\text{org}}$) verhindert. Alleinige organische N-Düngung (Prüfglied PK+Stm2) konnte langfristig den C-Spiegel im Boden nicht halten. Die Verluste liegen mit ca. $0,12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ C}$ in gleicher Größenordnung wie bei ausschließlicher Mineraldüngung (Tab.1).

Kombinierte organisch-mineralische Düngung erhöht den Input von C und N über Ernte- und Wurzelrückstände in die Ackerkrume um etwa 30 % (Tab. 2).

Tabelle 2: C- und N - Eintrag in die Ackerkrume durch Wurzeln und Ernterückstände nach der Ernte (Dauerversuch 140/00, Müncheberg 1996, Winterroggen "Marder")

Düngung		Wurzeln [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]		Ernterückstände [$\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$]	
mineralisch	organisch	Bodenschicht 0...20 cm		Bodenschicht 0...20 cm	
		N_r	C_r	N_r	C_r
$70 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ N}$	$1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ org.TM}$	7,3	455	0,5	12
$105 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ N}$	$3,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ org.TM}$	15,8	655	0,9	17

Die Erhaltung eines standorttypischen Kohlenstoffgehaltes im Boden auf sandigen Ackerstandorten ist außerdem eng korreliert mit den N-Bilanzsalden (Abb. 1). Mit den Prüfgliedkombinationen NPK+Stm1 ($1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ org.TM}$) sowie NPK+Stroh ($2,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{a}^{-1} \text{ org.TM}$) sind die Voraussetzungen gegeben, den Humusspiegel im Boden zu halten.

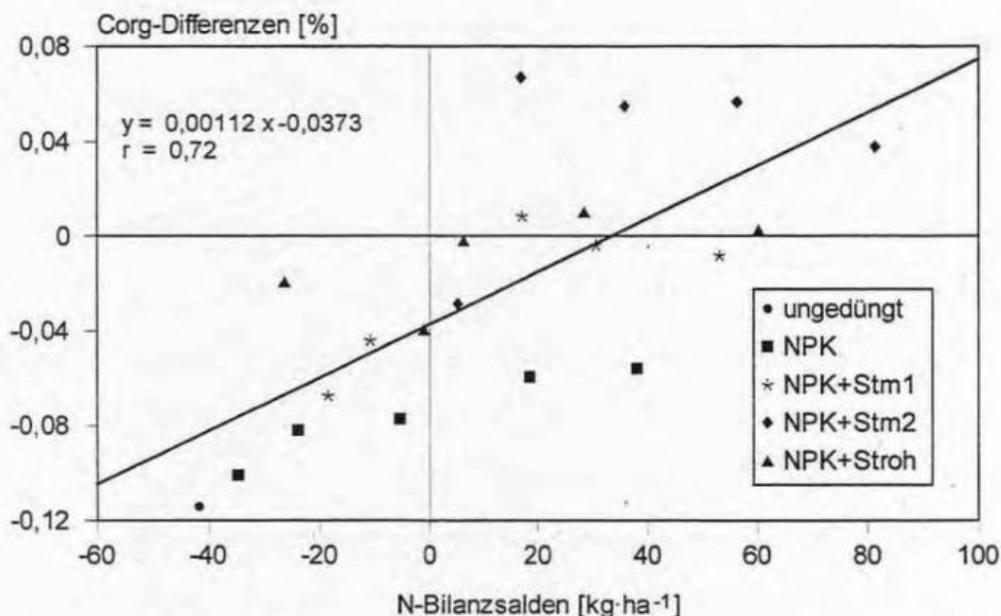


Abbildung 1: Veränderungen der organischen Bodensubstanz (C_{org}) als Funktion der N-Bilanz nach 35 Versuchsjahren (Profiltiefe 0 - 25 cm)

Analog zu den C_{org} -Gehalten verläuft die prüfgliedabhängige Entwicklung der N_r -Gehalte im Boden. Mit den Meßreihen zur Entwicklung der C_{org} - und N_r -Gehalte des Bodens liegen notwendige

Informationen zur Schätzung möglicher N-Verluste vor. Überhöhte N-Bilanzsalden haben den Anstieg des N_{\min} -Gehaltes im Boden zur Folge. Damit steigt gleichzeitig die Gefahr von N-Verlusten durch NO_3 -Austrag bzw. N_2O -Emission.

In Abhängigkeit von den P-Bilanzsalden konnte eine proportionale P-Anreicherung im Boden festgestellt werden (Abb. 2).

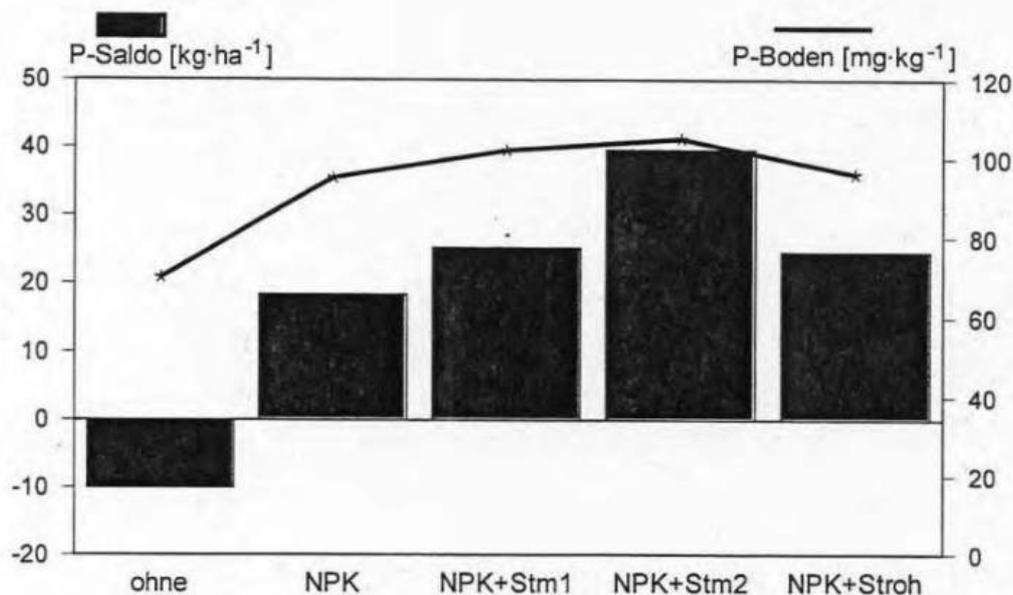


Abbildung 2: P-Bilanzsalden und P-Gehalte im Oberboden nach 35 Versuchsjahren (Profiltiefe 0 - 25 cm)

Schlußfolgerungen

- Der Müncheberger Nährstoffsteigerungsversuch liefert relevante Daten, auf deren Basis die CO_2 -Senke im Landbau bewertet werden kann.
- Geringer Faktoreinsatz ist keine Garantie für eine bessere Umweltverträglichkeit, da er oft mit geringem Energiegewinn (CO_2 -Bindung im Ernteertrag) verbunden ist.
- N-Mineraldüngung allein reicht nicht aus, den Humusgehalt im Boden zu stabilisieren. Die Reproduktion der organischen Bodensubstanz ist nur in Kombination mit bedarfsgerechter organischer Düngung (Stroh/Stallmist) zu gewährleisten.
- Durch gezieltes agronomisches Management ist die Erhaltung standorttypischer C-Gehalte im Boden möglich. Ein Absinken, aber auch überhöhtes Ansteigen können verhindert werden.
- Auf der Basis von Dauerversuchen lassen sich quantitative Kennziffern zur Bewertung der Umweltverträglichkeit differenzierter Landnutzungsintensitäten ableiten.

Die Nachhaltigkeit von Dünungssystemen anhand Seehausener Dauerversuche

Hülsbergen, K.-J.; Biermann, St.; Diepenbrock, W.

Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg,
Ludwig-Wucherer-Str. 2, 06099 Halle/Saale

Einleitung

Das Konzept der Nachhaltigkeit wurde in den letzten Jahren zu einem Leitbild für die Lösung von Umweltproblemen. Am Beispiel des 1967 angelegten Dünungs-Kombinationsversuchs Seehausen wird der Frage nachgegangen, inwieweit Dauerversuche Aussagen zur Nachhaltigkeit von Dünungssystemen zulassen. Ein methodisches Problem stellt die Beurteilung der Nachhaltigkeit als komplexe Größe dar, d.h. anhand welcher Indikatoren Nachhaltigkeit zu erfassen ist und wie die Indikatoren gewichtet bzw. verknüpft werden können.

Versuchsstandort und Versuchsbeschreibung

Seehausen bei Leipzig ist als typischer Ackerbaustandort des mitteleuropäischen Agrarraumes anzusprechen. Er ist repräsentativ für 5 bis 10 % der Bodenfläche Deutschlands (Altermann, 1992). Der Dünungs-Kombinationsversuch wurde 1967 als zweifaktorielle Anlage mit den Prüffaktoren „Stallmist“ als Rottedung vom Rind und „Mineral-N“ als Kalkammonsalpeter mit jeweils 4 Stufen in 4 Wiederholungen (= 16 Varianten, 64 Parzellen) angelegt (Tab. 2). Die N-Gaben sind ausreichend gestaffelt, um für die Ertragsbildung optimale N-Aufwandmengen abzuleiten. Ein weiterer Vorteil gegenüber älteren Dauerversuchen besteht in den Wiederholungen und der Randomisation.

Tab. 1: Standortbedingungen der Versuchsstation Seehausen

Kennzahl	Maßeinheit	Mittlere Standortparameter der Versuchsfläche
Jahresniederschlag	mm	551 (1967-1997)
Jahrestemperatur	°C	9,3 (1967-1997)
N-Immission (nasse Deposition)	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	45
Bodenart, Bodenform (dominierend)		Sandiger Lehm, Sandlößtieflehm-Staugley
FAO-Klassifikation, Bodenschätzung		Stagno-Luvic Gleysol, sL 4 LÖD 58/61
Mittlere Bodeneigenschaften (Krume)		
Ton; Schluff; Sand	%	10; 46; 44
Trockenrohdichte	g cm ⁻³	1,55
Wasserkapazität	Masse-%	26,7
C _t ; N _t	%	1,02; 0,093
P _{DL} ; K _{DL}	mg 100g ⁻¹	14,0; 17,0
Sorptionskapazität	mval 100g ⁻¹	10,9

* Mittlere Standortparameter nach Altermann (1992), Hülsbergen et al. (1992) und Wicke et al. (1990)

Tab. 2: N-Düngermengen im Kombinationsversuch Seehausen

Stufe	Faktor A: Stalldung-N (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)			Faktor B: Mineral-N (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)					
	Mittel	Kart	ZR	Mittel	Kart	WW	WG	ZR	SG
0/0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/1	50	150	100	50	60	40	50	80	20
2/2	100	300	200	100	120	80	100	160	40
3/3	150	450	300	150	180	120	150	240	60

Geprüft wird die fünffeldrige Fruchtfolge:

Kartoffeln (Kart) – Winterweizen (WW) – Wintergerste (WG) – Zuckerrüben (ZR) – Sommergerste (SG). Die Nebenprodukte Stroh und Rübenblatt werden vollständig geerntet. Die Auswertung erfolgt mit multiplen Regressionen nach dem Modell: $y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2$ (x_1 = Stalldung-N, x_2 = Mineral-N in kg ha⁻¹ a⁻¹, y = Zielgrößen: Erträge, N-Entzüge, N-Verluste...). Die Darstellung ist auf 5 Varianten beschränkt. Anhand ausgewählter Kriterien werden Aussagen zur Nachhaltigkeit der Düngungsvarianten getroffen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ertragsentwicklung im Versuchsablauf wurde durch langfristige Veränderungen der Böden sowie veränderte Produktionsverfahren (neue Sorten, intensiverer Pflanzenschutz) geprägt. In den letzten Fruchtfolgerotationen erreichten die N0-Parzellen noch etwa 57 % des maximalen TM-Ertrages und 35 % des N-Entzuges. Höchste Erträge und Deckungsbeiträge wurden bei kombinierter organisch-mineralischer Düngung realisiert (Tab. 3). Der Mehrertrag gegenüber alleiniger Mineral-N-Anwendung nahm von 6,7 % (1967 - 1974) auf 8,2 % (1989 - 1998) zu. Die N-Entzüge und N-Gehalte in der Erntesubstanz stiegen bis zur höchstgedüngten Variante an (Tab. 3).

Eines der wichtigsten Kriterien der Nachhaltigkeit ist die langfristige Veränderung der Humusgehalte. Die organische Bodensubstanz, zumeist gemessen als C_t-Gehalt, bestimmt wesentlich die Bodenqualität (Rasmussen et al., 1998). Die Entwicklung der N_t- und C_t-Gehalte (Abb. 1) wurde mit dem Simulationsmodell CANDY (Franko et al., 1995) in Tagesschritten beschrieben, wobei sich eine gute Übereinstimmung mit den Meßwerten zeigte.

Tab. 3: Erträge, N-Entzüge und Deckungsbeiträge (Funktionswerte)

Kennzahl	ME	Variante (N-Stufe: organisch/mineralisch)					B	s _R
		0/0	0/3	2/2	3/0	3/3		
TM-Ertrag*	dt ha ⁻¹ a ⁻¹	73,6	118,3	128,8	111,2	124,7	0,94 ⁺	3,6
N-Entzug*	kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	73,5	164,8	170,7	141,3	206,2	0,86 ⁺	15,9
WW-Ertrag**	dt ha ⁻¹ a ⁻¹	56,7	78,0	84,0	75,6	73,7	0,94 ⁺	5,0
FF-DB***	DM ha ⁻¹ a ⁻¹	1418	2104	2286	1916	1878	0,92 ⁺	117,2

* Mittel der letzten Fruchtfolgen 1989-1998, ** 1995, *** Deckungsbeitrag im Mittel der letzten Fruchtfolge

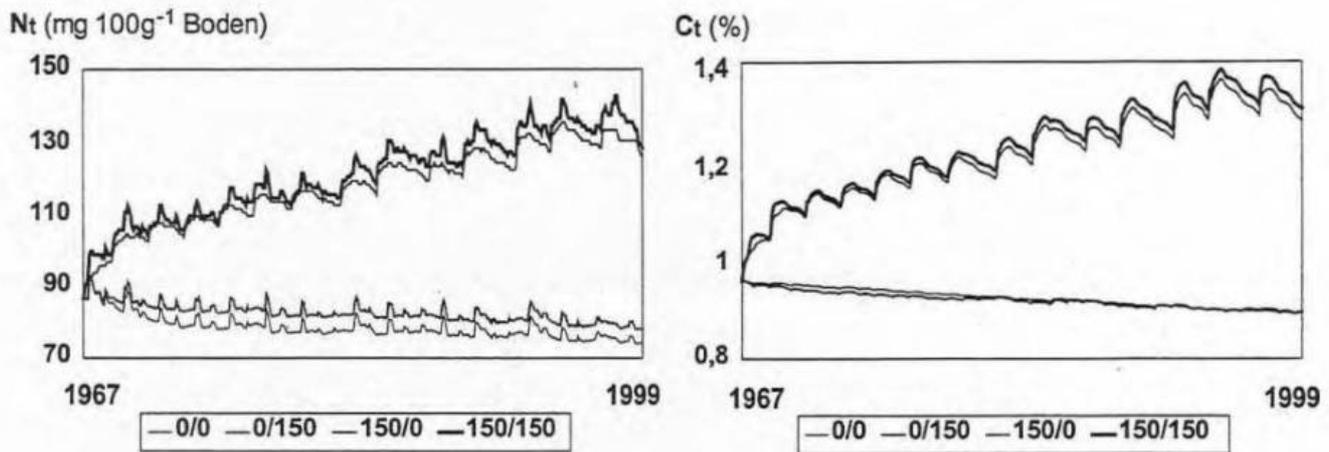


Abb. 1: Entwicklung der N_t - und C_t -Gehalte in der Ackerkrume (Simulationswerte)

Der Gleichgewichtszustand war nach mehr als 30 Versuchsjahren noch nicht erreicht. Auf den N0-Parzellen und bei alleinigem Mineral-N-Einsatz sanken die Humusgehalte, während die Stallmistdüngung (Varianten mit 100 und 150 kg N ha⁻¹ a⁻¹) zur C- und N-Anreicherung führte. Parzellen mit hohen C- und N-Gehalten wiesen auch eine höhere biologische Aktivität auf (Tab. 4).

Tab. 4: C_t -, N_t -Gehalte und Enzymaktivität (Funktionswerte, 1996 - 1998)

Kennzahl	ME	Variante (N-Stufe: organisch/mineralisch)					B	s_R
		0/0	0/3	2/2	3/0	3/3		
C_t -Gehalt	mg 100g ⁻¹	835	915	1227	1343	1423	0,98 ⁺	56,4
C_{mik} -Gehalt	mg 100g ⁻¹	17,5	17,5	21,5	23,6	23,6	0,74 ⁺	1,8
N_t -Gehalt	mg 100g ⁻¹	72	78	105	114	121	0,97 ⁺	5,0
Enzym-Aktivität	Katalasezahl	4,6	5,2	7,7	8,7	9,3	0,92 ⁺	1,0

Die Stickstoff- und Energiebilanzen geben Hinweise auf Umweltwirkungen der Düngungsvarianten (Tab. 5). Das geringste Nitrat-Austragspotential wurde für die N0-Variante, die höchste Verlustgefährdung für die Variante 3/3 ermittelt. Als energetische Kennzahlen dienen der Energiegewinn (Energiebindung im Ernteertrag – Einsatz fossiler Energie) und die Energieintensität (Einsatz fossiler Energie je Produkteinheit).

Tab. 5: Stickstoff- und Energiebilanz, (Funktionswerte)

Kennzahl	ME	Variante (N-Stufe: organisch/mineralisch)					B	s_R
		0/0	0/3	2/2	3/0	3/3		
N-Saldo*	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	4,5	52,7	64,6	47,4	120,8	0,98 ⁺	8,1
Nitrat-Gehalt**	mg l ⁻¹	1,2	31,5	24,5	21,7	102,8	–	–
Energiegewinn***	GJ ha ⁻¹ a ⁻¹	114,0	187,2	201,6	171,7	190,1	0,98 ⁺	6,2
Energieintensität***	MJ GE ⁻¹	266,5	210,2	220,7	261,1	287,2	0,94 ⁺	11,3

* Bilanzzeitraum 1967-1990, ** Sickerwasser, Simulationswerte (1988-98), *** Mittel der Fruchtfolgen (1989-1998)

Im Netzdiagramm (Abb. 2) wird die Gesamtbewertung der Düngungsvarianten vorgenommen. Um eine einheitliche Skalierung zu erreichen, sind bei den einzelnen Kriterien jeweils die im Versuch ermittelten Maximalwerte gleich 100 % gesetzt, so daß die relative Stellung der Variante sichtbar wird. Die Übersicht berücksichtigt weder zeitliche Veränderungen (und Verschiebungen zwischen den Varianten) noch unterschiedliche Gewichtungen der Einzelkriterien; hierzu sind andere Bewertungsverfahren notwendig. Auch wäre die Wahl anderer Bezugsgrößen und Zielwerte möglich – so die Verwendung von Grenzwerten, die jedoch nur für wenige Indikatoren (z.B. Nitratkonzentration im Grundwasser) vorliegen.

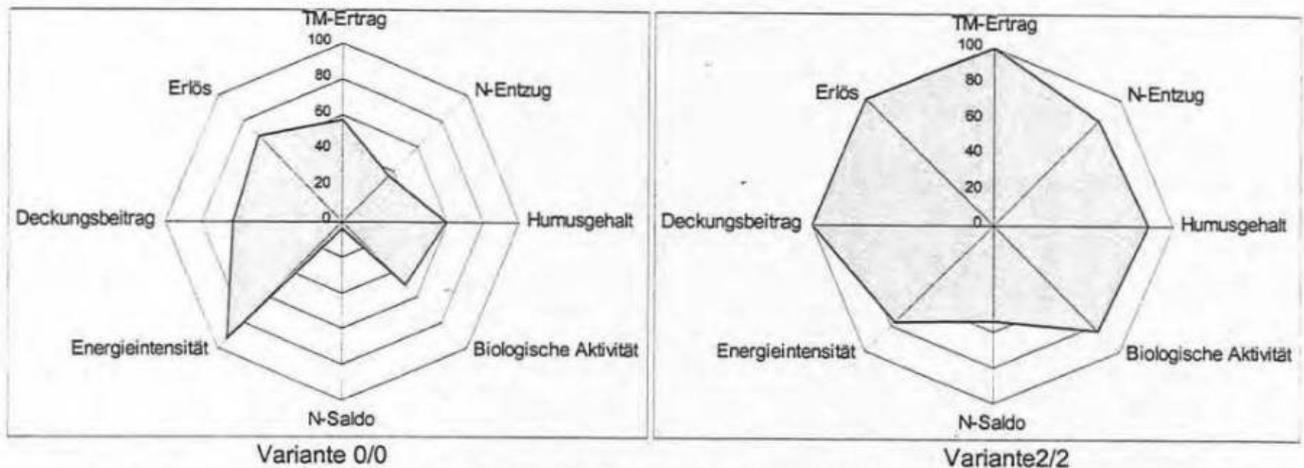


Abb. 2: Bewertung ausgewählter Düngungsvarianten, relativ 100 = höchster im Versuch ermittelter Wert

Schlußfolgerungen

Dauerversuche sind in besonderem Maße geeignet, Langzeitentwicklungen über Jahrzehnte zu verfolgen. Bestimmte Effekte – so die Veränderung von Humusgehalten bis zur Einstellung bewirtschaftungsabhängiger Gleichgewichtszustände – verlangen derartig lange Untersuchungszeiträume. Hierzu liegen in den Dauerversuchen wertvolle Meßreihen vor. Viele Dauerversuche sind so konzipiert, daß sie integrative Aussagen zur Entwicklung der Ertragsfähigkeit, zu Langzeitwirkungen auf Bodeneigenschaften sowie zu langfristigen Umwelteffekten zulassen.

Literatur

- Altermann, M. (1992): Kennzeichnung der natürlichen Standortbedingungen der Versuchsstation Seehausen. In: Rost, D. & Schöberlein, W. [Hrsg.]: Erkenntnisgewinn über Boden, Pflanze und Umwelt durch feldexperimentelle Arbeit. Kongress- u. Tagungsberichte der Martin-Luther-Universität Halle 6, 42-60
- Christen, O. (1996): Nachhaltige Landwirtschaft („Sustainable agriculture“) Ideengeschichte, Inhalte und Konsequenzen für Forschung, Lehre und Beratung. *Ber. Ldw.* 74, 66-86
- Franko, U., B. Oelschlägel & S. Schenk (1995): Simulation of Temperature-, Water- and Nitrogen dynamics using the Model CANDY. *Ecol. Model.* 81, 213-222
- Hülsbergen, K.-J., K. Rauhe, H. Scharf & H. Matthies (1992): Langjähriger Einfluß organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Humusgehalt und Stickstoffverwertung. *Kühn-Arch.* 86, 2, 11-24
- Rasmussen, P.E., K. W. T. Goulding, J. R. Brown, P.R. Grace, H. H. Janzen & M. Körschens (1998): Long-Term Agroecosystem Experiments: Assessing Agricultural Sustainability and Global Change. *Science* 282, 893-896
- Wicke, H.-J., D. Michel, G. Leithold & H. Matthies (1990): Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen. In: Körschens, M. [Hrsg.]: Dauerfeldversuche. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften Berlin, S. 139-155

Beziehungen zwischen Ertragsbildung und Witterung bei Winterroggen anhand langjähriger Beobachtungen

Chmielewski, F.-M.¹⁾; Köhn, W.²⁾

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät,
Institut für Pflanzenbauwissenschaften, ¹⁾Erg. Fachgebiet Agrarmeteorologie, ²⁾Versuchsstation
D-14195 Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5

Zusammenfassung

Auf der Grundlage 35jähriger Beobachtungen am Versuchsstandort Berlin-Dahlem wurde die Witterungsabhängigkeit der Ertragsbildung von Winterroggen umfassend untersucht. Neben dem Korn-ertrag wurden auch die Ertragskomponenten berücksichtigt.

Insgesamt hat für den Korn-ertrag des Winterroggens bereits der Witterungsverlauf vor der Winter-ruhe eine nicht zu unterschätzende Bedeutung. In diesem Zeitabschnitt werden vor allem die Be-standesdichte und bereits auch die Kornzahl je Ähre durch eine warme und sonnenscheinreiche Witterung positiv beeinflusst. Milde Winter sowie ein frühzeitiger Vegetationsbeginn sind ebenfalls für die spätere Ausprägung beider Ertragskomponenten vorteilhaft. Hohe Lufttemperaturen zwi-schen Vegetations- und Schoßbeginn hingegen verkürzen die Ährchenbildungsphase und führen letztendlich zu einer geringeren Ährchen- und damit Kornzahl je Ähre. Warme Witterung während der Schoßphase bewirkt eine überdurchschnittliche Reduktion von Trieben, wodurch sich in diesem Entwicklungsabschnitt nochmals eine starke Witterungsabhängigkeit der Bestandesdichte ergibt. Das Einzelkorn-gewicht wird maßgeblich durch hohe Lufttemperaturen und ein starkes Sättigungs-defizit während der Kornfüllungsphase vermindert.

1. Einleitung

Dauerfeldversuche sind nicht nur ein unentbehrliches Erkenntnismittel zur Erforschung grundle-gender Prozesse im System Boden - Pflanze, sondern können auch infolge ihrer Langjährigkeit für Untersuchungen zum Einfluß von Witterung und Klimavariationen auf Erträge von Nutzpflanzen herangezogen werden (Chmielewski und Potts, 1995). Dies ist möglich, da in einzelnen Varianten der Langzeitexperimente grundlegende agrotechnische Maßnahmen wie u.a. Bodenbearbeitung, Düngung, Fruchtfolge häufig über Jahrzehnte konstant gehalten werden.

Untersuchungen zum Einfluß von Klimaschwankungen auf die Korn-erträge des Ewigen Roggen-baus in Halle haben gezeigt, daß sich die klimatischen Variationen am Standort teilweise in den Erträgen widerspiegeln (Chmielewski, 1992). Die Jahre mit hohen Korn-erträgen ließen sich bezüg-lich der Witterung eindeutig charakterisieren. Für eine tiefere Analyse zum Einfluß der Witterung auf Wachstum, Entwicklung, Ertragsbildung und Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflan-

zen sind jedoch spezielle Dauerfeldversuche erforderlich, in denen eine Vielzahl pflanzenbaulicher und agrarmeteorologischer Parameter erfaßt werden. Einen solchen Feldversuch stellt das Statische Agrarmeteorologische Intensivmeßfeld in Berlin-Dahlem dar, das 1953 von E. TAMM begründet wurde (Tamm et al., 1965).

2. Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden die Ertragsdaten (Zeitraum: 1962 -1996) des agrarmeteorologischen Intensivmeßfeldes in Berlin-Dahlem genutzt. Das Meßfeld besteht aus acht Großparzellen, die um eine pflanzenfrei gehaltene Basis angeordnet sind. Auf den Parzellen werden in jährlicher Rotation Kartoffeln, Winterroggen, Ackerbohnen, Hafer, Zuckerrüben, Körnermais, Sommergerste und Gelbe Lupinen angebaut. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen werden mit Ausnahme eventuell notwendiger Sortenwechsel von Versuchsbeginn an völlig gleichbleibend geführt, so daß sich die von Jahr zu Jahr bei den einzelnen Kulturen auftretenden Unterschiede in Entwicklung und Ertrag auf den Witterungsverlauf zurückführen lassen. Auf der pflanzenfreien Basis erfolgt die vollautomatische Erfassung der agrarmeteorologischen Größen (Chmielewski et al., 1997).

Zur Beschreibung der Witterungsabhängigkeit des Kornertrages und seiner Komponenten wurde die Faktorenanalyse als statistisches Verfahren gewählt. Der Betrag der Faktorladung beschreibt die Stärke und Richtung, den die meteorologische Größe auf den Ertrag hat. Die Ladung des Ertrages oder der jeweiligen Ertragskomponente ist ein Maß für die Korrelation dieser Größe mit dem Faktor und charakterisiert somit die Witterungsabhängigkeit der Zielgröße im entsprechenden Zeitabschnitt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Von allen im Versuch angebauten Getreidearten zeigt der Winterroggen die höchste Ertragsstabilität ($v = 17,6 \%$) und damit die beste Anpassung an den leichten Boden und die halbkontinentalen Klimaverhältnisse in Berlin-Dahlem. Dies gilt auch für sämtliche Ertragskomponenten, wobei das Einzelkorngewicht die geringste Variabilität aufweist (Tab. 1).

Tab. 1: Statistische Parameter für die Kornerträge (Y_G in $t\ ha^{-1}$) und Ertragskomponenten von Winterroggen, 1962-96, D_C : Bestandesdichte [Ähren m^{-2}], K_N : Anzahl Körner je Ähre, K_W : Einzelkorngewicht [mg]; s: Standardabweichung, v: Variabilitätskoeffizient in %

Ertragskomponente	D_C	K_N	K_W	Y_G
Mittel	384.6	31.1	36.6	4.22
Maximum	526	41.0	45.6	6.04
<i>Jahr</i>	1996	1990	1965	1990
Minimum	292	21.2	28.1	2.82
<i>Jahr</i>	1975	1969	1992	1962
s	59.4	5.0	3.7	0.74
v	15.4	15.9	10.1	17.6

Mit dem Kornertrag positiv korreliert sind die Bestandesdichte und vor allem die Kornzahl je Ähre (Abb. 1). Der dominierende Einfluß der Kornzahl kommt auch in den engen Beziehungen zwischen dem Kornertrag einerseits und dem Einzelährenertrag und insbesondere der Korndichte andererseits zum Ausdruck. Zwischen den drei Ertragskomponenten Bestandesdichte, Kornzahl je Ähre und Einzelkorngewicht treten keine signifikanten Korrelationen auf, es deuten sich lediglich Kompensationseffekte zwischen Bestandesdichte, Kornzahl je Ähre und Einzelkorngewicht an.

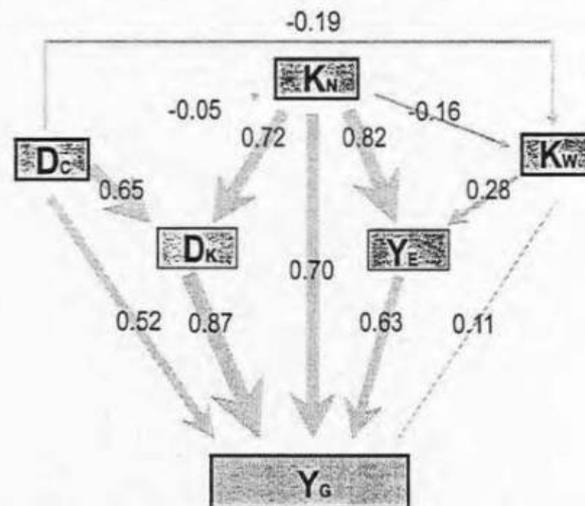


Abb. 1: Korrelationen zwischen einzelnen Ertragskomponenten und dem Kornertrag für Winterroggen (D_C : Bestandesdichte, K_N : Kornzahl je Ähre, K_W : Einzelkorngewicht, D_K : Korndichte, Y_E : Einzelährenertrag, Y_G : Kornertrag), 1962-96. Korrelationskoeffizienten > 0.33 sind signifikant ($p=0.05$).

Die Resultate der Faktoranalyse sind in Tab. 2 zusammengestellt. Danach wird die Bestandesdichte bereits durch die Witterungsverhältnisse vor Eintritt in die Winterruhe beeinflusst. Überdurchschnittliche Temperaturen, lange Sonnenscheindauer und ein großes Sättigungsdefizit fördern in dieser frühen Entwicklungsphase die Anlage von Trieben maßgeblich. Speziell in Jahren mit milden Wintern und sehr frühem Vegetationsbeginn (z.B. 1989, 1990 und 1992) werden dann maximale Triebzahlen von 1800 bis über 2500 m^{-2} erreicht, die später über die Bestandesdichte auch ertragswirksam werden. Nach dem Schoßbeginn bis zur Vollblüte auftretende hohe Temperaturen und lange Sonnenscheindauer führen hingegen zu geringerer Bestandesdichte, da ein erheblicher Teil der gebildeten Triebe in dieser Phase wieder reduziert wird.

Auch die Anlage der Ährchen und damit die spätere Kornzahl je Ähre wird bereits frühzeitig, nämlich noch vor Eintritt in die Winterruhe durch einen sonnenscheinreichen und überdurchschnittlich warmen Herbst begünstigt. Nach Vegetationsbeginn im Frühjahr bis Schoßbeginn wirken sich eher kühle Temperaturen über eine Verlängerung der Ährenbildungsphase positiv auf Ährchen- und Kornzahl aus. Für die Phase Schossen bis Vollblüte, in der eine Reduktion bereits angelegter Ährchen, zugleich aber auch die Ausdifferenzierung der verbliebenen Ährchen und Blüten stattfindet,

können wegen der sich wahrscheinlich kompensatorisch auswirkenden Entwicklungsprozesse keine klaren Beziehungen zwischen Witterung und der späteren Kornzahl je Ähre gefunden werden.

Nach der Blüte führen hohe Temperaturen und ein damit in Verbindung stehendes ausgeprägtes Sättigungsdefizit zu einer verkürzten Kornbildungsphase und in Konsequenz zu einer deutlichen Minderung des Einzelkorngewichts. Insgesamt können 55 % der Variabilität des Kornertrages über den Witterungseinfluß erklärt werden.

Tab. 2: Faktorladungen für Ertragskomponenten und den Kornertrag von Winterroggen, 1962-96. Die fett gedruckten Ladungen sind signifikant ($p < 0.05$). V_{Gesamt} : Gesamtvarianz und V_{Zeitraum} : Erklärte Varianz je Zeitabschnitt in %, (T_x : Maximum und T_n : Minimum der Lufttemperatur, S: Sonnenscheindauer, D: Sättigungsdefizit, P: Niederschlagshöhe, E_p : potentielle Verdunstung nach Penman). Zeitraum 1: Aufgang-Vegetationsende, 2: Winterruhe, 3: Vegetationsbeginn-Schossen, 4: Schossen-Vollblüte, 5: Vollblüte-Gelbreife.

	Bestandesdichte (D_C)					Kornzahl je Ähre (K_N)				
Zeitraum	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Komponente	0.48	0.43	0.26	0.46	0.32	0.39	0.30	0.43	0.22	0.34
T_x	0.66	0.31	-0.32	-0.57	0.05	0.55	0.08	-0.43	-0.12	0.18
T_n	0.54	0.32	-0.24	-0.59	-0.11	0.43	0.05	-0.36	-0.16	0.01
S	0.40	-0.30	0.19	0.49	0.48	0.43	-0.05	-0.15	0.32	0.62
D	0.59	0.04	-0.36	-0.34	0.13	0.47	-0.09	-0.40	-0.08	0.33
P	-0.15	-0.21	0.19	0.27	-0.05	0.03	-0.17	-0.08	0.29	-0.13
E_p	0.27	-0.56	-0.03	0.38	0.47	0.47	-0.44	-0.31	0.16	0.58
V_{Zeitraum}	23.1	18.3	6.8	21.2	10.2	15.1	9.1	18.3	5.0	11.6
V_{Gesamt}	44.2					40.1				
	Einzelkorngewicht (K_W)					Kornertrag (Y_G)				
Zeitraum	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Komponente	0.34	0.35	0.37	0.43	0.61	0.47	0.46	0.23	0.29	0.42
T_x	-0.19	-0.10	0.34	0.22	-0.71	0.60	0.10	-0.22	-0.24	-0.08
T_n	-0.23	-0.11	0.14	0.29	-0.64	0.46	0.09	-0.22	-0.23	-0.27
S	-0.27	0.35	0.20	-0.53	-0.21	0.32	-0.10	0.26	0.13	0.47
D	-0.21	0.19	0.44	-0.06	-0.66	0.49	0.00	-0.16	-0.24	0.04
P	-0.12	0.04	-0.21	0.21	0.27	-0.15	-0.32	0.02	0.37	-0.04
E_p	-0.29	0.30	0.27	-0.49	-0.14	0.25	-0.50	0.09	0.00	0.48
V_{Zeitraum}	11.5	12.0	13.7	18.7	37.3	21.7	21.4	5.2	8.4	17.9
V_{Gesamt}	59.1					55.0				

Literatur:

Chmielewski, F.-M. 1992: The impact of climate changes on the crop yields of winter rye in Halle during 1901 - 1980. Climate Research 2, 23-33

Chmielewski, F.-M.; Potts, J. 1995: The relationships between crop yields from an experiment in southern England and long-term climate variations. Agric. and Forest Meteorol. 73, 43-66

Chmielewski, F.-M.; Köhn, W.; Krzysch, G. 1997: Statisches agrarmeteorologisches Ertragsfeld. In: Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät, Heft 7, Humboldt-Universität Berlin, 57-74

Tamm, E.; Krzysch, G; Funke, H. 1965: Aufbau und Meßtechnik der Pflanzen-Wetterstation in Berlin-Dahlem. In: Z. Acker- und Pflanzenbau 122, 344-358

Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf den C- und N-Gehalt des Bodens im Dauerdüngungsversuch Dikopshof

Schellberg, J.¹; Körschens, M.² und Hüging, A.¹

¹Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Deutschland

²UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung Bad Lauchstädt, Deutschland

1. Einleitung

Dauerfeldversuche sind zur Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Bewirtschaftungssysteme auf die Organische Bodensubstanz (OBS) unverzichtbar.

Der Dauerdüngungsversuch in Dikopshof gehört zu den ältesten Dauerfeldversuchen Deutschlands und ist in besonderem Maße geeignet, zur Aufklärung der Beziehungen zwischen Düngung und organischer Bodensubstanz beizutragen.

Von Schellberg und Hüging (1997) wurde über die Entwicklung der Erträge im Dauerdüngungsversuch Dikopshof berichtet. Nachfolgend werden die Ergebnisse der C_{org}- und N_t-Untersuchungen der letzten Jahre ausgewertet.

2. Material und Methoden

Der Dauerdüngungsversuch Dikopshof wurde 1904 von Professor J. Hansen angelegt. Er liegt auf einer grundwasserfernen, ca. 90 – 120 cm mächtigen lehmig - schluffigen Lößdecke der Köln - Aachener Bucht. Der Standort kann wie folgt charakterisiert werden:

Langjähriges Niederschlagsmittel: 635 mm
 Jahresdurchschnittstemperatur: 9,7 °C

Bodeneigenschaften (Krume)	Durchschnittswert im Versuch	
Korngrößenzusammensetzung (%)		
Ton	< 2,0 µm	10,00
Feinschluff	6,3.....2,0 µm	6,60
Mittelschluff	20,0.....6,3 µm	21,70
Grobschluff	63,0.....20,0 µm	46,60
Feinsand	200,0.....63,0 µm	6,60
Mittelsand	630,0....200,0 µm	6,60
Grobsand	2000,0....630,0 µm	1,80
Trockensubstanzdichte	(g/cm ³)	2,61
Trockenrohdichte	(g/cm ³)	1,43
Hygrokopizität	(Masse-%)	3,30
C _{org}	(%)	1,06
N _t	(%)	0,10

In der Fruchtfolge: Zuckerrüben, Winterweizen, Winterroggen, Perserklee und Kartoffeln stehen jährlich alle Fruchtarten nebeneinander. Geprüft werden in orthogonaler Kombination:

Prüffaktor A = Stalldung a1 = ohne Stalldung
 a2 = 3 x 20 t/ha Stalldung in fünf Jahren

Prüffaktor B = Mineraldüngung b1 = NPKCa
 b2 = -PKCa
 b3 = N-Kca
 b4 = NP-Ca
 b5 = NPK-
 b6 = - - - -

Prüffaktor C = Ausgleichsdüngung c1 = ohne mineralischen Düngerausgleich
 c2 = mit mineralischen Düngerausgleich

1996 wurden von allen Parzellen der Hauptvarianten (ohne, NPKCa, Stalldung, Stalldung + NPKCa) Bodenproben aus dem Bearbeitungshorizont entnommen, 1997 von allen anderen Parzellen und von den vier Hauptvarianten aus der Tiefe 30 - 60 cm. Die Bestimmung des C_{org} erfolgte mittels trockener Verbrennung nach STRÖHLEIN, Stickstoff wurde nach KJEIDAHL bestimmt. Für die varianzanalytische Auswertung werden die einzelnen Schläge (Fruchtarten) als Wiederholungen betrachtet.

3. Ergebnisse

3.1 Einfluß unterschiedlicher Düngung im Dauerdüngungsversuch Dikopshof

Die Hauptwirkungen des Faktors A und des Faktors C sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1:
 Einfluß des Stallungs und des Mineraldüngerausgleichs auf den C_{org} - und N_t - Gehalt im Dauerdüngungsversuch Dikopshof

	C_{org} - %	N_t - %	C/N
ohne Stallung	0,88	0,080	10,7
mit Stallung	1,24	0,120	10,6
ohne Mineraldüngerausgleich	1,05	0,099	10,6
mit Mineraldüngerausgleich	1,07	0,100	10,7
Versuchsmittel	1,06	0,100	10,6

Der Mineraldüngerausgleich hat keinen signifikanten Einfluß auf die geprüften Parameter und wird deshalb nachfolgend nicht mehr berücksichtigt.

Eine deutlich signifikante Wirkung zeigt erwartungsgemäß der Stallung. Im Durchschnitt aller Stufen des Faktors B (Mineraldüngung) bewirkt er eine Erhöhung im Vergleich zu "ohne" um 0,36 % bzw. 15,4 t/ha C_{org} . Die Differenz im Stickstoffgehalt macht 0,04 % bzw. 1700 kg/ha aus.

In den Abbildungen 1 und 2 sind die Ergebnisse für die verschiedenen Mineraldüngerstufen dargestellt. Die maximalen Differenzen liegen sowohl mit als auch ohne Stallung unter 0,07 % C_{org} und betragen bis zu 0,01 % beim Stickstoff. In allen Fällen deutet sich an, daß ohne Mineral-N (Prüfglied "ohne" und "PKCa") die Werte geringfügig unter dem Durchschnitt der Varianten mit Mineral-N liegen.

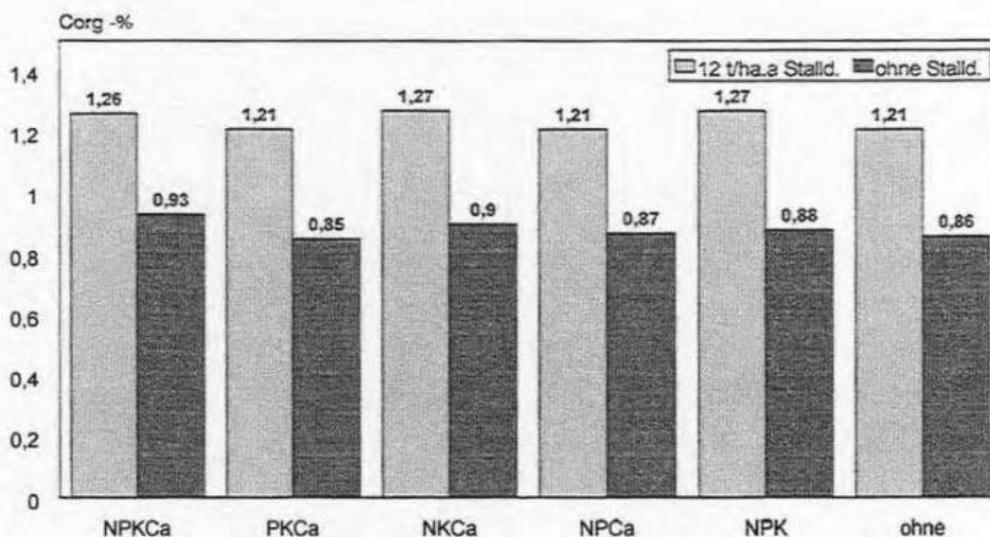


Abb. 1: Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff (0 - 30 cm) im Dauerdüngungsversuch Dikopshof - 1997 -

Für den Unterboden (30 - 60 cm) sind die Ergebnisse der C_{org} - und N_t - Bestimmungen für die Hauptvarianten in Abbildung 3 angegeben. Die Unterschiede lassen lediglich in der Tendenz einen geringen Einfluß des Stallungs auf die Gehalte im Unterboden erkennen.

3.2 Vergleich zwischen den Dauerdüngungsversuchen Dikopshof und Bad Lauchstädt

Von Interesse ist ein Vergleich der Bodenuntersuchungsergebnisse des Dauerdüngungs -versuches in Dikopshof mit denen des Statischen Düngungsversuchs Bad Lauchstädt (Abb. 4/5)

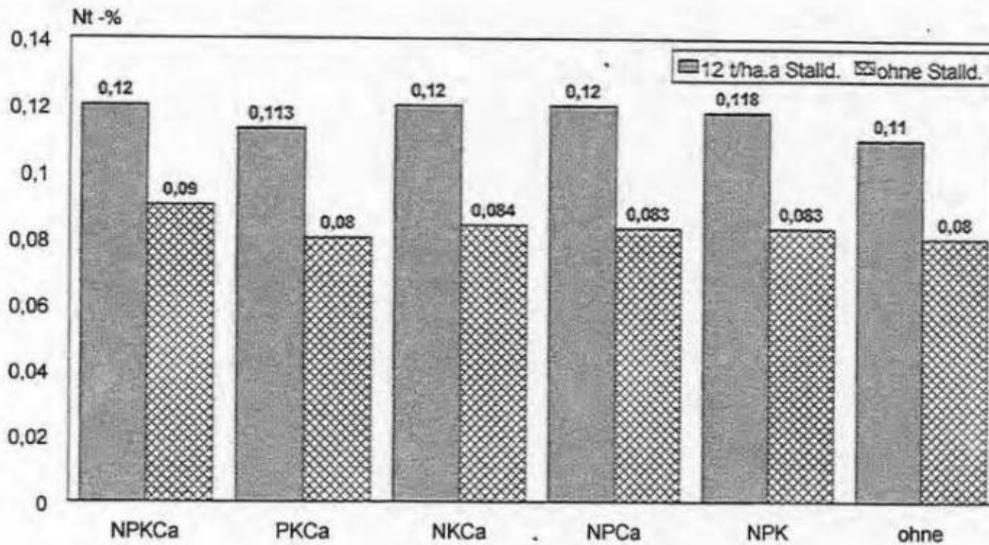


Abb. 2: Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf den Stickstoffgehalt (0 - 30 cm) im Dauerdüngungsversuch Dikopshof - 1997 -

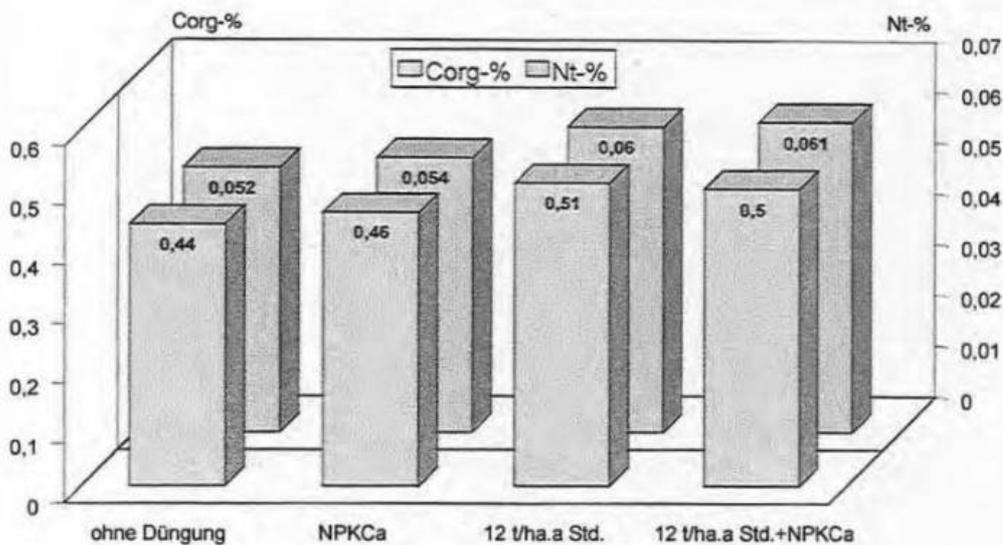


Abb.3: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Unterboden (30 - 60 cm) in ausgewählten Varianten des Dauerdüngungsversuches Dikopshof - 1996 -

Beide Versuche haben annähernd die gleichen Düngungsvarianten, der Versuch in Bad Lauchstädt wurde 1902 angelegt und ist damit nur zwei Jahre älter. Für beide Versuche kann davon ausgegangen werden, daß das Fließgleichgewicht im C_{org} - und N_t - Gehalt erreicht ist. Für diesen Vergleich wurden für Dikopshof die Mittelwerte der Ergebnisse 1996 und 1997 verwendet. Auf Grund des höheren Tongehaltes in Bad Lauchstädt von 21 % im Vergleich zu Dikopshof mit nur 10 % ist der inerte Kohlenstoff in Bad Lauchstädt auch etwa doppelt so hoch. Als Kriterium für den inerten C gilt der C_{org} - Gehalt der ungedüngten Variante. In den Abbildungen 4 und 5 sind wegen

der besseren Vergleichbarkeit nur die Differenzen zwischen der ungedüngten und den gedüngten Hauptvarianten dargestellt. Diese werden als der umsetzbare C bzw. N betrachtet. Für Bad Lauchstädt wurde für den Vergleich der Mittelwert zwischen den Prüfgliedern "20 t/ha Stallung jedes zweite Jahr" und "30 t/ha Stallung jedes zweite Jahr" eingesetzt. Dies entspricht damit annähernd der jährlichen Aufwandmenge von Dikopshof.

Auf allen Düngungsstufen wird auf dem Schwarzerdestandort Bad Lauchstädt eine größere

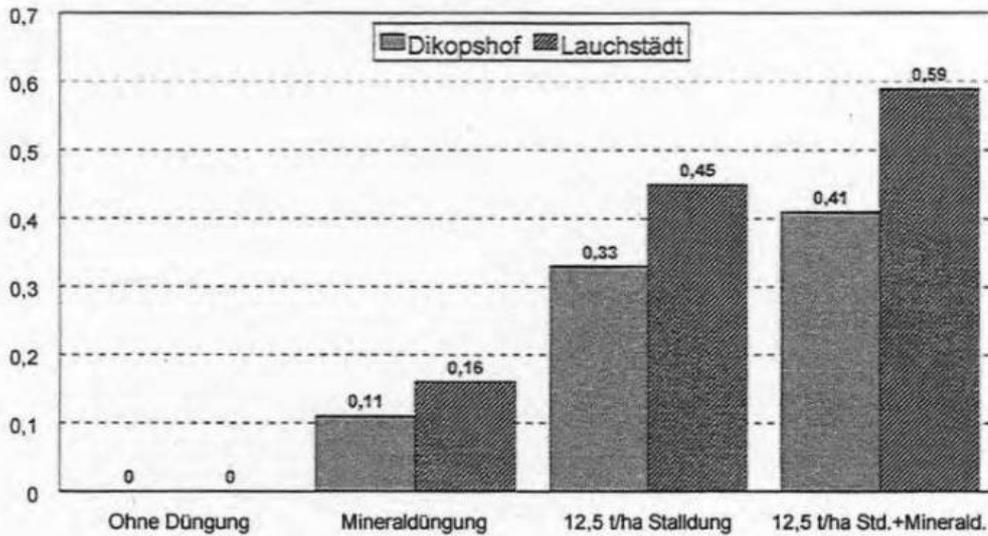


Abb. 4: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Differenz zwischen "ungedüngt" und gedüngten Varianten im Kohlenstoffgehalt des Bodens (0 - 30 cm) im Dauerdüngungsversuch Dikopshof und Bad Lauchstädt

Anreicherung, sowohl bei Kohlenstoff als auch bei Stickstoff, erreicht. Der Grund hierfür liegt in der höheren wirksamen Mineralisierungszeit des Standortes Dikopshof. Die Wirksame Mineralisierungszeit (WMZ) ist ein Kriterium für die Mineralisierungsintensität eines Standortes und entspricht einer Inkubationszeit unter Optimalbedingungen im Labor (Kartschall, 1986, Franko, 1997) Nach Franko und Oelschlegel (1995) berechnet sich für Dikopshof eine WMZ von 35 Tagen, für Bad Lauchstädt sind 27 Tage ermittelt worden (d. h. unter Feldbedingungen in Dikopshof wird die gleiche Menge umgesetzt wie in 35 Tagen Inkubation im Labor). Dementsprechend ist in Dikopshof der Umsatz um rd. 25 % höher als in Bad Lauchstädt, es wird dementsprechend mehr organische Substanz umgesetzt und weniger akkumuliert.

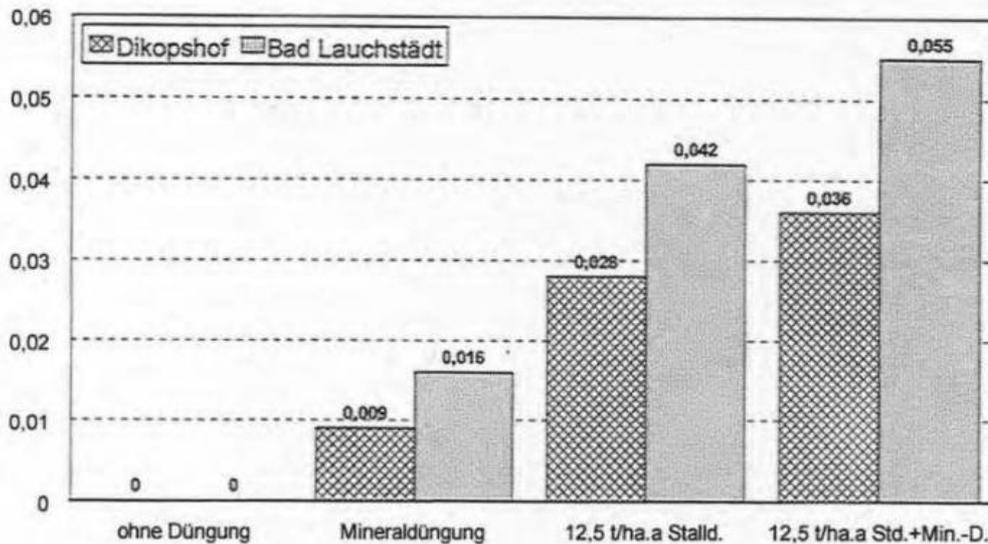


Abb. 5: Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Differenz zwischen "ungedüngt" und gedüngten Varianten im N-Gehalt des Bodens (0-30 cm) im Dauerdüngungsversuch Dikopshof und Bad Lauchstädt

4. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die dargestellten Ergebnissen ordnen sich sehr gut in die Aussagen anderer Dauerfeldversuche ein. Die maximale Differenz zwischen "ungedüngt" und "12 t/ha.a Stalldung + NPKCa" beträgt 0,4 % C_{org} bzw. 0,04 % N_t . Für den Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt konnte nachgewiesen werden, daß mit 10 t/ha.a Stalldung + optimaler NPK-Düngung die ökonomisch und ökologisch günstigste Düngungsvariante gegeben ist (Körschens, 1998). Dies deutet sich auch für den Standort Dikopshof an. Mit durchschnittlich 12 t/ha Stalldung jährlich werden 60 bis 70 kg N/ha und 25 bis 30 kg P/ha zugeführt. Bei P entspricht dies bereits dem jährlichen Entzug, auch bei hohen Erträgen. Höhere P-Mengen bedeuten eine Verschwendung.

Mit dem N-Angebot aus dem Stalldung und der N-Bindung des Perserklees werden bereits weit mehr als 50 % des gesamten N-Entzuges abgedeckt. Eine gezielte N-Bereitstellung im Hinblick auf hohe Erträge und effektive N-Verwertung ist darüber hinaus nur mit Mineraldüngung möglich.

Mit den Ergebnissen des Dauerversuches in Dikopshof bestätigen sich damit weitgehend die aus den Ergebnissen des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt abgeleiteten Aussagen.

(Die zitierte Literatur ist bei den Autoren einzusehen.)

Results of 75 years of continuous fertilization experiments in Skierniewice

Mercik S., Stępień W., Łabętowicz J.

Warsaw Agricultural University,
02 528 Warsaw, Rakowiecka 26/30 Str.

There are many experiments concerning the fates of N, P and K, being not taken up by the plants from fertilizers. These fates may be, however, studied the best, in long term fertilization experiments. Authors of the present publication are in the possession of the results of long term experiments, which allow to make a relatively right calculation of the losses of these nutrients from mineral fertilizers and from farmyard manure (FYM).

Material and methods

The studies have been based on the many years experiments, conducted continuously since 1923 on the Experimental Field of Warsaw Agricultural University. The soil of the experimental field is the podzolic, with the clay and silt content in soil layers: Ap (0 - 25 cm) 15 - 17 %, Eet (24 - 45 cm) 10 - 12 % and Bt (45 - 70 cm) 25 %. The temperature in the average of the last 75 years is 7,9 °C and 527 mm rainfall.

Plants are cultivated on 18 fields in 3 groups of crop rotation:

- A. Arbitrary crop rotation without FYM and without legumes
- B. E. Five field crop rotation: potato (30 t/ha FYM), s. barley, r. clover, w. wheat, rye.
- D. Rye in monoculture.

On each field there are the same treatments: Ca, CaNPK, NPK, CaPK, CaPN, CaKN. The mineral fertilizers doses are also the same on each field. The rates of mineral fertilizers have been increased within the 75 years period but since 1976 are: 90 kg N, 26 kg P and 91 kg K·ha⁻¹. Lime (Ca) is applied every 4 years - 1,6 t/ha CaO.

Results

Fertilization with FYM led, as compared to mineral fertilizers to an increase mainly of C_{org.} and available K in soil. The content of available potassium and phosphorus is much lower in soil unfertilized plots (CaNP or CaNK), than in that with K and P treatments (CaNPK). Application of limes every 4 years (1,6 t/ha CaO) keep the pH of the soil at level 5 - 6.

Yield of plants

Much higher potato yields were obtained on field with FYM and with legumes (E) than on field without FYM and legumes (tab. 1). A lack of any of these elements (N, P, K, Ca) led to a considerable decrease of yields. However the strongest effect of these elements was by the potato cultivation on field A.

Highest yields of rye are obtained in the 5-field crop rotation with FYM and legumes (E) then in the crop rotation without FYM and legumes – A.

Tab. 1: Yields of rye, w. wheat and s. barley (t/ha grain) depending on long – term fertilization and crop rotation

Fertilization	Crop rotation								
	Potato		Rye			W. wheat		S. barley	
	A	E	A	E	D	A	E	A	E
CaNPK	23,7	30,4	4,61	4,94	4,02	3,51	4,18	3,87	4,53
NPK	18,2	29,9	4,65	4,57	3,85	2,52	3,57	2,35	3,89
CaPK	12,6	24,5	2,20	3,56	2,15	1,89	3,37	2,28	3,48
CaPN	12,7	25,8	4,03	4,56	3,56	2,81	3,85	3,06	3,99
CaKN	11,6	27,7	2,91	4,28	2,86	2,35	3,45	3,05	3,76
Ca	12,0	21,5	1,82	3,12	1,91	1,72	2,94	1,70	2,94
NIR	1,90		0,29			0,31		0,28	
Mean	15,2	26,7	3,37	4,17	3,07	2,47	3,56	2,72	3,76
NIR	1,05		0,17			0,07		0,06	

Rye in monoculture on mineral fertilizers (D) gives yields only about 15 % lower than in arbitrary rotation. In the last 30 years, when with FYM similar amounts of N, P, K were applied as with mineral fertilizers, much lower yields were obtained in FYM treatments than in mineral fertilizer one. Without N and P fertilization, on the A and D fields, the yields are distinctly lower, than on the plots with CaNPK.

Winter wheat growing in the following year after legumes and in the 4-th year after FYM, yielded much higher (44 %) than on fields without FYM and legumes. W. wheat has shown a strong response to the soil acidification and to the lack of nitrogen and phosphorus as well (tab. 1).

Barley similar to w. wheat, gave much higher yields on the field E (with FYM and legumes) than on field A. It reacted as well very strongly to the soil acidification and to the lack of each element N, P and K.

Balances of nitrogen, phosphorus and potassium

On plots being not **nitrogen** fertilized the content of total nitrogen in the 0 - 25 cm soil layer in the particular years was similar. It may be concluded that the nitrogen uptake by plants on these treatments (about 30 kg N/ha/y) derived from atmospheric deposition or from the activity of free-living bacteria. On the plots fertilized with NH_4NO_3 the level of total N in 0 - 25 cm soil layer was inconsiderably increased.

Tab. 2: The balance of fertilizer N, P and K depending on long – term crop rotation and fertilization (kg/ha/y)

		Crop rotation and fertilization							
		A		E		D			
		Nitrogen (35 years)							
		PK	NPK	PK	NPK	PK	NPK	0	FYM
N input	Mineral fert.	-	74,0	-	59,2	-	74,0	-	-
	FYM	-	-	28,8	28,8	-	-	-	96,0
Crop uptake	total kg	29,8	89,5	87,8	123,6	33,5	79,9	30,5	56,0
	from fert. %	-	81	-	60	-	63	-	27
Increase of N total in soil		-	3,2	-	9,6	-	9,6	-	23,5
Balance	release kg (+)	+29,8	-	+59,0	-	+33,5	-	+30,5	-
	losses (%) (-)	-	-15	-	-23	-	-24	-	-49
		Phosphorus (20 years)							
		NK	NPK	NK	NPK	NK	NPK	0	FYM
P input:	mineral fert.	-	26,0	-	26,0	-	26,0	-	-
	FYM	-	-	6,6	6,6	-	-	-	21,8
Crop uptake	total kg	11,1	19,0	14,3	22,6	9,1	16,5	6,0	11,6
	from fert. %	-	30,4	-	31,9	-	28,5	-	25,7
Increase(+) decrease (-)P total		-14,3	+17,0	-8,3	+20,2	-10,5	+19,0	-5,4	+17,8
Balance	release kg (+)	-	-	-	+2,5	-	+0,4	-	+1,6
	losses % (-)	-	4	-	-	-	-	-	-
		Potassium (20 years)							
		NP	NPK	NP	NPK	NP	NPK	0	FYM
K input:	mineral fert.	-	91,0	-	91,0	-	91,0	-	-
	FYM	-	-	33,0	33,0	-	-	-	110,0
Crop uptake	total kg	49,0	102,0	83,5	115,0	45,5	80,6	26,0	46,1
	from fert. %	-	58	-	35	-	39	-	18
Increase (+) decrease (-) K Reserve in soil		-49,0	+36,6	-47,7	+45,3	-30,6	+43,4	-16,1	+51,5
Balance	release kg (+)	+8,3	-	+2,8	-	+15,0	-	+9,9	-
	losses, % (-)	-	-1,6	-	-15,6	-	-13,7	-	35,0

The utilization of N from NH_4NO_3 was relatively high on the field without organic fertilizers – A (81 %) and lowest one on field with organic fertilizers – E (60 %). It is worth to be mentioned that on the field with rye monoculture (D), a considerable higher (63 %) utilization of N from NH_4NO_3 was obtained as compared to FYM (27 %). Final calculations of N balance in mineral fertilizers and FYM show that the losses of these elements from mineral fertilizers beyond the arable layer of the soil amount to 15 – 25 %. It should be stressed that on the field where the rye is cultivated in monoculture, the considerable higher losses of N from manure (49 %) as compare to mineral fertilizers (24 %) were obtained.

During 20 years, a distinct decrease of total **phosphorus** in the 0 - 70 cm soil layer was obtained, but only on the plots being not fertilized with superphosphate. On the other hand on the superphosphate or FYM – fertilized plots, the increase to total phosphorus content was obtained in all soil layers (0 - 70 cm), but the highest quantity was found in arable layer. On the plots, being not fertilized with P, the plants took up 9 - 11 kg P/ha/y from soil. The utilization of phosphorus from superphosphate was similar on all fields (28 – 32 %) and from FYM 26 %. The final balance of P calculation shows that phosphorus, not taken up from fertilizers by plants was found in the 0 - 70 cm soil layer.

The content of reserve **potassium** (HNO_3 and HClO_4 extract) on treatments not fertilized with KCl decreased during 20 years. On the plots fertilized with KCl considerable more this form of K was obtained in all soil layers than on NP treatments. On the plots not being fertilized with KCl nor FYM, the quantity of available K has remained on an unchanged level for many years and plants took up 45 - 50 kg K/ha/y. Therefore the major part of K taken up by the plants comes from reserve forms. On the treatments fertilized with KCl, more K was uptake by plants on fields without FYM (58 %) than on field with FYM (35 %). Potassium, being not taken up from KCl by plants in 84 – 98 % was found in the 0 - 70 cm soil layer. The remaining (2 – 26 %) was leached down below 70 cm. In case of rye in monoculture, the plants took up considerable less K from FYM than from KCl. It comes from the fact, that as much as 35 % of K from FYM was not found in 0 - 70 cm soil layer.

Dauerdüngungs-Feldversuche in Ungarn

Debreczeni, K. * - Kismányoky, T. **

Pannon Agraruniversität Georgikon, Landwirtschaftliche Fakultät,
Keszthely, Ungarn

*Institut für Agrochemie und Bodenkunde

**Institut für Acker-und Pflanzenbau

1. Einleitung

Die Ungarischen Mineraldüngungs-Dauerfeldversuche (UMD) wurden in den Jahren nach 1965 von Prof. Dr. G. Láng, einem der bedeutendsten Pflanzenbauer seiner Zeit, in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. E. Bocz, Prof. Dr. B. Debreczeni, Prof. Dr. K. Pekári, Prof. DR. J. Sarkadi, Prof. Dr. J. Sváb und Dr. P. Welisch konzipiert. Diese Versuchsserie gehört zu den wenigen Düngungs-Dauerfeldversuchen in der Welt, die nach einheitlichem Schema unter unterschiedlichen agrarökologischen Verhältnissen in Ungarn über einen Zeitraum von über 30 Jahren an neun verschiedenen Versuchsorten laufen.

Die UMD wurde im Jahre 1967 mit folgenden Zielstellungen angelegt:

Erarbeitung von Düngerbedarfsprognosen und von Grundlagen für die Düngerberatung sowie Quantifizierung des Einflusses der Düngung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertrag.

Vor mehreren Jahrzehnten waren die Langzeitwirkungen im Hinblick auf eine umweltfreundliche Bodennutzung noch nicht relevant (Debreczeni, B.; Debreczeni, K., 1994). Dennoch bieten die UMD heute die Möglichkeit, Nährstoffbilanzmethoden zu standardisieren um damit ungünstige Auswirkungen auf das Ökosystem weitgehend zu vermeiden.

2. Material und Methoden

Die UMD wurden in den Jahren 1967 - 1968 - 1969 (als Experiment - NI.- Experiment - NII. - Experiment - NIII.), mit gleichen Kulturpflanzen, Fruchtfolgen und Düngungsvarianten nacheinander angelegt.

Zum Experiment NI. gehören zwei einfache vierfeldrige Fruchtfolgen:

1. Winterweizen - Körnermais - Körnermais - Erbsen,
2. Winterweizen - Körnermais - Körnermais - Winterweizen

An nur vier Versuchsorten wurde die Monokultur Körnermais mit je 20 Düngungsvarianten und vier Wiederholungen angelegt (Debreczeni, K. et al., 1996).

In den Experimenten NII. und NIII. sind 20 Jahre lang die gleichen Fruchtarten wie im Experiment NI. angebaut worden, mit Ausnahme der Monokultur. Ab dem 21. Versuchsjahr wurden in den Experimenten II. und III. die Fruchtfolgen 1 und 2 vereinigt zur Fruchtfolge 2. Die Düngungsvarianten 1 bis 20 blieben unverändert. In den Prüfgliedern 21 bis 40 wurden die Nährstoffmengen modifiziert (Reduzierung oder Komplettierung).

Die NPK-Düngungstufen sind folgende:

N: 0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 = 0 – 50 – 100 – 150 – 200 – 250 kg/ha/Jahr,

P₂O₅ 0 – 1 – 2 – 3 – 4 = 0 – 50 – 100 – 150 – 200 kg/ha/Jahr

K₂O 0 – 1 – 2 = 0 – 100 – 200 kg/ha/Jahr.

Die Parzellengröße beträgt 50 – 70 m².

Prüfmerkmale: Von allen Fruchtarten wurden jährlich die Trockenmasseerträge erfaßt. Zur Ermittlung der Nährstoffentzüge der Pflanzen wurden die Ernteprodukte ausgewählter Varianten aller Versuche auf ihren N, P, und K-Gehalt untersucht. Von jeder Parzelle der Experimente I. - III. wurden alle vier Jahre nach Abschluß der Rotation bodenchemische Analysen zur Bestimmung von pH_{KCl}, AL-P₂O₅ und AL-K₂O mg/kg Boden durchgeführt (Baranyai et al., 1987). Für ausgewählte Varianten wurde außerdem der Gesamtkohlenstoffgehalt (%), NO₃-N, Mg, Na, Mn, Zn, Cu mg/kg Boden ermittelt. Weitere chemische Untersuchungen wurden und werden in Abhängigkeit von den aktuellen Forschungsaufgaben und finanziellen Möglichkeiten durchgeführt.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die mittleren Nährstoff- und pH-Werte der Versuchsböden zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns, Verteilung der UMD in Ungarn siehe Abbildung.

3. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse zum langjährigen Einfluß unterschiedlicher Düngung auf die Körnermaiserträge werden von Professor Dr. Kismányoky im Beitrag: „Optimal nutrition of maize in Hungarian national long-term field experiment network,“ vorgestellt.

Die Untersuchungen zum Einfluss langjähriger, steigender Phosphordüngergaben an neun unterschiedlichen Standorten zeigen, dass unter allen Versuchsbedingungen nach sieben Rotationen während der 28 Jahre mit den steigenden Phosphordüngergaben bedeutende Mengen AL-Phosphor in den Böden angereichert wurden.

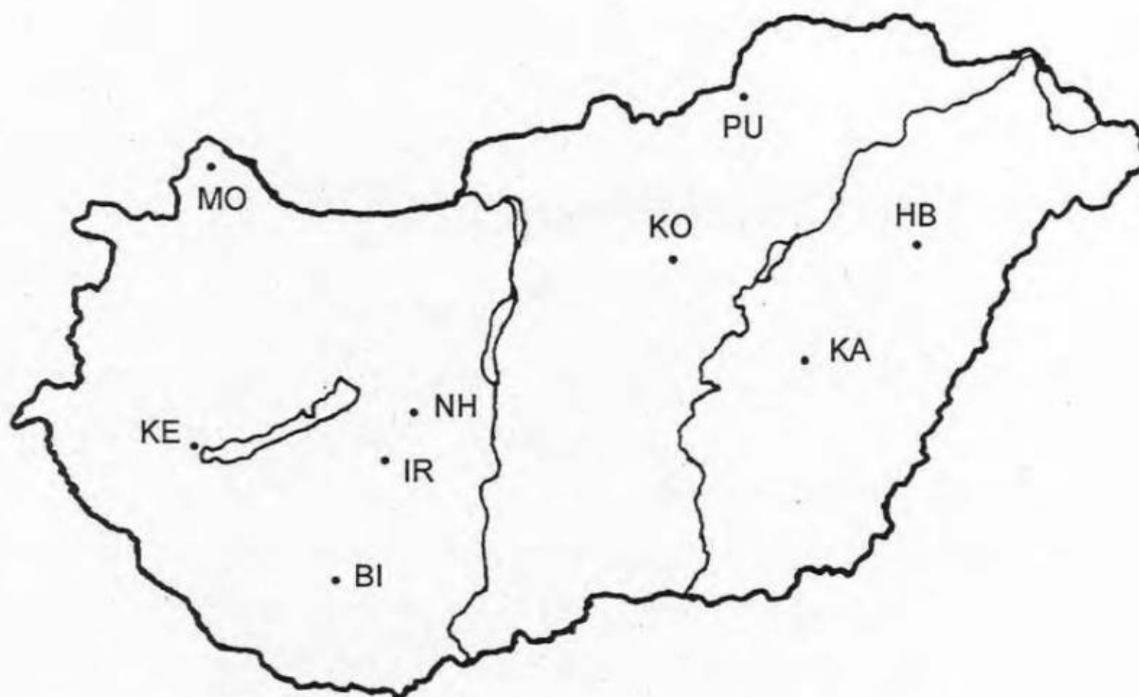


TABELLE 1 Chemische Kennwerte der UMD-Versuchsböden

Versuchsort	Versuchsboden	pH _{KCl}	AL-P ₂ P ₅ mg/kg	AL-K ₂ O mg/kg	%Ton- Gehalt <0,002	Nieder- schlag mm
KARCAG (KA)	Wiesentschernosem	4,7	34	270	37	527
KESZTHELY (KE)	Vergleyte Braunerde	6,3	45	139	24	700
KOMPOLT (KO)	Verbraunte Braunerde	3,9	51	213	41	542
MOSON.M.ÓVAR (MO)	Kalkreiche Schlammböden	7,4	141	107	12	594
NAGYHÖRCSÖK (NH)	Schwarzerde	7,2	81	147	23	559
H.BÖSZÖRMÉNY (HB)	Wiesenboden	6,1	37	139	35	585
IREGSZEMCSE (IR)	Schwarzerde	7,4	103	150	22	619
BICSERD (BI)	Verbraunte Schwarzerde	5,6	35	206	33	661
PUTNOK (PU)	Vergleyte Braunerde	3,9	30	167	28	581

Die Ergebnisse zeigen positive P-Bilanzen von etwa 100 kg P₂O₅/ha/Jahr Düngeraufwand. Mit einem P-Düngeraufwand von 150 kg P₂O₅/ha/Jahr wurde der Gehalt im Boden während der ersten 20 Jahre schon etwa um das 2,35- und 5,13- fache erhöht.

Nach 20-jähriger Versuchsdauer wurden, wie eingangs erwähnt, die Fruchtfolgen 1 und 2 im Experiment II. vereinigt. Von den nunmehr vorhandenen 40 Düngungsvarianten blieben

20 Varianten unverändert und 20 Düngungsvarianten wurden modifiziert. Es erfolgte entweder eine Reduzierung oder, bei vorangegangenem Nährstoffmangel, eine Ergänzung der N-P-K-Düngermengen.

Die Ergebnisse zum Einfluss der langfristigen Phosphordüngung in steigenden Gaben zeigen auf allen Versuchsböden eine akkumulierende Wirkung. Andererseits hat sich infolge der Reduzierung der P-Düngung nach acht Jahren der AL-P₂O₅-Gehalt der Versuchsböden deutlich verringert, weil die jahrelang akkumulierte P-Menge von den Kulturpflanzen sehr schnell ausgenutzt wurde. Besonders in der vergleyten Braunerde mit einem pH-Wert von 3,9 haben die angebauten Pflanzen die Düngerphosphatmengen völlig erschöpft. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften wurde der AL-P₂O₅ Gehalt unterschiedlich vermindert.

Am Versuchsort Karcag wurde AL-P₂O₅ mg/kg Boden während der ersten 20 Jahre um 155 mg angereichert und danach um 88 mg vermindert. In Keszthely entsprechend 154 bzw. 22 mg, in Kompolt 222 bzw. 121 mg, in Mosonmagyeróvár 318 bzw. 110 mg, in Nagyhörcsök 301 bzw. 165 mg, in Bicsérd 160 bzw. 44 mg, in Hajduböszörmény 195 bzw. 187 mg, in Iregszemcse 293 bzw. 165 mg und in Putnok 130 bzw. 143 mg AL-P₂O₅ mg/kg.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Der durch die Phosphordüngung zugeführte Phosphor führt zu einer besseren Phosphorversorgung der Böden. Wegen der sehr geringen Düngerausnutzung im Verlaufe von 28 Jahren konnte eine bedeutende Menge der AL-P₂O₅ akkumuliert werden. In Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften, besonders vom pH-Wert oder Kalkgehalt, hat sich P unterschiedlich angereichert. 8 Jahre nach Abbruch der P-Düngung hatte sich der AL-P₂O₅-Gehalt der Versuchs-Böden durch die Kulturpflanzen deutlich vermindert.

Die Ergebnisse beziehen sich natürlich nur auf die gegebenen Standortbedingungen und können für diese Boden- und Klimaverhältnisse genutzt werden. Die Untersuchungen zum Einfluß langjährig steigender Phosphorversorgung einerseits bzw. Phosphormangel andererseits auf die Pflanzenverfügbarkeit können für die Fragen optimaler Düngerbemessung von Bedeutung sein.

Literatur

- Baranyai, F., A.Fekete, A., I.Kovács, (1987) Results of the Hungarian soil nutrient content studies. (in Hungarian) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Debreczeni, B., Debreczeni, K., (1994) Fertilization Research, 1960 - 1990 (In Hungarian) Akadémiai Kiadó, Budapest
- Debreczeni, K., I.Sisak, K.Sárdi und G.Csitári, (1996) Long-term fertilization trials in Hungary NATO ASI Series, Vol. I. 38 Evaluation of Soil Organic Matter Models, Edited by David, S. Powelson, Pete Smith and Jo U. Smith, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertragsleistung, Humusgehalte und N-Bilanz

Erhard Albert,

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Bodenkultur und Pflanzenbau,
Gustav-Kühn-Straße 8, D-04159 Leipzig

Von einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung gehen tiefgreifende Wirkungen auf die Ertragsbildung und auf chemische, biologische und physikalische Bodeneigenschaften aus. Zur Quantifizierung derartiger kumulativer Langzeiteffekte sind Dauerversuche unverzichtbar.

Im Rahmen dieser Arbeit werden vor allem die Auswirkungen der organischen Düngung bei steigendem mineralischen N-Einsatz auf Ertragsleistung, Humusgehalte, N-Bilanzen, Netto-N-Mineralisierung und N_{\min} -Gehalte untersucht. Zur besseren Erfassung der Langzeitwirkung der Düngung konzentriert sich die Auswertung auf die Fruchtfolgerotation 1994 bis 1997, der eine 28jährige Versuchsdurchführung vorausgegangen ist.

Material und Methoden

Zur Überprüfung der Wechselwirkung zwischen organischer und mineralischer Düngung wurde 1966 ein zweifaktorieller Dauerversuch auf zwei Standorten (Spröda, anlehmiger Sand, Tieflehm-Fahlerde, Ackerzahl: 30 und Methau, Lehm, Löß-Braunstaugley, Ackerzahl: 63) mit der Fruchtfolge Zuckerrüben – Sommergetreide – Kartoffeln – Winterweizen angelegt.

Die organische Düngung umfaßt die Stufen ohne, 200 dt/ha Stallmist und 50 dt/ha Stroh jeweils jedes 2. Jahr zur Hackfrucht. Die 6 Stufen der mineralischen N-Düngung gingen über die jeweiligen N-Optima hinaus. Jährlich wurden 33 kg P/ha zu Getreide und 66 kg P/ha zu Hackfrüchten sowie 125 kg K/ha zu Getreide und 250 kg K/ha zu Hackfrüchten appliziert.

Ergebnisse

Die seit 1966 differenzierte mineralisch-organische Düngung beeinflusste die Ertragsbildung erheblich. Optimale GE-Erträge der im Zeitraum 1994 bis 1997 angebauten Fruchtarten wurden auf dem anlehmigen Sand mit 110 bis 130 kg N/ha und auf dem Lehmboden mit 150 bis 175 kg N/ha erreicht. Stallmistdüngung reduzierte die N-Optima um 15 bis 30 kg N/ha. Die Stallmistwirkung war mit 15 bis 20 dt GE/ha vor allem bei unterlassener und suboptimaler mineralischer N-Düngung bemerkenswert hoch. Sie nahm sehr deutlich mit steigendem N-Einsatz ab. Die im Laufe der Jahre düngungsbedingt veränderten Humusgehalte übten insbesondere bei unterlassener und suboptimaler N-Zufuhr auf Grund der Nährstoffwirkung einen deutlichen Ertragseffekt aus. Typisch für beide

Standorte ist die negative Wechselwirkung zwischen Humusgehalt und N-Düngung, d. h. mit ansteigenden Humuswerten sinkt der Ertragseffekt des applizierten Stickstoffs und umgekehrt. Dabei ist eine volle Substitution der Stallmistwirkung durch mineralischen Stickstoff nicht möglich.

Die Stallmistwirkung hat sich innerhalb der gesamten Versuchsperiode bei optimaler bis maximaler N-Düngung auf ein Niveau von 5 bis 6 % eingepegelt (Tab. 1). Demzufolge können mit ausschließlich mineralischer N-Düngung immerhin 95 % des Optimalertrages erreicht werden. Ein Wirkungsanstieg mit zunehmender Versuchsdauer ist bisher nicht zu erkennen. Bei unterlassener und suboptimaler N-Zufuhr hingegen nahmen die Stallmisteffekte vor allem auf Grund der Nährstoffwirkung kontinuierlich zu.

Tab. 1: Mehrerträge durch Stallmist und Stroh in Abhängigkeit von der mineralischen N-Düngung in der ersten und der letzten Versuchsperiode

Düngung	anlehmiger Sand				Lehm			
	Stallmist		Stroh		Stallmist		Stroh	
	[%]	[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]	[dt/ha]
Versuchsperiode: 1966 - 1975								
ohne	17	5,4	0	0	9	4,8	-6	-3,3
optimal	5	2,8	3	1,7	6	4,4	1	0,4
maximal	5	2,8	3	1,7	5	4,2	1	0,3
Versuchsperiode: 1986 - 1997								
ohne	26	13,2	2	1,0	24	13,3	-2	-0,9
optimal	5	3,5	3	2,2	5	3,7	3	2,3
maximal	5	3,7	3	2,3	5	4,4	3	2,4

Die Ertragswirksamkeit der Strohdüngung stieg mit fortschreitender Versuchsdauer vor allem bei optimalen und maximalen N-Gaben leicht an, und sie erreicht gegenwärtig auf beiden Standorten 3 %. Bei unterlassener bzw. geringer N-Zufuhr bewirkte Stroh im Gegensatz zu Stallmist auf dem anlehmigen Sand keine nennenswerten und auf dem Lehm sogar negative Ertragseffekte, insbesondere in den ersten Versuchsjahren.

Wird die Ertragshöhe in Beziehung zu den N-Bilanzsalden gesetzt, so ist festzustellen, daß optimale Erträge auf beiden Standorten mit leicht negativen bis leicht positiven Salden realisiert wurden. Dabei gelten die niedrigeren Werte stets für die mineralische N-Düngung und die höheren für die Stallmist- bzw. Strohdüngung. Dieses Ergebnis beruht darauf, daß der Stickstoff organischer Dünger infolge geringer Pflanzenverfügbarkeit schlechter verwertet wird.

Auf beiden Standorten wurden die Humusgehalte während der Versuchsdauer bei unterlassener organischer Düngung nahezu halbiert (Abb. 1). Dieser Befund wird auf den hohen Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge und die vergleichsweise hohen Humusausgangsgelalte zurückgeführt. Die unterschiedliche Düngung bewirkte im Laufe der Jahre auf dem Lehmboden eine stärkere Differenzierung der Humus-, Gesamt-N-, C_{hwl} - und N_{hwl} -Gehalte als auf dem umsatzintensiven Sandboden.

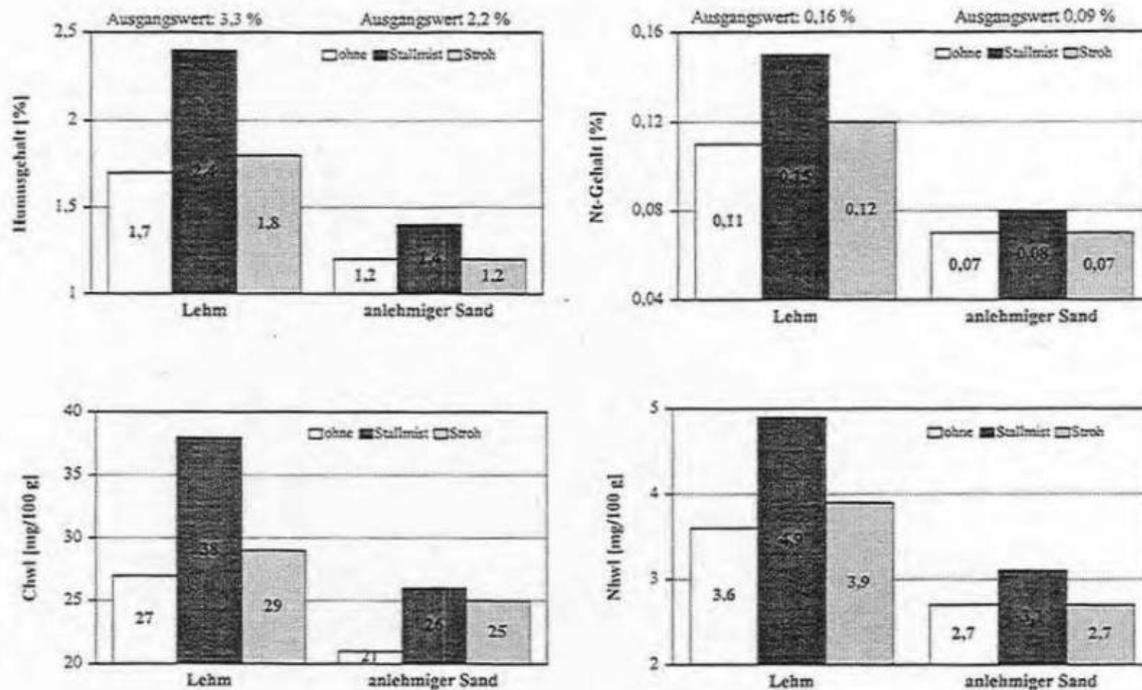


Abb. 1: Einfluß der langjährig differenzierten Düngung auf die Humus- und Gesamt-N-Gehalte (Nt) sowie auf die heißwasserlöslichen Kohlenstoff (C_{hwI})- und Stickstoff (N_{hwI})-Gehalte (Mittel der N-Stufen; 1994 - 1997)

Strohdüngung ließ im Vergleich zu „ohne organische Düngung“ die Humusgehalte nicht (anlehmiger Sand) bzw. nur geringfügig (Lehm) ansteigen. Selbst bei regelmäßiger Stallmistzufuhr konnten die relativ hohen Humusausgangswerte nicht aufrechterhalten werden. Während beim leichten Boden die Humusgehalte noch weiter sinken, deutet sich für den Lehmstandort mit Beginn der 90er Jahre ein neues Fließgleichgewicht an.

Die Netto-N-Mineralisierung in der Vegetationsperiode, die wesentlich zur N-Versorgung beitragen kann und daher bei der N-Bedarfsermittlung zu beachten ist, nahm mit steigender mineralischer N-Düngung stetig ab, wobei Stallmistdüngung durchweg zu 25 bis 50 kg/ha höheren N-Mengen führte (Abb. 2). Im Bereich des optimalen N-Aufwandes, der annähernd mit ausgeglichenen N-Salden zusammenfällt, kam sie zum Erliegen bzw. erreichte nur bei Stallmistzufuhr leicht positive Werte. Bei den sehr hohen N-Stufen hingegen, die durch N-Bilanzüberschüsse gekennzeichnet sind, dominierten (rechnerisch) N-immobilisierende Vorgänge. Aber auch N-Verluste aus dem System Boden-Pflanze sind nicht ausgeschlossen. Den Ergebnissen zufolge ist die Netto-N-Mineralisierung grundsätzlich negativ mit den N-Bilanzsalden korreliert, d. h. sie nimmt mit zunehmenden N-Salden ab. Dabei begünstigen erhöhte Gesamt-N-Vorräte die Netto-N-Mineralisation.

Untersuchungen zu den N_{min} -Gehalten vor Winterbeginn sind im Hinblick auf die umweltbelastende Nitratauswaschung von Interesse. Aus Abbildung 3 geht hervor, daß die N_{min} -Werte bis zu den

jeweiligen N-Optima um 10 bis 20 kg zunehmen. Überoptimale N-Gaben verursachten einen progressiven N_{\min} -Anstieg. Bedingt durch den höheren Gesamt-N-Vorrat verlaufen bei Stallmistdüngung die entsprechenden Kurven im Vergleich zu „ohne organische Düngung“ und „Strohdüngung“ auf einem um 10 bis 40 kg höheren N_{\min} -Niveau.

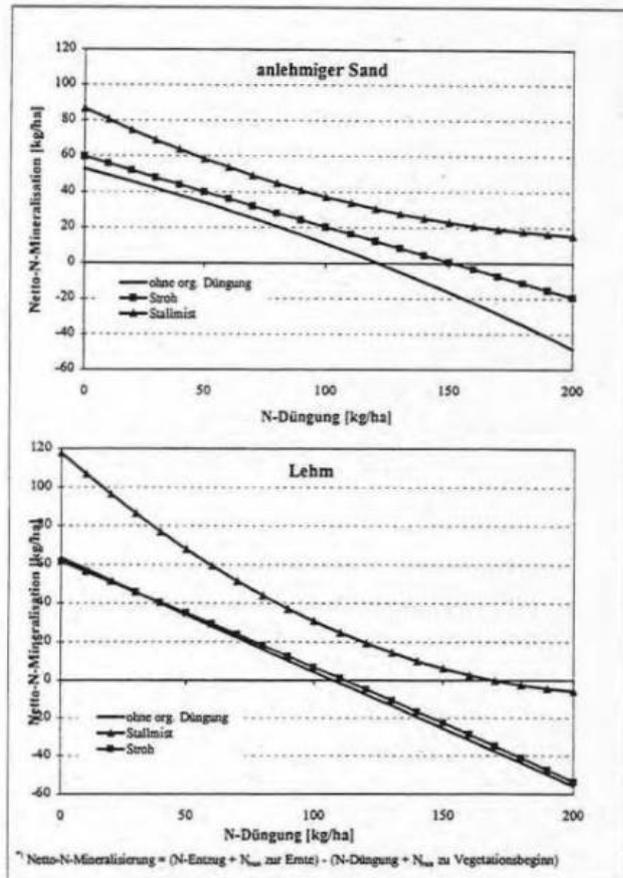


Abb. 2: Einfluß von min. und org. Düngung auf die Netto-N-Mineralisation ^{*)} im Zeitraum 1994 – 1997

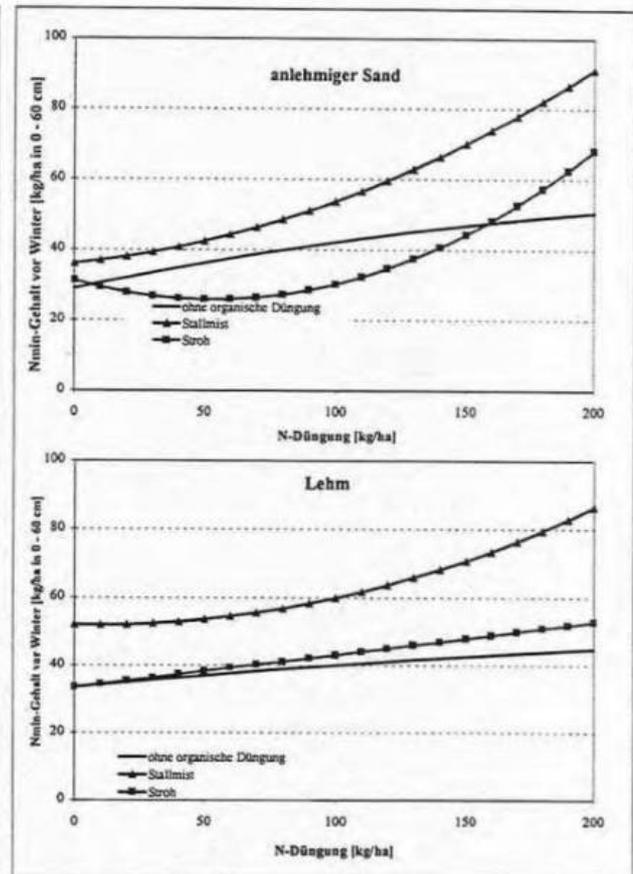


Abb. 3: Einfluß von min. und org. Düngung auf die N_{\min} -Gehalte im Boden vor Winter im Zeitraum 1994 – 1997

Schlußfolgerung

Bei unterlassener und geringer mineralischer N-Düngung führte die Zufuhr von Stallmist zu erheblichen und von Stroh zu keinen bzw. geringen Mehrerträgen. Bei optimaler N-Düngung ging die Ertragswirkung von Stallmist auf 5 % zurück und die von Stroh erreichte 3 %. Die auf verbesserter Bodeneigenschaft beruhende Sonderwirkung von Stallmist und Stroh kann durch mineralische N-Düngung nicht substituiert werden. Da mit dem Anstieg der Humus- und Gesamt-N-Vorräte vor allem das Risiko der Nitratauswaschung wächst, ist eine maßvolle organische Düngung, die jedoch langfristig den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit sichert, anzustreben.

Düngungseffekte des 40jährigen Dauerfeldversuchs in Limburgerhof

C. Brenk und W. Zerulla

BASF Agrarzentrum Limburgerhof, Carl-Bosch Straße 64, 67114 Limburgerhof

Versuchsaufbau

Das Agrarzentrum Limburgerhof der BASF Aktiengesellschaft liegt in der Pfalz zwischen Speyer und Ludwigshafen am Rhein im milden Klima der oberrheinischen Tiefebene auf einer Höhe von 96 m über NN. Im langjährigen Mittel ergeben sich für die wichtigsten Klimafaktoren folgende Werte:

Jahrestemperatur:	10,0 °C
Jahresniederschlag:	545 mm
Jahressonnenscheindauer:	1703 h

Der Standort des Dauerversuchs "Im Bruch" ist geprägt durch unterschiedlich tonhaltige Sedimente des Rheins. Der als Humusgley anzusprechende Bodentyp weist im Ap-Ah-Horizont hohe Humusgehalte auf, die auf (historisch) oberflächennahe Grundwasserstände zurückgeführt werden können. Die Bodenanalyse lieferte zu Anfang des Versuchs folgende Werte:

Phosphat:	4,0 mg (DL-Methode)
Kali:	3,0 mg (DL-Methode)
pH-Wert	7,2 (KCl-Extrakt)

Die Fruchtfolge in diesem Versuch wurde nicht statisch eingehalten, sondern wechselte mehrmals. Seit 1986 werden ausschließlich die Fruchtarten Zuckerrüben, Winterweizen, Körnermais und Sommergerste angebaut. In dem vorhergehenden Zeitraum seit 1957 waren zusätzlich Kartoffeln und Sommerweizen in die Fruchtfolge integriert.

Die Düngung wurde seit 1957 in identischer Weise durchgeführt. Aus diesem Grund entsprechen die vorliegenden Düngungsniveaus nicht unbedingt den heute üblichen Mengen. Vom Aufbau her liegt ein klassischer Zulageversuch mit drei gestaffelten Nährstofflevels vor, der zusätzlich einen Nährstoffmangelblock beinhaltet (Tabelle 1).

Ursprünglich wurde der Versuch konzipiert, um nähere Aufschlüsse über die optimalen Nährstoffverhältnisse in Mehrnährstoffdüngern zu erhalten. Aufgrund seiner langen Laufzeit und der konstanten Düngung sind heute auch weitergehende Ableitungen möglich.

Tabelle 1: Düngungsvarianten im Dauerfeldversuch "Im Bruch" [kg/ha]

Vgl	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Bez.	L0	K0	P0	N0	L1	L1 _P	L1 _K	L1 _N	L2	L2 _P	L2 _K	L2 _N	L3	L3 _P	L3 _K	L3 _N
Winterweizen / Sommergerste																
N	0	60	60	0	40	40	40	60	60	60	60	80	80	80	80	100
P ₂ O ₅	0	60	0	60	40	60	40	40	60	80	60	60	80	100	80	80
K ₂ O	0	0	95	95	65	65	95	65	95	95	130	95	130	130	160	130
Zuckerrüben / Körnermais																
N	0	100	100	0	60	60	60	100	100	100	100	140	140	140	140	180
P ₂ O ₅	0	100	0	100	60	100	60	60	100	140	100	100	140	180	140	140
K ₂ O	0	0	160	160	95	95	160	95	160	160	230	160	230	230	290	230

Auswertungsverfahren

Die Ertragsdaten wurden zunächst mit Hilfe klassischer statistischer Methoden verrechnet. Folgende Zusammenfassungen wurden vorgenommen:

1. Komplettersuch
2. nach Kulturen (Winterweizen, Sommergerste, Körnermais, Zuckerrüben)
3. nach Zeiträumen (1957-1967, 1968-1977, 1978-1987, 1988-1998)

Um die zeitliche Dynamik der Ertragsentwicklung näher zu beleuchten, wurden zusätzlich langjährige Trends der Ertragsentwicklung ohne Verwendung statistischer Vergleichsmethoden berechnet.

Ergebnisse

Nährstoffmangelblock

In eine erste Auswertung wurden ausschließlich die Nährstoffmangel-Parzellen (Vgl. 1- 4) und die vergleichbare Volldüngungs-Variante (Vgl. 9) einbezogen. Über den Gesamtversuch liegt das mittlere Düngungsniveau (L2) deutlich höher im Ertrag als alle Varianten, in denen ein Nährstoff weggelassen wurde (K0, P0, N0). Hierbei hat die Unterlassung der P-Düngung den geringsten negativen Effekt auf den Ertrag, während sich das Weglassen der N- und K-Ernährung ungefähr ähnlich stark auswirken. Die unerwartet geringe Bedeutung der N-Düngung gegenüber der P- und K-Düngung erklärt sich einerseits durch den hohen Humusgehalt des Bodens und die damit verbundene starke N-Nachlieferung, andererseits war die Phosphat- und Kaliversorgung des Bodens schon bei Versuchsbeginn an nicht besonders hoch, so daß hier mit Ertragsreaktionen zu rechnen war.

Anhand der über die Versuchsdauer auftretenden Ertragstrends wird deutlich, daß sich der Abstand zwischen den verschiedenen Varianten über die Zeit zunimmt. Auffällig ist vor allem die Entwick-

lung in der K0-Variante. Die realisierten Erträge liegen in den ersten 20 Jahren nur unwesentlich über denen der Nulldüngung. Dies deutet darauf hin, daß Kalium in dieser Phase der entscheidende begrenzende Faktor in der ungedüngten Variante gewesen ist. Mit Beginn der 80er Jahre setzt sich die Variante "K0" positiv von der Nulldüngung ab. Gleichzeitig fällt die Variante ohne N-Düngung (N0) im Vergleich zur Volldüngung (L2) stärker ab. Dies könnte bedeuten, daß von diesem Zeitpunkt an die N-Nachlieferung in der Nullvariante so niedrig war, daß diese letztlich ertragslimitierend wirkte. Hinzu mag kommen, daß im Jahr 1983 ein großes Rheinhochwasser den Versuch geraume Zeit überstaut hat und das damals noch stark K-haltige Rheinwasser zu nicht unerheblichen Einträgen an Kali in den Versuch geführt hat. Die K-Gehalte im Boden können diese These allerdings nicht belegen.

Diese zeitlichen Trends müssen unter dem Vorzeichen der jeweils im Versuch angebauten Kulturen gesehen werden (die Fruchtfolge wechselte mehrmals innerhalb des Versuchszeitraums), denn die geprüften Kulturen reagierten höchst unterschiedlich auf die verschiedenen Nährstoffmangelsituationen (Tabelle 2). Die Getreidearten (Winterweizen und Sommergerste) zeigen die stärksten Ertragsreaktionen bei Unterlassung der N-Düngung. Dieser Effekt verstärkt sich im Laufe der Zeit, so daß in der letzten Dekade (1988-1998) der Ertrag des Winterweizens in der N0-Variante auf dem Niveau der Kontrolle (L0) lag. Völlig entgegen der eigentlichen Erwartung zeigte der Körnermais die größte Sensibilität gegenüber mangelnder K-Düngung (K0 liegt auf dem Ertragsniveau von L0), während die Unterlassung der P-Düngung nur zu einer Ertragsreduktion von etwa 20% gegenüber dem vergleichbaren Volldüngungsniveau (L2) führt. Die Zuckerrüben zeigen die genau entgegengesetzte Tendenz. Während ein Unterlassen der K-Düngung (K0) den Ertrag überhaupt nicht beeinflußt, erreicht die Variante ohne Phosphat kaum den Ertrag der Kontrolle.

Tabelle 2: Erträge im Nährstoffmangelblock (1988-98, relativ zu L0)

Fruchtart	K0	P0	N0
Winterweizen	154	138	99
Sommergerste	168	145	124
Körnermais	119	292	249
Zuckerrüben	175	88	120
Gesamt	153	169	154

Düngungsniveaus

Zwischen den vier realisierten Düngungsniveaus (L0, L1, L2, L3) bestehen deutliche Ertragsunterschiede, die im Verlauf der Versuchsgeschichte anwachsen. Die Kontrolle ist mittlerweile auf ca. 40 % des Ertrags der mittleren Düngungsstufe (L2) abgesunken. Die vier Düngungsniveaus repräsentieren den ansteigenden Teil einer Optimumskurve mit jeweils sinkenden Abständen zwi-

schen den aufeinanderfolgenden Stufen. Anhand der Beobachtung, daß auch L3 noch einen (im Zeitverlauf anwachsenden) Ertragsvorteil gegenüber L2 zeigt, läßt sich belegen, daß das implementierte Düngungsniveau relativ niedrig ist.

Alle Kulturen zeigen in der Tendenz die gleiche Reaktion. Allerdings fällt diese sehr unterschiedlich deutlich aus (Tabelle 3). Der Körnermais erreicht in der höchsten Düngungsstufe (im Zeitraum 1988-98) fast den 5-fachen Ertrag der Kontrolle, während der Ertragszuwachs bei Winterweizen und Zuckerrüben unter 80 % liegt. Die Sommergerste zeigt zumindest eine etwas stärkere Reaktion auf die höheren Düngungsgaben als Winterweizen und Zuckerrüben, allerdings fällt hier auf, daß der Zuwachs von L2 nach L3 nur noch sehr gering ist, so daß hier das Optimum fast erreicht zu sein scheint.

Tabelle 3: Ertrag in den verschiedenen Düngungsniveaus (1988 - 1998, relativ zu L0)

Fruchtart	L1	L2	L3
Winterweizen	140	152	171
Sommergerste	172	215	226
Körnermais	306	402	468
Zuckerrüben	138	167	178
Gesamt	194	242	271

Zulageblöcke

Beispielhaft soll hier nur auf den Zulageblock 1 (L1, L1_K, L1_P, L1_N) näher eingegangen werden, da hier die deutlichsten Effekte erwartet werden durften. Es zeigte sich jedoch, daß die verstärkte Düngung eines einzelnen Nährstoffs im Mittel kaum eine Ertragssteigerung brachte (Tabelle 4). Lediglich die P-Zulage brachte absicherbare Ertragsvorteile, was jedoch fast ausschließlich auf die positive Reaktion der Zuckerrüben auf die gesteigerte P-Düngung zurückgeführt werden kann. Weizen zeigt auf verstärkte N-Düngung eine signifikant positive Ertragsreaktion und erreichte damit als einzige Kultur fast das Niveau der L2-Variante bei Zulage nur eines einzelnen Nährstoffs.

Tabelle 4: Erträge im Zulageblock 1 (1988-98, relativ zu L0)

Fruchtart	L1	L1_P	L1_K	L1_N	L2
Winterweizen	140	141	131	149	152
Sommergerste	172	180	166	175	215
Körnermais	306	301	304	269	402
Zuckerrüben	138	162	144	134	167
Gesamt	194	202	193	185	242

Is it possible by use of heavy fertilisation to boost the small yields normally obtained from arable land with unfavourable natural qualities to the yield levels of favourable land?

Käll Carlgren

Dept. of Soil Sciences, Div. of Soil Fertility,
Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7014, Uppsala, S-750 07 Sweden

Introduction

In Sweden twelve field experiments belong to the Swedish long-term soil fertility experiments. Five of them are situated in the very south part of the country and were initiated in 1957. Two of these sites are on land with favourable natural conditions and three on areas with less favourable qualities. Three fertiliser treatments in both crop rotations comprising intensified fertilisation (B1, C2 and D3) were used to test the hypothesis if strong fertilisation with nitrogen and phosphorus/potassium could boost the yields of less favourable sites to the yield levels of either weakly or moderately fertilised treatments of sites with favourable natural soil and climatic conditions.

Material and methods

Field experiments

The sites are all situated in the county of Skåne, partly on soils of calcareous origin. They have all been under cultivation for at least a hundred years, the site of Örja for more than two hundred years, and in the years around 1995 were characterized as follows (Carlgren & Mattsson 1999).

Two favourable sites

Fjärdingslöv (54°24'N, 13°14'E, altitude 30 m). Old arable land of high quality. The soil texture is a sandy loam with increasing clay and calcium carbonate content from 9 to 15 % and 0.04 to 14.9 % respectively, down to 100 cm depth. The initial organic matter content in topsoil was 2.4 %.

Örja (55°53'N, 12°52'E, altitude 10 m). A site with an advantageous climate for cropping. A sandy clay loam with an initial organic matter content in the top soil of 1.9 %. Small contents of calcium carbonate were found throughout the profile.

Three less favourable sites

Orup (55°49'N, 13°30'E, altitude 75 m). The soil texture is a sandy loam with 10 – 12 % clay content throughout the profile 0 - 100 cm. Initial pH_{aq} was the lowest for the sites and the organic matter content 4.1 % in the plough layer. The Orup soil is non-calcareous and compacted in the subsoil which limits root penetration and crop water uptake.

S Ugglarp (55°38'N, 13°25'E, altitude 65 m). The soil texture of the profile is a silty loam of 8 – 15 % clay, with the highest clay content in the upper parts. Initial organic matter content in the top soil was 2.6 %. The subsoil is very stony, the gravel content increased to max. 30 volume % in the lower parts of the profile. A non-calcareous soil.

Ekebo (55°59'N, 12°52'E, altitude 59 m). Originally a heather, the organic matter content was one of the highest at the start, about 5.3 % in the plough layer. Top- and subsoil are loams with 16.6 and 18 % clay, respectively. No calcium carbonate is present in the profile.

Climatic and chemical characteristics

Mean climatic characteristics for the period 1961 - 1990 and chemical soil characteristics at the start of the long-term trials in 1957 are shown in table 1 and 2, respectively. The chemical soil conditions were most advantageous at *Fjärdingslöv* and *Örja* with initially high pH-values. These sites are also situated at low altitudes which create preferential mean temperatures for both winter and summer (Table 1). The easily soluble soil nutrients and the nutrient reserves in the subsoil are of ordinary size at *Fjärdingslöv* and *Örja* (Table 2).

The less favourable sites *Orup*, *S Ugglarp* and *Ekebo* are situated at higher altitudes which give them lower summer and winter temperatures and also higher precipitation (Table 1). The pH-values are generally lower at these sites. There are crop nutrient reserves in the deeper soil layers at *Orup* but since the subsoil is compacted crops have difficulties in exploiting them. At *S Ugglarp* and *Ekebo* the nutrient reserves are also small in the subsoils (Table 2).

Experimental design

The experimental design is identical for the five south experiments with two crop rotations, one with live-stock and one without live-stock. In the live-stock rotation there is an one year clover grass ley and in the non live-stock rotation at the corresponding place in the crop rotation an oil seed crop. Otherwise the crops are spring barley, winter wheat and sugar beets in both crop rotations (Table 3). There are 16 fertiliser treatments including all combinations between four PK treatments; (A, B, C and D) comprising 0 PK application, replenishment, replenishment plus 15 P and 40 K or plus 30 P and 80 K, and four N-treatments (0, 1, 2 and 3) from 0 to 200 N, kg ha⁻¹. 20 t ha⁻¹ (fresh weight) of cattle manure is added in all plots once per rotation after harvest of winter wheat in the live-stock rotation. The N is not, but the P and K in the manure are considered for when deciding amounts of fertiliser P and K to be added. Fertiliser PK is added twice in the rotations; in spring before sowing of barley and in autumn after harvest of winter wheat.

Statistical methods

Yearly mean yields from the two favourable and from the three less favourable sites were compared by use of analyses of variance (procedure GLM, the LSMEANS statement; SAS institute 1990). To be certain of that the previous fertilisation had been of some use, only yields from the last five crop rotation sequences in the period 1977 to 1996 were compared.

TABLE 1. Temperature and precipitation for five experimental sites in south Sweden, two with favourable and three with less favourable natural conditions. Mean values for the years 1961 - 1990 registered at the nearest meteorological station

Site	Mean temperature, °C			Precipitation, mm		
	Oct-Mar	Apr-Sept	Ann. mean	Oct-Mar	Apr-Sept	Ann. sum
<i>Favourable</i>						
<i>Fjärdingslöv</i>	3.3	12.7	8.1	283	307	590
<i>Örja</i>	3.0	12.9	8.0	259	310	569
<i>Less favourable</i>						
<i>Orup</i>	1.7	11.5	7.1	378	399	777
<i>S. Ugglarp</i>	2.0	12.4	7.2	325	332	657
<i>Ekebo</i>	2.4	13.0	7.8	338	348	683

TABLE 2. Initial soil chemical characteristics in 1957 for five experimental sites in south Sweden,

two with favourable and three with less favourable natural conditions. pH_{aq}, P- and K-AL in mg/100 g air-dry soil. Organic carbon figures from 1962 in % of dry matter. (After Carlgren & Mattsson 1999)

Site	Layer	Org.C	pH	P-AL	P-HCl	K-AL	K-HCl
<i>Favourable</i>							
Fjärdings- löv	0-20	1.4	7.5	3.3	26	4.2	62
	20-50		7.7	2.5	25	3.6	60
	50-100		8.0	4.9	49	5.2	85
Örja	0-20	1.1	7.2	5.9	36	8.0	115
	20-50		7.3	2.9	27	5.9	109
	50-100		7.7	2.1	31	11.0	220
<i>Less favourable</i>							
Orup	0-20	2.4	6.2	2.4	53	3.8	47
	20-50		6.6	1.6	46	4.4	71
	50-100		7.1	10.9	64	4.3	81
S. Ugglarp	0-20	1.5	6.6	4.1	38	4.1	36
	20-50		6.6	2.5	26	2.1	31
	50-100		6.7	1.7	23	1.2	30
Ekebo	0-20	3.1	6.8	6.7	37	5.4	56
	20-50		5.4	0.7	19	3.6	68
	50-100		5.7	0.5	28	5.0	95

Results and discussion

The mean crop yields were of ordinary size for the county. However there was a distinct rotation difference between the mean yields. The rotation with livestock always produced higher yields than the rotation without (Table 3). These differences between comparable crops in the two rotations were statistically significant (not shown here).

In the rotation with live-stock the strongest fertilised treatment of the less favourable sites, D3, could apparently compete successfully with the weakly fertilised treatment, B1, of the favourable sites. Ley, spring barley and sugar beet in D3 at the less favourable sites gave superior or only insignificantly different yields compared with B1 at the favourable sites (Table 3). Winter wheat was the only crop that produced significantly lower yield. When D3 of the less favourable sites was compared with the ordinary fertilised treatment, C2, of the favourable sites, the same yield level was reached only for the ley crop, otherwise the D3 yields at the less favourable sites were significantly lower in spite of their heavier fertilisation (Table 3).

In the rotation without live-stock, the heavily fertilised treatment D3 in all crops of the less favourable sites again competed very successfully with the weakly fertilised treatment B1 of the favourable sites, but when the same D3 at the less favourable sites was compared with the ordinary fertilised C2 at the favourable sites, yields were nearly always significantly lower in D3. As in the live-stock rotation, only the second crop in the rotation, oil seeds, could produce about the same yield in the D3 as in the C2 treatment at the two types of site (Table 3).

TABLE 3. Mean yields for crops and yield differences between the strongest fertilised treatment (D3) of the less favourable sites and the weakly or moderately fertilised treatment (B1 and C2 respectively) on the sites with favourable natural conditions. Cereal and oil seed yields expressed in

kg ha⁻¹ 15 % moisture and ley and sugar beets in DM, kg ha⁻¹.

Crop rotation/ crop	Mean crop yield for B1, C2 and D3 du- ring the period	D3 at unfavourable sites against B1 at favourable sites	D3 at unfavourable sites against C2 at favourable sites
<i>With live-stock</i>			
Spring barley	4460	+150ns	-680 ^{xxx}
Ley I	7060	+900 ^{xxx}	-100ns
Winter wheat	5550	-600 ^x	-1325 ^{xxx}
Sugar beet	11430	-1170ns	-2340 ^{xxx}
<i>Without live-stock</i>			
Spring barley	4315	+470 ^{xx}	-620 ^{xx}
Oil seeds	1730	+600 ^{xxx}	-70ns
Winter wheat	5110	+100ns	-1520 ^{xxx}
Sugar beet	10350	+950 ^x	-2100 ^{xxx}

ns = not significant, ^x, ^{xx}, ^{xxx} = P 0.05, 0.01 and 0.001

Conclusions

The live-stock rotation generally produced higher yields than the rotation without live-stock. If strongly fertilised, yields of less favourable sites could compete very well with yields of weakly fertilised favourable sites. Regarding the question posed in the title of this paper, we can state that only for crops with a good response to fertilisers; the easily affected clover grass ley in the live-stock rotation and the very nitrogen demanding oil seed crop in the rotation without live-stock, it was possible by use of strong fertilisation to boost yields of sites with less favourable natural conditions to the levels of ordinary fertilised favourable sites.

References

- Carlgren, K. & Mattsson, L. 1999. Swedish soil fertility experiments. Pers. comm. Adress: Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, P. O. Box 7014, Uppsala S-750 07 Sweden.
- Ivarsson, K. & Bjarnason, S. The long-term soil fertility experiments in southern Sweden. I. Background, site description and experimental design. *Acta Agric. Scand.* 38, pp 137-143.
- Jansson, S. L. 1983. Twenty-five years of soil fertility studies in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences, Dept. of Soil Sciences, Div. of Soil Fertility, report 151. (In Swedish). 29 pp.

Long term effects of various phosphatic fertilizers on the productivity of pearl millet - wheat cropping sequence

S. Dev, T. Chand and S.P.S. Karwasara

Department of Soil Science,
CCS Haryana Agricultural University,
Hisar 125 004, India.

Abstract

A long term field experiment was started in October, 1968 to study the response of phosphorus (P) levels from various sources in pearl millet - wheat cropping sequence in fine loamy calcareous, Typic Ustochrept soils. Both crops responded to the application of P irrespective of sources. The response of water soluble sources (SSP, DAP, UAP) was better over partially water soluble source (Suphala) and mineral acid soluble source (RP). After reduction of P levels the yield level of both crops were reduced indicating there by more requirement of P in these calcareous soils. Application of P to both crops proved better as compared to either direct or residual phase of P application. Application of P increased the Olsen's extractable P irrespective of sources till the P levels were reduced to half. The highest available P was observed with the application of DAP followed by UAP, SSP, Suphala and RP. Without the application of P, available P content of soil decreased to 1.4 mg. kg^{-1} in 9 years.

Introduction

For increasing the productivity of field crops specially wheat, water soluble phosphatic fertilizers are most responsive in alkaline soils. But the cost involved in the manufacturing of these fertilizers are very high because grade rock phosphate and sulphur has to be imported by India. To overcome this problem a number of water soluble, citrate soluble and even mineral acid soluble fertilizers have become available in the market. This long term field study was started to see the effect of these different soluble phosphatic fertilizers on the productivity of pearl millet - wheat cropping sequence and on the available P build up in calcareous soils.

Materials & Methods

A long term experiment was started in October 1968 to study the response of phosphorus (P) levels from various sources in pearl millet - wheat cropping sequence in fine loamy calcareous, Typic Ustochrept soils. The site is located between $29^{\circ} 10' \text{ N}$ and $75^{\circ} 45' \text{ E}$ with mean annual rainfall of 443 mm. Suphala (30 % WSP), single super phosphate (SSP), diammonium phosphate (DAP), urea ammonium phosphate (UAP) were tested at 0, 60 and $120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ until 1975 - 1976 and reduced to half i.e. 30 and $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ there after. Low grade rock phosphate (RP) was also included at the same three levels of P from 1978 - 1979. Combinations of levels of P and sources were kept in the main plots and each main plot was divided into three sub plots receiving P under three phases i.e. applying every summer crop, to every winter crop and to both crops. All the treatments were replicated two times. A uniform dose of nitrogen, potassium and zinc was applied as 120 kg N , $60 \text{ kg K}_2\text{O}$ and $25 \text{ kg ZnSO}_4 \text{ ha}^{-1}$. All the cultural practices were uniformly applied to all plots. Some of the characteristics of experimental soil was determined using standard procedures. The texture of the soil was sandy loam having sand, silt and clay 68 %, 17 % and 14.3 % respectively. The pH was 8.2 and E.C. was 0.67 d Sm^{-1} . The Calcium carbonate was 1.7 % and CEC was $9.1 \text{ cmole (P}^+) \text{ kg}^{-1}$. The available P was in medium range (6.6 mg kg^{-1} Olsen - P).

Results and discussion

During thirty years of experimentation (1968 - 1999) with phosphatic fertilizers, it was observed that all these fertilizers increased the grain yield of wheat and pearl millet (Table 1) over control except RP which was even lower than the control. The response of water soluble sources (DAP, SSP and UAP) to both crops was better over partially soluble source (suphala) and mineral soluble RP. Amongst the P levels almost 200 to 400 kg difference was observed in wheat where as the yield of pearl millet was almost equal. When the P levels were reduced to half in 1977, the reduction in yield of wheat + pearl millet was 13 to 15.7 percent in all the four fertilizers (Table 2). This shows that the requirement of P in calcareous soil is higher. The periodical changes (Table 3) showed that in the initial years the yields in both crops remained static at both levels till the P levels were reduced to half. The after decreasing trend in yield was noticed more in later years. The results also suggested that it will take about 24 years to get the minimum yield of wheat without adding phosphatic fertilizers. The DAP gave the highest grain yield of both crops followed by suphala and RP at both levels. The difference in yield between DAP and suphala was about 200 kg in both crops which was even equalized in pearl millet during 1978 - 1985. Application of P fertilizers (Table 4) to both crops i.e. in July and November was found to be best followed by direct and residual applications. Application of P fertilizers increased the Olsen's extractable P (Table 5) irrespective of sources till the P levels were reduced to half. It came down from 7.5 to 5.0 amongst the sources in the year 1977. The highest available P was observed with the application of DAP followed by UAP, SSP, suphala and RP. Without the application of P available P content of soils were decreased and reached a value of 1.4 mg kg⁻¹ from 6.6 mg kg⁻¹ in 9 years. The application of P even for continuous 29 years did not build up available P in the soil rather it remained in the medium range. Thus in calcareous soils the application of P to every crop is a must.

Conclusions

Water soluble P fertilizers (DAP, UAP and SSP) were better over partially soluble (suphala) and mineral acid soluble (RP). Higher dose of these fertilizers gave better yields. Applying P fertilizers in each season was the best phase of P application.

Table 1 Effect of different phosphatic fertilizers and their levels on grain yield of wheat & pearl millet (kg ha⁻¹) during 1968 – 1999

Fertilizer Sources	Wheat			Mean	Pearl millet			Mean
	P ₂ O ₅ levels (kg ⁻¹)				P ₂ O ₅ levels (kg ⁻¹)			
	0	60/30	120/60		0	60/30	120/60	
SSP	1660	2700	3100	2500	1520	2090	2200	1933
DAP	1660	2800	3160	2540	1520	2110	2170	1930
UAP	1660	2840	3100	2500	1520	2020	2090	1880
Suphala	1660	2660	2890	2400	1520	1920	2020	1820
RP	1430	1250	1290	1320	810	970	960	910

Table 2 Effect of reduction of P levels on grain yield of wheat & pearl millet (kg ha⁻¹)

Fertilizer Source	Year	Wheat	Pearl millet	Wheat + Pearl millet	% drop
SSP	1976-77	2800	2430	5230	13.0
	1977-78	2290	2270	4560	
DAP	1976-77	2880	2520	5400	13.0
	1977-78	2360	2330	4700	
UAP	1976-77	2990	2540	5530	15.7
	1977-78	2340	2320	4660	
Suphala	1976-77	2720	2400	5120	15.4
	1977-78	2120	2210	4330	

Table 3 Periodical changes in the yield (kg ha⁻¹) of wheat & pearl millet under different selected phosphatic sources and their levels.

Years	Control	RP	Suphala	DAP	RP	Suphala	DAP
P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)			60/30			120/60	
<i>Pearlmillet</i>							
1969-1972	2250	-	2570	2820	-	2870	3080
1973-1976	2190	-	2570	2810	-	2610	2750
1977	1950	-	2280	2400	-	2410	2640
1978-1985	1230	1320	1670	1740	1200	1770	1770
1986-1992	610	640	1030	1340	720	1150	1460
<i>Wheat</i>							
1968-1972	2520	-	3250	3550	-	3600	3690
1973-1976	1960	-	3260	3600	-	3660	3860
1976-1977	1060	-	2460	2800	-	2850	3210
1990-1994	1400	1180	2270	2400	1230	2430	2900
1995-1999	1310	1200	2040	2210	1340	2220	2450

Table 4 Effect of phases of P application on grain yield of wheat & pearl millet (kg ha⁻¹) during 1968 - 1999

Phases of P Application	Pearl millet	Wheat
Applying in July only	2080	2460
Applying in Nov. Only	1940	2840
Applying to both crops	2080	3080

Table 5. Effect of different Phosphatic fertilizers and their levels (P₂O₅ kg -1) on available P (mg kg -1) in different years of experimentation

Source	Levels	Years					Mean
		1968	1972	1976	1977	1997	
Control	0	6.6	4.8	1.9	1.4	4.0	4.7
	60/30	-	6.0	6.9	5.3	5.5	5.9
	Mean	6.6	6.2	7.0	5.6	5.7	6.1
SSP	120/60	-	6.4	7.1	5.8	5.8	6.3
	60/30	-	6.6	7.3	5.6	5.9	6.4
	Mean	6.6	6.7	7.5	6.1	6.4	6.7
DAP	120/60	-	6.8	7.6	6.5	6.8	6.8
	60/30	-	6.7	7.4	5.4	5.3	6.2
	Mean	6.6	6.9	7.5	5.8	5.7	6.3
UAP	120/60	-	7.0	7.6	6.3	6.0	6.7
	60/30	-	5.7	6.3	4.7	5.8	5.6
	Mean	6.6	5.8	6.5	5.0	6.2	6.0
Suphala	120/60	-	6.0	6.8	5.3	6.6	6.2
	60/30	-	-	-	-	4.4	4.4
	Mean	6.6	-	-	-	3.9	3.9
RP	120/60	-	-	-	-	3.4	3.4
	60/30	-	-	-	-	3.4	3.4
	Mean	6.6	-	-	-	3.9	3.9

Ergebnisse 17jähriger Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt typischer Bodenformen Mitteldeutschlands in der Lysimeterstation Brandis

Haferkorn, U.¹, Knappe, S.²

¹Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft,

Lysimeterstation Brandis, Kleinsteinberger Str. 3, 04821 Brandis

²UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung

Theodor-Lieser-Straße 4, 06120 Halle/Saale

1. Einleitung

Die Lysimeterstation Brandis liegt südöstlich von Leipzig am Rande des Mitteldeutschen Trockengebietes. In der Station befinden sich 24 wägbare Lysimetermonolithe. Diese sind mit acht, zunehmend tiefgründigeren und sorptionsstärkeren, höhere Wasserkapazität aufweisenden Böden aus der Partheniederung und dem Sächsischen Lößhügelland gefüllt.

Veranlassung für den Bau der Lysimeterstation Brandis und die Aufnahme langjähriger Untersuchungen zum Wasser- und Stickstoffhaushalt waren Probleme bei der Trinkwassergewinnung in stark beanspruchten Einzugsgebieten (MORITZ u.a., 1991) des Parthegebietes. Die Datengewinnung ist auf die Ermittlung langjähriger Reihen der Bodenwasserhaushaltsgrößen unter regionalspezifischer landwirtschaftlicher Bewirtschaftung und N-Düngung ausgerichtet. Es soll das jährliche und innerjährliche Schwankungsverhalten der Verdunstung und Grundwasserneubildung und des damit verbundenen Stickstoffhaushaltes in Trocken- und Feuchtjahren untersucht werden. Um gesicherte Daten in hoher zeitlicher Auflösung gewinnen zu können, wurden die Bodenmonolithe von den teils sehr weit entfernt liegenden Herkunftsflächen am Standort Brandis zusammengeführt.

2. Methodik

Für die wägbaren Lysimeter wurden Bodenmonolithe mit einer Mächtigkeit von 300cm gewonnen. Alle Bodenmonolithe haben eine Oberfläche von 1 m². Die Entnahme der Bodenmonolithe für die wägbaren Lysimeter erfolgte in den Jahren 1976 - 1978, die kontinuierlich geführten Meßreihen beginnen im November 1980.

Für den Standort Brandis wurde für die Jahre 1981 - 1997 eine mittlere klimatische Wasserbilanz (kWB) von 30 mm ermittelt. Die korrigierten Sommerniederschläge (Mai bis Oktober) liegen mit 353 mm deutlich über den Winterniederschlägen (302 mm).

Die Lysimeterböden und das umliegende Feld werden in gebietstypischer Form landwirtschaftlich bewirtschaftet (KNAPPE u.a., 1994; KNAPPE und KEESE, 1997). Diese Nutzungsform repräsentiert einen hohen Anteil der Bewirtschaftung in Sachsen und gilt dabei insbesondere für Trinkwassereinzugsgebiete. Mit der Lysimeteranlage wurden folgende Ziele verfolgt:

- Bestimmung der Grundwasserneubildung und der realen Verdunstung unter gebietstypischen Bedingungen
- Ermittlung der Effizienz der mineralischen Düngung und der Höhe der Stickstoff-Entzüge durch die Pflanze
- Aussagen zum Stickstoff-Auswaschungspotential der verschiedenen Böden und zur davon ausgehenden Gefahr für das Grundwasser.

Bei der Wahl der Herkunftsflächen für die Bodenmonolithe wurde angestrebt, daß sowohl aus bodenkundlicher Sicht, als auch hinsichtlich der Hydrologie der Grundwasserleiter-deckschichten, durch die Lysimetermessungen möglichst große Gebiete mit gleichem Versickerungsverhalten (Hydrotone) repräsentiert werden (Tabelle 1). Dabei handelt es sich ausschließlich um Standorte mit flurfernen Grundwasserständen.

Tabelle 1: Zusammenstellung der in Brandis untersuchten Böden

Lys.-gruppe	Bodentyp	Hydromorphie	Schichtung	Typ
5	erodierte Braunerde	sickerwasserbeeinflusst	Sandlöß über Schmelzwassersanden (locker)	a
4 und 8	Braunerde-Fahlerde, Parabraunerde-Braunerde	sickerwasserbeeinflusst	Sandlöß über Schmelzwassersanden (lehmig)	b
1, 7 und 11	(lessivierter) Braunerde-Pseudogley, pseudovergleyte Braunerde-Fahlerde	stauwasserbeeinflusst, früher teils gwbeeinflusst	Sandlöß (Geschiebedecksand) über Geschiebelehm, -mergel (teils stark verdichtet)	c
9 und 10	Parabraunerde, Schwarzerde	starke Aufwärtsbewegung infolge hoher Verdunstung	Löß über Schmelzwassersanden (sehr homogen)	d

3. Ergebnisse

Die Grundwasserneubildung der untersuchten Böden ist durch drei Merkmale gekennzeichnet:

- einem typischen jahreszeitlichen Gang mit relativ hohen Werten im Winter und sehr geringen oder keinen Neubildungsraten im Sommer
- einem mehrjährigen Rhythmus von Jahren mit überdurchschnittlich hoher bzw. niedriger Grundwasserneubildung
- durch eine sehr hohe Abweichung der Einzelwerte von den langjährigen Mittelwerten.

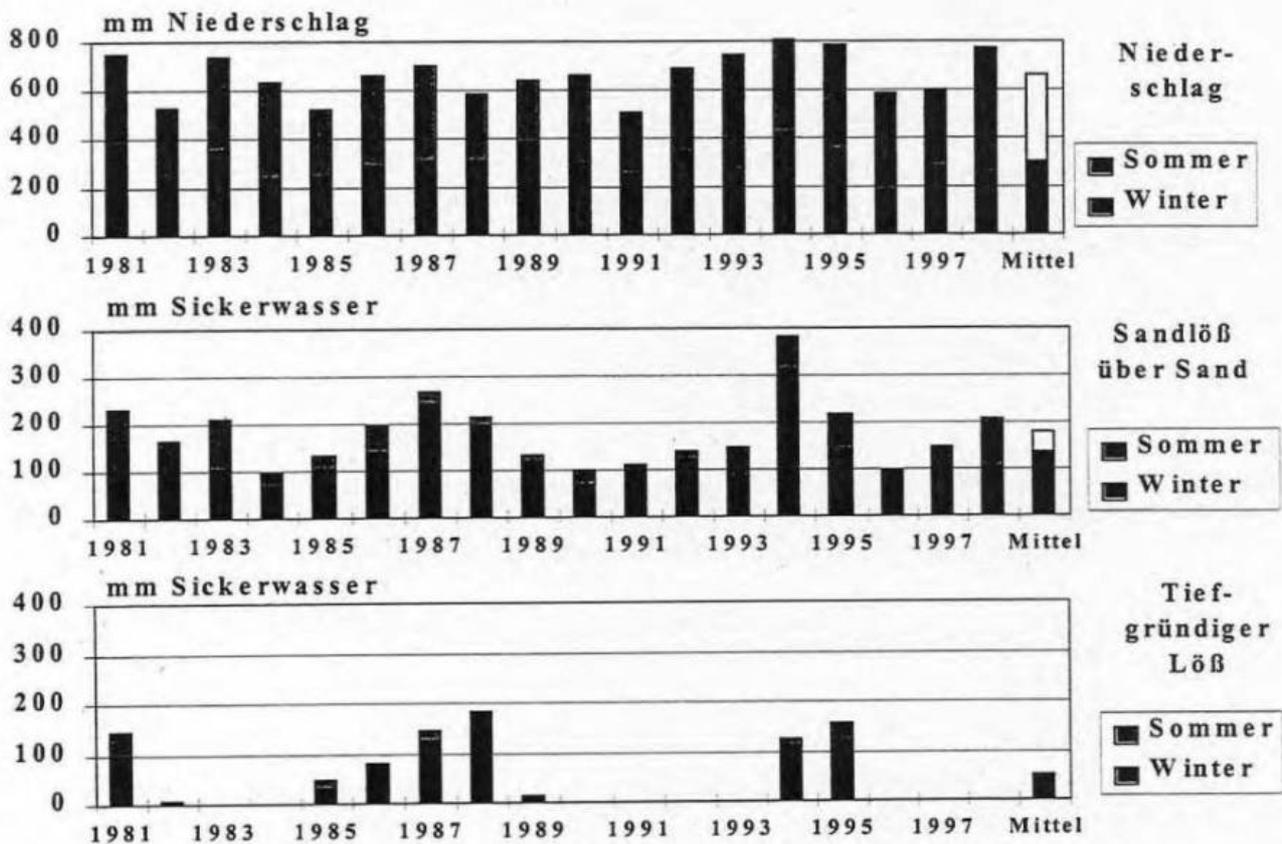


Abb.:1 Korrigierter Niederschlag und Grundwasserneubildung von zwei typischen, extremen Böden in der Lysimeterstation Brandis

In Bezug auf die Höhe der Sickerwasserbildung dominiert eindeutig der Einfluß der kWB vor

der Fruchtart. Die durchschnittliche Sickerwasserleistung der einzelnen Böden schwankt zwischen 175 mm bei (Sandlöß über Schmelzwassersanden - Lysimetergruppe 5) und 50 mm beim tiefgründigem Löß über Schmelzwassersanden (Lysimetergruppe 9). Das sind 27 % bzw. 8 % des mittleren Niederschlages. Die Unterschiede in der Sickerwasserleistung resultieren aus der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Bodenwasser für die Verdunstung (max. 80 mm beim Sandlöß über Schmelzwassersanden und max. 460 mm bei den tiefgründigen Lößböden). So zeigen die Böden mit niedrigem Wasserspeichervermögen (Feldkapazität) auf Grund der relativ geringen Bodenwasserdefizite am Ende des Sommerhalbjahres, die geringsten Unterschiede bei der jährlichen Grundwasserneubildung. Dagegen schwankt die jährliche Grundwasserneubildung bei den tiefgründigen Lößböden zwischen 0 bis max. 184 mm im Jahr 1988 (HAFERKORN und KNAPPE, 1998).

Die Düngung von durchschnittlich 130 kg/ha/Jahr mineralischem Stickstoff und zusätzlicher Zufuhr von 40 kg/ha über nasse Deposition (1980 -1992) wurde von den einzelnen Böden recht unterschiedlich verwertet. So wurde auf den tiefgründigen Lößböden der Stickstoff-Pool im Boden durch die Pflanzen in der Mehrzahl der Ernten über die Düngegabe hinaus beansprucht (KNOBLAUCH und ROTH, 1995). Auf Standorten mit leichten Sandböden wird dagegen nur etwa die Hälfte der mineralischen Stickstoff-Einträge über den N-Entzug der Pflanzen genutzt (KNAPPE und KEESE, 1997).

Die mittleren jährlichen Stickstoff-Austräge über das Sickerwasser liegen zwischen 7 kg/ha auf den ertragreichen, sorptionsstarken Löß-Parabraunerden (Lysimetergruppe 9) und 48 kg/ha auf den weniger ertragreichen erodierten Braunerden (Lysimetergruppe 5).

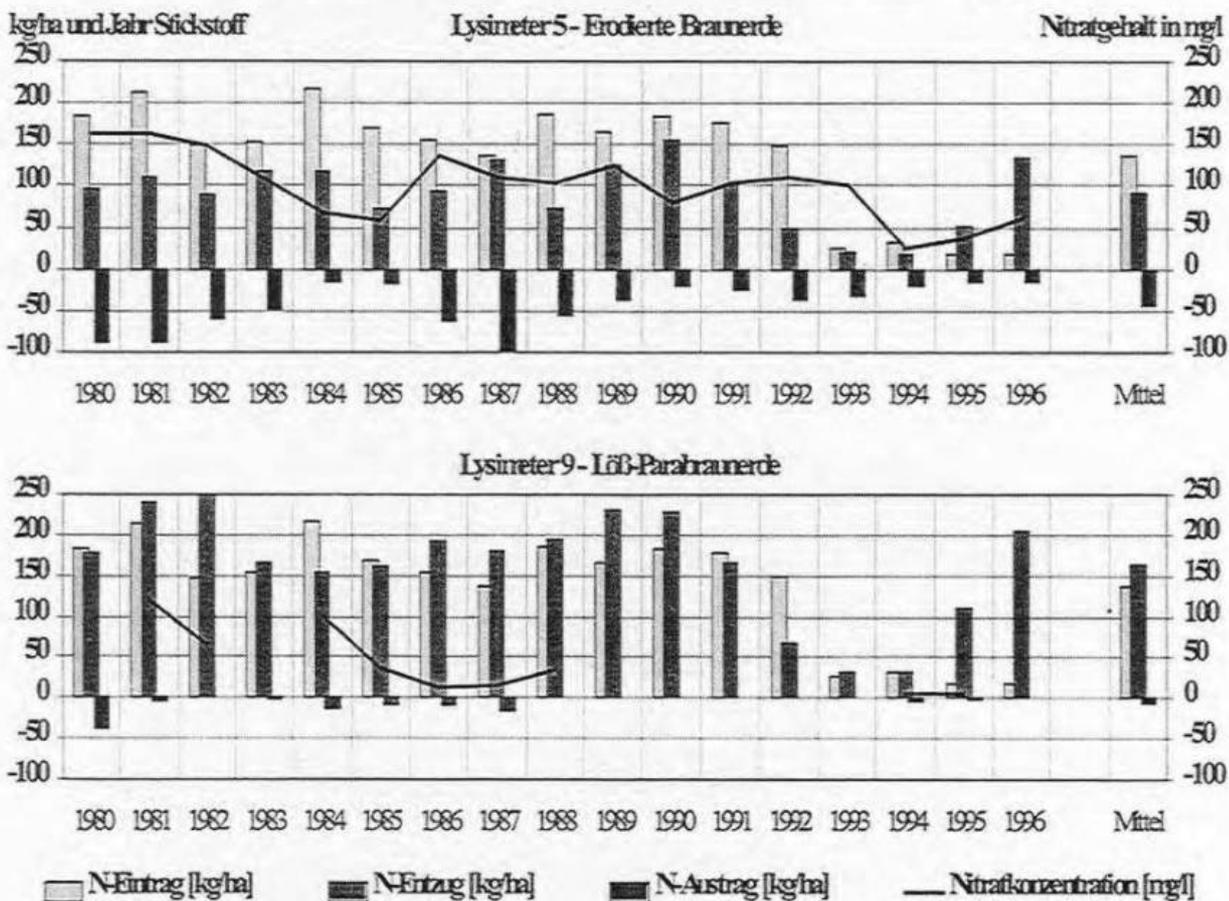


Abb.:2 Zusammenhang zwischen N-Eintrag über Düngung und nasse Deposition, N-Entzug durch die Pflanze, N-Austrag durch Sickerwasser und Nitratgehalt im Sickerwasser. Dabei besteht kein eindeutiger korrelativer Zusammenhang zwischen Stickstoff-Saldo und Höhe der Stickstoff-Austräge über das Sickerwasser (HAFERKORN und KNAPPE, 1998). In Abhängigkeit

von den entsprechenden Bodeneigenschaften wirken vor allem Immobilisierung und Mineralisation als auch Denitrifikation in unterschiedlichen Anteilen, wobei die Austauschhäufigkeit des Bodenwassers bestimmt, wie lange das Nitrat in der verdunstungsbeeinflussten Zone diesen Prozessen unterliegt.

Die Diskontinuität der Grundwasserneubildung beeinflusst die Stickstoff-Umsatz- und transportprozesse. Unter der Voraussetzung, daß sich das Sickerwasser nach dem Verdrängungsprinzip als Matrixfluß in ausschließlich vertikaler Richtung bewegt, wurden mittlere jährliche Austauschhäufigkeiten des Bodenwassers im effektiven Wurzelraum von 230 % bei den erodierten Braunerden und 20 % bei Lößböden berechnet. Besonders hervorzuheben ist, daß auch die bindigen Böden über Geschiebelehm und tiefgründigem Löß in Einzeljahren Austauschhäufigkeiten von 230 % (1994) bzw. 150 % (1988) aufweisen.

3. Schlußfolgerungen

- Die Vielfalt von acht verschiedenen, landwirtschaftlich genutzten Böden mit jeweils drei Wiederholungen (Lysimetergruppe) erlaubt statistisch gesicherte Aussagen zum Einfluß von Boden, Klima und Bewirtschaftung auf den Bodenwasserhaushalt. Schwerpunkt der langjährigen Lysimetermessungen ist die Beschreibung der hydrologischen Prozesse unter den speziellen klimatischen Bedingungen des östlichen norddeutschen Tieflandes.
- Größten Einfluß auf die Höhe der Sickerwasserbildung hat die jährliche Inanspruchnahme des Bodenwasserspeichers durch die Verdunstung. Hohe Sickerwassermengen sind zu verzeichnen, wenn hohe Winterniederschläge auf einen bereits gefüllten Bodenwasser-speicher treffen. Diese außergewöhnlich guten Bedingungen zur Grundwasserneubildung traten am Standort Brandis im Verlauf der 17jährigen Versuchsreihe nur in den Winterhalbjahren 1988 und 1994 auf (für die Lößstandorte nur im Jahr 1988). Unter diesen Bedingungen zeigen die Sickerwasserleistungen von Sand, Geschiebelehm und Lößböden nur geringe Unterschiede.
- Aus der mengenmäßig und zeitlich sehr stark differenzierten Grundwasserneubildung resultieren Transportraten, die sich sehr stark von den mittleren jährlichen Transportraten unterscheiden. Diese Diskontinuität der Grundwasserneubildung beeinflusst die Stoffumsatz und -transportprozesse. Hinzu kommen bei grundwasserfernen Standorten noch längere Transportwege und -zeiten in der Dränwasserzone. Aus diesen Gründen ist es kaum möglich Zusammenhänge zwischen Ursache (Intensität der Bewirtschaftung) und Wirkung (Sicker- und Grundwasserqualität) innerhalb kurzer Beobachtungszeiträume herzustellen.

4. Literatur

MORITZ, CH.; SÄMISCH, G.; SPENGLER, R.: Die Basislysimeterstation Brandis bei Leipzig - Einrichtung und erste Untersuchungsergebnisse. Dtsch. Gewässerkundl. Mitteilg. 35 (1991) 5/6, S.149-160

HAFERKORN, U.; KNAPPE, S.: Austrag von Wasser und gelösten Inhaltsstoffen aus natürlich gelagerten Böden in Lysimetern in Abhängigkeit vom Grad der Wassersättigung des Bodens. Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch. 88 (1998) 367-370

KNAPPE, S.; MORITZ, CH.; KEESE, U.: Grundwasserneubildung und N-Austrag über Sickerwasser bei intensiver Landnutzung - Lysimeteruntersuchungen an acht Bodenformen in der Anlage Brandis. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk. 38 (1994) S. 393-403

KNAPPE, S.; KEESE, U.: Lysimeteruntersuchungen zur Wirkung von Flächenstillegungsmaßnahmen auf den Stickstoff- und den Wasserhaushalt von vier Bodenformen. Mitt. Deutsche Bodenkundl. Gesellsch. 85 (1997) 937-940

KNOBLAUCH, S.; ROTH, D.: N-Austrag aus einer Braunschwarzerde (Löß) im Thüringer Becken - Ergebnisse aus dem Bodenwassermonitoring. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 76 (1995), S. 839-842

The optimal nutrition of maize in the Hungarian National Long-term Field Experimental Network

Kismányoky, T. – Debreczeni, K.

Pannon University of Agricultural Sciences, Georgikon Faculty
Institute of Agronomy Department of Plant Production

Introduction

Maize is the most important crop in the Hungarian Agriculture besides wheat. It is grown more than 1 million ha and occupies 24 % of the arable land. The genetical variability and the large member of hybrids make maize production possible on each soil and in each part of the country. Among the cereals maize has the biggest genetical potential, therefore the supply of the required nutrient rate is essential. Hungary is situated in the Carpathian basin, in consequence of this its climate and its soil types are variably. That is why the calculation of the optimal fertilizer rates with the conventional empiric methods is not easily. The sematic fertilization according to the specific nutrient content method led to overfertilization that maize can tolerate well without any negative symptom. But this should be avoided because of the extra expenditures and the environment pollution. That is why the setup of a small-plot field experiment network with uniform fertilizer treatments is needed. With the help of the results of these experiments the cost saving and environment friendly fertilization systems can be implemented in the different regions and on different soils parallel with the biggest yield production. The results of the Hungarian National Long-term Field Experiment Network, that is conducted in 9 different region of Hungary, are the basis for this consideration.

Materials and Methods

In the Hungarian National Long-term Field Experimental Network there are several small-plot trials with uniform fertilizer treatments and arrangement in different agro-ecological environment. The three different trials were established in 1967 (I.) - 1968 (II.) - 1969 (III.) under academician Géza Láng 's supervision with the contribution of a professional committee in 26 different study site, nine of these exist today. The experimental network consisted of crop rotations signed „A” and „B” („A”: winter wheat – maize – winter wheat – pea; „B”: winter wheat – maize – maize – winter wheat) and maize monocropping systems in four sites signed „C”. All the trials were designed with 20 - 20 fertilizer treatments uniformly (e.g. nitrogen: 0 – 50 – 100 – 150 – 200 - 250 kg N ha⁻¹ yr⁻¹, code: 1 – 2 – 3 – 4 - 5; phosphorus: 0 – 50 – 100 – 150 - 200 kg P₂O₅ ha⁻¹ yr⁻¹, code: 0 – 1 – 2 – 3 - 4; potassium: 0 – 100 - 200 kg K₂O ha⁻¹ yr⁻¹, code: 0 – 1 - 2), although not in every possible combination.

The effects of nitrogen and phosphorus fertilizers were studied on the grain yield of maize were studied, while constant rate of potassium was applied in the „B” crop rotations of the II. and III. trials.

The long-term effect of that rates of fertilizers which gave the optimal and maximal grain yields over the average of many years shows the amount of nutrients that should be applied in the various soils of the different sites.

Sites and the main soil characteristics of the control plots of the long-term fertilization trials:

Karcag (KA) - Luvic chernosem (clay < 0.002 mm = 37 %), pH = 4.7, humus = 3.2 %

Keszthely (KE) - Eutric cambisol (clay 17 %), pH = 6.3, humus = 1.9 %

Kompolt (KO) - Haplic phaeosem (clay 38 %), pH = 3.9, humus = 2.7 %

Mosonmagyaróvár (MO) - Calcaric fluvisol (clay 15 %), pH = 7.7, humus = 1.9 %

Nagyhörcsök (NH) - Calcaric phaeosem (clay 23 %), pH = 7.7, humus = 3.0 %

Bicsérd (BI) - Luvic phaeosem (clay 27 %), pH = 5.7, humus = 2.1 %

Iregszemcse (IR) - Calcaric phaeosem (clay 18 %), pH = 7.2, humus = 2.6 %

Hajdúböszörmény (HB) - Luvic phaeosem (clay 30 %), pH = 6.7, humus = 5.3 %

Putnok (PU) - Ochric phaeosem (clay 24 %), pH = 4.9, humus = 2.0 %

Results and Discussions

The maize yield is introduced on Figure 1. as the average of each rotation (1973 - 1996) in 7 crop rotations in increasing order according to the results of the control plots of the different sites. It can be observed that the natural fertility of the soils in the different sites significantly differ from each other (4,46 - 7,54 t/ha). The yields of the control plots - that show the natural fertility of the soils - are in close correlation with the clay- and humus content and with the pH values of the soils. In seven cases of the 9 sites the NP effect compared to the control is almost the same, about 2 t/ha (KO, PU, KE, NA, MO, BI, HB) in different NP/K₁₀₀ combinations. In case of Karcag (KA) only 1,2 t/ha was the effect of fertilization. This effect is verified by the high resistance (density), low pH value and the big Na content of this soil (salty soil). As a consequence of the results it can be concluded as well, that the natural fertility of the soil primarily differentiates the level of the yield, the optimal rate of fertilizers and makes differences between the farmers as well on the ground of the realizable profit. On these soils and in these regions in which the biggest rates of fertilizers are resulted in just as small yields as in the control plots of other sites, the maize should be substituted for other plants.

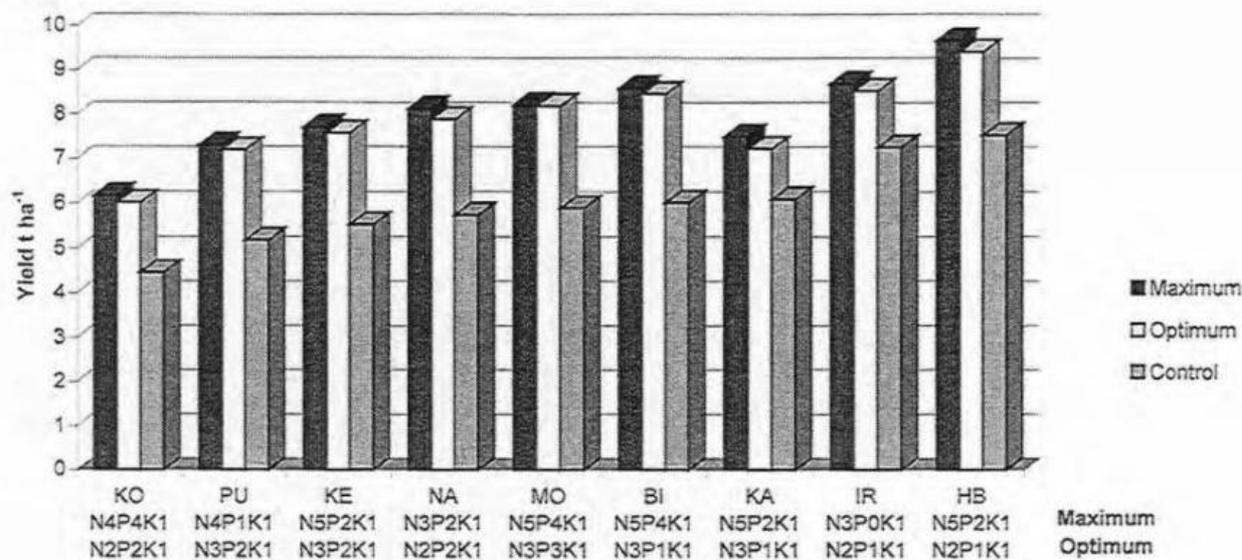


Figure 1. Effect of NP-fertilization on maize yields on average of the 2. - 7. rotations at 9 experimental sites (1974 - 1995)

Table 1. Effect of NP-fertilization on maize yields on average of the 2. – 7. rotations at 9 experimental

	Maize								
Optimum	<i>N2P2K1</i>	<i>N3P2K1</i>	<i>N3P2K1</i>	<i>N2P2K1</i>	<i>N3P3K1</i>	<i>N3P1K1</i>	<i>N3P1K1</i>	<i>N2P1K1</i>	<i>N2P1K1</i>
Maximum	<i>N4P4K1</i>	<i>N4P1K1</i>	<i>N5P2K1</i>	<i>N3P2K1</i>	<i>N5P4K1</i>	<i>N5P4K1</i>	<i>N5P2K1</i>	<i>N3P0K1</i>	<i>N5P2K1</i>
	KO	PU	KE	NA	MO	BI	KA	IR	HB
Maximum	6,17	7,31	7,71	8,13	8,21	8,59	7,5	8,69	9,66
Optimum	6,02	7,2	7,58	7,89	8,19	8,46	7,23	8,53	9,41
Control	4,46	5,19	5,53	5,75	5,90	6,02	6,10	7,26	7,54

The results indicate that the required rates of fertilizers for the maximal yields compared to the fertilizer rates needed for optimal yields are undesirable cost increasing factors and they can not be neglected from environmental point of view as well. (Optimal NP rate; that is still resulted in a significant extra yield compared to the previous one.)

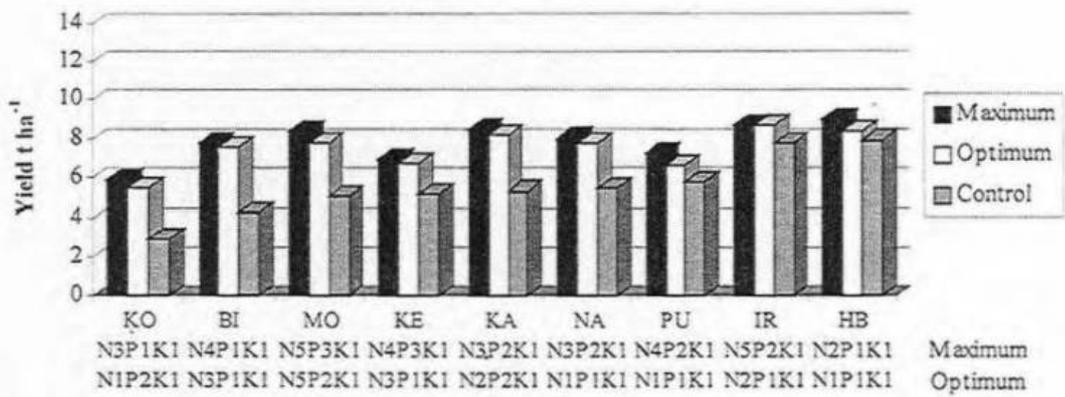
The tendencies are shown in figure 1, are more exact in table 1.

The previously introduced results are detailed in Figure 2 and Figure 3 in the periode between 1973 - 1996 according to the order of the rotations (7 rotations). The analysis of the data shows that the order of the sites that is created on the ground of the yields of the control plots does not change consecutively significant, while in case of the optimal and maximal yields it does, compared to the long-term means. In this phenomenon the effect of the year has significant role especially the amount of the precipitation. The amount of the precipitation was recorded as: yearly precipitation (X. 1. - IX. 30.), precipitation during the cropping period (V. 1. - IX. 30.) and the precipitation during the critical period (VI. 1. - VII. 31.). The statistical analysis of the correlation of the yield and precipitation is not included in this study. It can be concluded from the figures, that the biggest yields of the rotations were recorded consecutively and reliably (9 t/ha) on the sites in IR, HB, BI, while on the less fertile (KO) soil the yields are small in each rotation consecutively. On sites with medium natural soil fertilitiy, the variability of yields is the biggest, depending on the effect of the years.

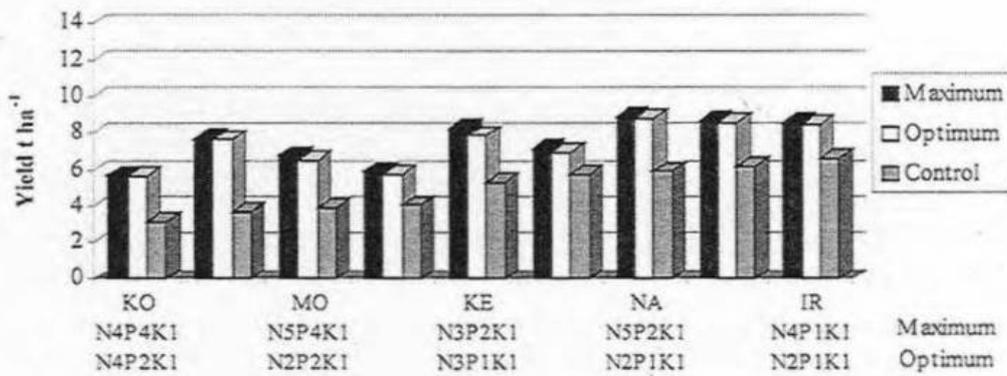
Conclusions

1. The natural fertility of the soils in the different sites significantly differ from each other (4,46 - 7,54 t/ha).
2. The yields of the control plots - that show the natural fertility of the soils - are in close correlation with the clay- and humus content and with the pH values of the soils.
3. On that soils and in that regions in which the biggest rates of fertilizers are resulted in just as small yields as in the control plots of other sites, the maize should be substituted for other plants.
4. The required rates of fertilizers for the maximal yields compared to the fertilizer rates needed for optimal yields are undesirable cost increasing factors and they can not be neglected from environmental point of view as well.
5. The long term mean data show that the order of the sites that is created on the ground of the yields of the control plots does not change consecutively significant, while in case of the optimal and maximal yields it does, compared to the long-term means. In this phenomenon the effect of the year has significant role especially the amount of the precipitation.
6. From the results of the years 1973 - 1996 (7 cycles of rotation) it can be concluded that the biggest maize yields can be produced on Calcaric phaeosem and Luvic phaeosem (9 t/ha) where the effect of fertilizers are the best, while on the Haplic phaeosem and secoundly on Ochric phaeosem the success of maize production is uncertainly.

Rotation 2. (1974-1975)



Rotation 3. (1978-1979)



Rotation 4. (1982-1983)

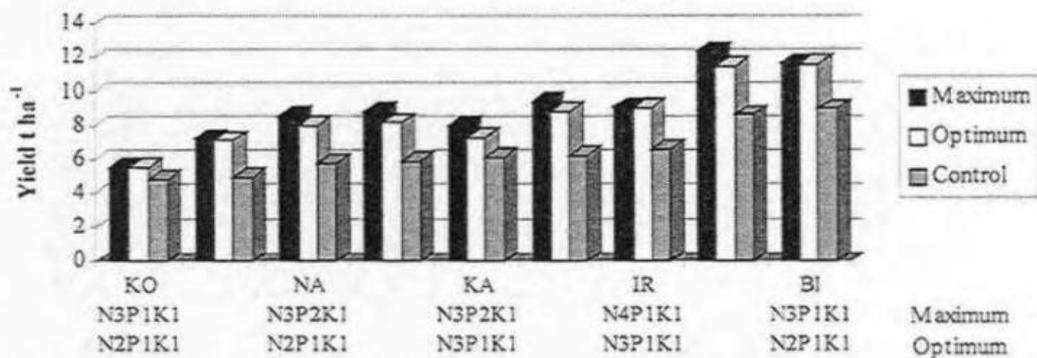


Figure 2. Effect of NP-fertilization on maize yields the means of the 2-7 rotations at 9 experimental sites

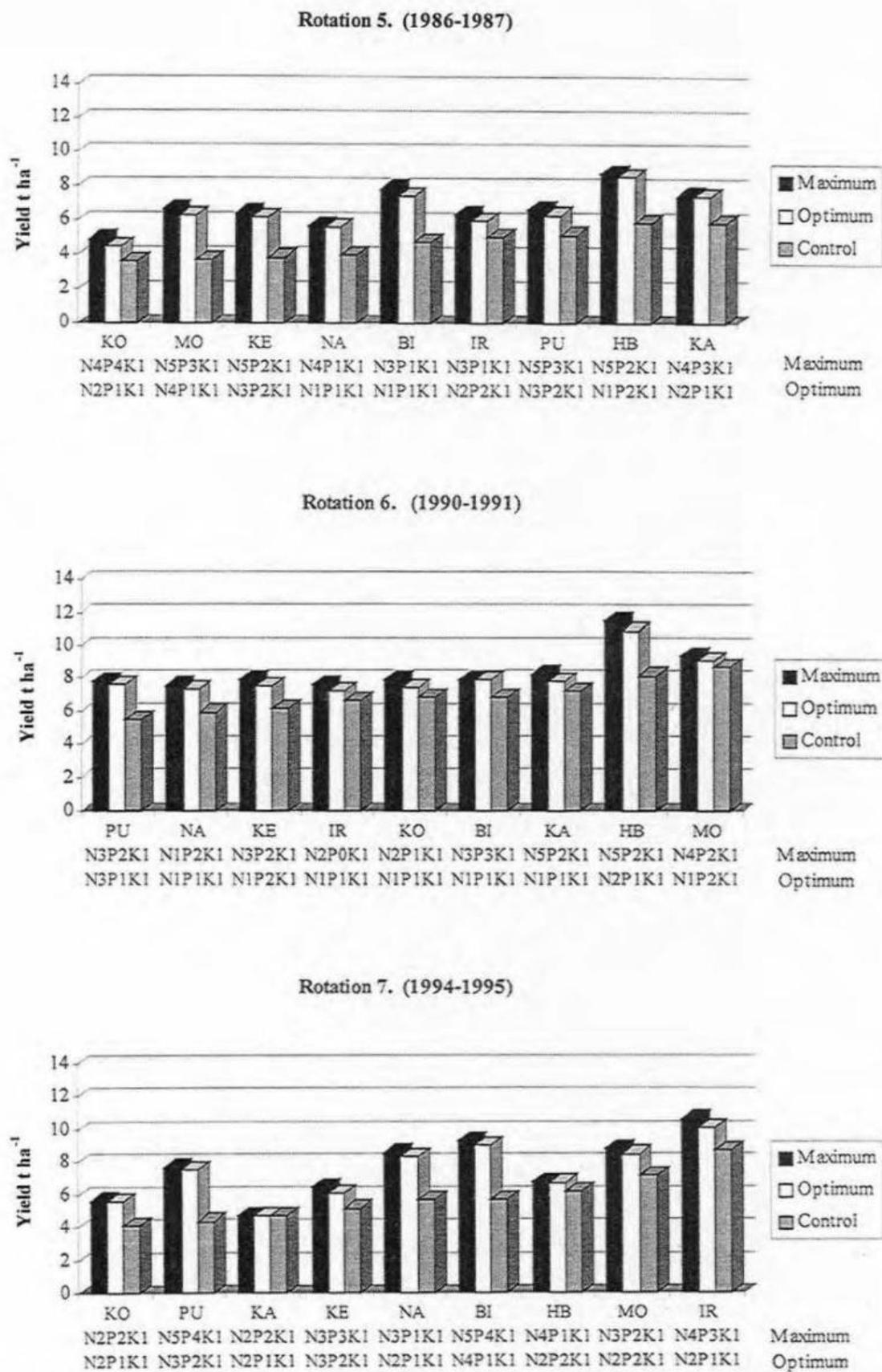


Figure 3. Effect of NP-fertilization on maize yields the means of the 2-7 rotations at 9 experimental sites

Nutrient intake in long - term fertilizer trials on different sites

J. Baier, V. Baierová

Research Institute of Crop Production,
CZ-161 06 Praha 6- Ruzyně, Drnovská 507, Czech Republic
e-mail: baier@hb.vurv.cz

The long-term stationary nutrition trials (abbreviated as VOP) were started in 1957 on five standpoints: Pohořelice near Brno, Ivanovice in Haná, Čáslav and Lukavec in the Czech Republic and Víglaš-Pstruša in the Slovak Republic. These long-term stationary trials were established according to the same methodology (BAIER et al., 1998).

Methods and Material

In total, there are 20 experiments, and four trials on each standpoint with four different crops, rotated in the same manner. Basic standpoint and climatic conditions of the VOP experiments are listed in Table 1 and 2.

Table 1: *Production and soil conditions on the VOP standpoints*

Standpoint		Production region	Altitude (m)	Soil type Soil kind
Po	Pohořelice near Brno (South Moravia)	maize	180	Chernozem (degraded) Earthy soil
Iv	Ivanovice in Haná (Central Moravia)	beet	225	chernozem (degraded) earth soil on loess
Čá	Čáslav (Central Bohemia)	beet	263	chernozem (strongly degraded) earthy soil
Ví	Víglaš near Zvolen (Central Slovakia)	potato	345	brown soil, illimerized, glei, clay-earth soil
Lu	Lukavec near Pacov (Southeast Bohemia)	potato	620	brown soil sand-earth soil

Table 2: *Climatic conditions on VOP standpoints*

Standpoint		average sum of an. precipitation	average annual temperature (°C)	Climatic region	Topsoil depth
Po	Pohořelice	502	9.0	VT A ₂ very warm, dry	0.35 – 0.45
Iv	Ivanovice	556	8.4	T ₂ A ₃ warm, moderate dry	0.40 – 0.50
Čá	Čáslav	590	8.1	T ₃ B ₂ warm, moderate wet	0.40 – 0.50
Ví	Víglaš	669	7.7	MT ₂ B ₄ moderate warm; wet	0.35 – 0.40
Lu	Lukavec	686	6,8	MT ₄ B ₅ moderate warm, wet, highland	0.15 – 0.20

Each experiment has its unified schema of 12 different fertilizer variations repeated four times (a, b, c, and d). Size of fertilized plot is 8 m x 8 m = 64 m², or 9 m x 9 m = 81 m², harvested plot is 25 m².

The fertilizer variants are unified and permanently fixed in all 20 trials. Crop rotation in each experiment is fertilized ones in four years using the farm manure dose of 40 t.ha⁻¹ and limed using the dose of 2,0 t.ha⁻¹ of ground lime.

Plant nutritional status is monitored yearly in all crops employing plant inorganic analyses from three to four times during vegetation and the nutrient dynamics in soil is followed using the soil analyses.

Results

The nutrient intake is strongly influenced not only by the crop species but also by the site, year, fertilizing and even by other endo - and exogenous factors.

By *winter wheat* for nitrogen a higher positive effect of soil fertility can be observed; the intake was the highest on more fertile soils (Ivanovice, Čáslav), lower on less fertile soils (Víglaš and Lukavec). See Table 3.

Table 3 - Intake of N and P nutrients by winter wheat till harvest at the sites (in kg.ha⁻¹)

Site	Pohořelice	Ivanovice	Čáslav	Víglaš	Lukavec
N intake	106,6	110,6	116,1	83,5	81,8
P intake	16,8	23,1	21,2	16,6	17,7

For nitrogen and phosphorus, there is rather identical tendency in intake. The highest intake is typical for winter wheat in Ivanovice and in Čáslav, i.e. on the most fertile soils, and the lowest in Víglaš and Lukavec, i.e. on less fertile soils. The drier region (Pohořelice) is typical with its low intake particularly of phosphorus.

A different situation can be seen as far as the cation intake is concerned. These are bound more firmly not only to the content of available forms but also on the fixation capacity (See Table 4).

Table 4 - Nutrient intake (K, Ca and Mg) at various sites (in kg.ha⁻¹)

Site	Pohořelice	Ivanovice	Čáslav	Víglaš	Lukavec
K intake	38,7	77,9	41,5	39,0	50,4
Ca intake	16,6	24,1	15,8	8,6	11,3
Mg intake	8,4	11,3	8,7	6,5	7,6

Potassium intake is strongly dependent particularly on fixation capacity of soils that is strong in Čáslav and in Víglaš.

The content of calcium in soils influences the Ca-intake or its effect on the soil reaction, i.e. slightly alkaline in Ivanovice and more acidic in Víglaš.

The magnesium intake shows a similar trend as the calcium intake as shown in Figure 1.

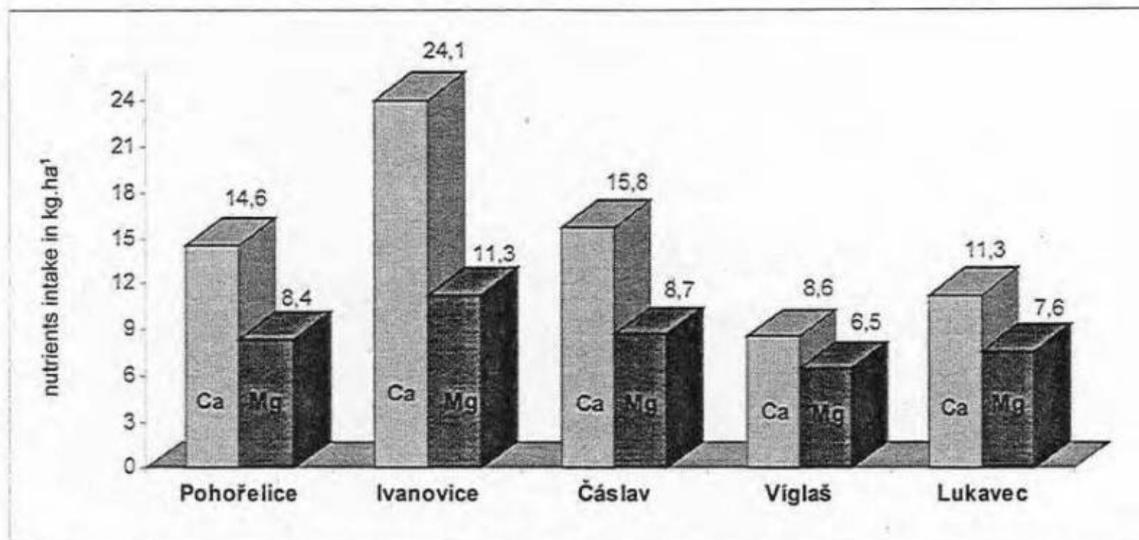


Figure 1 - Comparison of magnesium intake by winter wheat (in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) - 1995-1998

By *spring barley* the group of sites on chernozem soils (Pohořelice, Ivanovice, Čáslav) significantly differs from the group on less fertile soils (Vígláš and Lukavec) due to its higher intake of N and P (See Table 5)-

Table 5 - Intake of N and P nutrients by spring barley into its harvests at various sites

Site	Pohořelice	Ivanovice	Čáslav	Vígláš	Lukavec
N intake	133,6	144,5	126,6	88,3	69,7
P intake	22,6	28,3	21,8	18,7	17,4
Relation (N=100)	16,9	19,6	17,2	21,1	25,0

Cation intake (K, Ca, Mg) reflects slightly different site agents compared to N and P (See Table 6).

Table 6 - Intake of K, Ca and Mg nutrients by spring barley into its harvests at various sites (in $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Site	Pohořelice	Ivanovice	Čáslav	Vígláš	Lukavec
K intake	88,8	106,8	53,4	64,3	48,2
Ca intake	22,8	30,7	22,4	14,9	12,5
Mg intake	10,3	18,2	8,3	8,2	6,6

Intake of cations is influenced by physical and chemical properties of soil (particularly by soil fixation capacity) compared to the intake of N and P. It means that soil fertility determined by soil genetic type or humus and available nutrient contents in soil is not so dominating as for N and P. This is obvious from potassium intake from chernozem soil in Čáslav that is typical with its strong potassium fixation.

While in Pohořelice and Ivanovice the K intake varied from 88.8 to 106.8 kg.ha⁻¹, in Čáslav it was only about 1/2, i.e., 53.4 kg.ha⁻¹. The calcium intake was significantly lower on soils with higher need for liming (Víglaš 2,7 and Lukavec 4,2 kg.ha⁻¹).

Mg intake till harvest rather corresponds to the Ca intake; however, it is by an order lower, roughly by 1/2.

Discussion

According to the results that confirm knowledge gathered by foreign authors from long-term stationary trials - LEIGH and JONNSTON (1994), MENGEL and KIRKBY (1987), COOK (1982) FINCK (1992) – it was possible to confirm the fact that there is a significant influence of the site not only on yields but also on the nutrient intake.

It has been shown that the long-term influence of an element at one site does not always cause any cumulating of its effect since the effect of the interactions among the nutrients and the dominance is modified under the unilateral and repeated action.

Yet due to this reason, it is necessary to agree with the authors that require not only to follow yield and soil fertility in long-term experiments but also performing detailed monitoring of the nutrient intake. This must be based on actual volumes of absorbed and taken off nutrients. Routinely used balance method based on the average takeoffs are not sufficient. Under permanently applied system of these stationary field experiments, the nutrient takeoff per a unit of yield is changed during time, due to various varieties, fertilising technology and even due to changes of soil fertility.

The results from the presented long-term trials confirm that the Liebig's requirements to return to soil what was extracted from it in the form of harvest is only partially in the cases when the system of fertilizing does not consider the function of plant biologically balanced requirement for nutrients (LIEBIG 1840). Nevertheless, the fertilizing balance systems serve only as a basis for the dynamic models of the plant nutrition optimising by fertiliser measures.

Summary

The facts concerning the nutrient intake are very precious knowledge. These facts have not been examined yet during the long-term trials. This is also valid for the main nutrients that are influenced by various volumes of nutrients due to high intensity of yields, is losing its expressibility that was here under lower intensity of production.

While a certain relation between yields and the nutrient intake is found for nitrogen and phosphorus, it does not often relate to the cations.

The site effect, particularly its climatic conditions, on the nutrient intake is often more obvious compared to the fertilizing effect.

Literature

- BAIER, J., et al.: 40 Years of Long-term Plant Nutrition Trials (VOP). RICP Prague, 1998, 68 p.
- COOKE, G. W.: Fertilizing for Maximum Yield. Granada, London, Toronto, Sydney, New York, 1982, 465 p.
- FINCK, A.: Dünger und Düngung. VCH Verlagsgesellschaft Weinheim, 1992, 488 p.
- FOLLETT, R. H., et al.: Fertilizers and Soil Amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1981, 557 p.
- LEIGH, R. A. and JONNSTON, A. E.: Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Science. CAB International 1994, 428 p.
- LIEBIG, J.: Die organische chemie und ihre Anwendung in der Landwirtschaft und Fysiologie. Verlag Vichweg Braunschweig, 1840, 167 p.
- MENGEL, K. and KIRKBY, E. A.: Principles of Plant Nutrition. IPI, Bern/Switzerland, 1987, 687 p.

Langfristige Auswirkungen unterschiedlicher Kali-Versorgung in einem K-Dauerdüngungsversuch bei ständiger Anpassung an die standortspezifische Intensität

Orlovius, K.

Kali und Salz GmbH, Friedrich-Ebert-Str. 160, D-34119 Kassel

In einem nunmehr 21-jährigen K-Steigerungsversuch werden die Auswirkungen einer langfristigen unterschiedlichen Kalidüngung auf Ertragsniveau und Ertragsentwicklung sowie Bodenparameter untersucht. Die mineralische und organische Kalidüngung mit den Varianten 0 – 100 – 200 – 300 kg K₂O/ha/Jahr wird jeweils ohne und mit 300 dt/ha Stallmist im Herbst vor den Zuckerrüben über 21 Jahre ebenso konstant gehalten wie die Einhaltung der Fruchtfolge Weizen-Gerste-Zuckerrübe. Die Ernterückstände wurden jährlich von der Versuchsfläche entfernt. Der Versuch liegt auf einer tiefgründigen Löß-Parabraunerde in der Nähe von Kassel (647 mm Niederschlag und 8,7 °C) mit 26 mg K₂O/100 g CAL vor Versuchsbeginn auf einer Praxisfläche eines landwirtschaftlichen Betriebes, so daß im Gegensatz zur konstanten Versuchsdüngung eine ständige Anpassung der übrigen Produktionstechnik (N-Düngung, Pflanzenschutz, Landtechnik, Sorten etc.) an neue Erkenntnisse erfolgte.

Tab. 1: N-Düngung in der ersten (1978-1983) und letzten (1993-1998) Phase des K-Düngungsversuches Niestetal

kg N/ha	ZR	WW	WG	Ø
1978-1983	244	110	145	166
1993-1998	115	170	160	148

So änderten sich z. B. mehrfach die Sorten aller 3 geprüften Kulturarten im Laufe des Versuches. Die Schwerpunkte der N-Düngung verschoben sich von der Zuckerrübe zu den Getreidearten (s. Tab. 1) mit gleichzeitigem wirkungsvolleren Einsatz von Fungiziden im Getreidebau. Der pH-Wert wurde durch mehrere Kalkungsmaßnahmen auf das gewünschte Niveau von 5,1 auf etwa 6,5 angehoben.

Die stetig verbesserte Produktionstechnik führte im Laufe der Versuchsdauer zu einem steigenden Ertragsniveau aller drei geprüften Kulturarten. Der Ertragsanstieg während der 21 Versuchsjahre fällt allerdings je nach Kultur und je nach K-Versorgung sehr unterschiedlich aus. Auffällig ist das

stark steigende Ertragsniveau von Winterweizen. Selbst auf der K-0-Variante mit ständig sinkendem K-Vorrat im Boden nimmt der Kornertrag um 7,8 dt/ha je Weizenjahr auf beinahe 100 dt/ha zu (Abb. 1). Dieses sehr hohe Ertragsniveau besagt jedoch nichts über den Ernährungsstatus der Pflanzen. Aus der Ertragsreaktion durch die K-Düngung wird deutlich, daß die K-Versorgung auf der K-0-Variante nicht ausreichend war (bei K-Gehalten in der Pflanze von 2,6 – 3,1 % K). Durch die K-Düngung wurden Mehrerträge von durchschnittlich 9 dt/ha, in Einzeljahren (mit längeren Trockenperioden, z. B. 1990) bis zu 29 dt/ha erzielt. Mit zunehmender Versuchsdauer vergrößerten sich durch sinkende K-Gehalte im Boden und gleichzeitigem Anstieg des Ertragsniveaus die Ertragsverluste durch nicht ausreichende K-Versorgung.

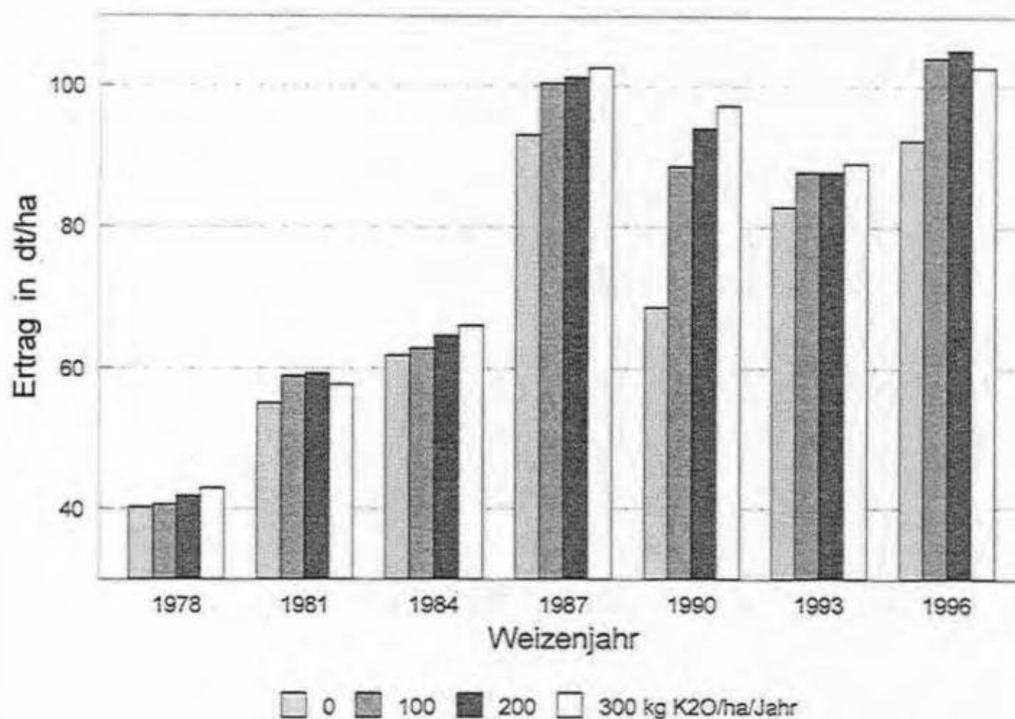


Abb. 1: Entwicklung von Winterweizen in dem K-Düngungsversuch Niestetal von 1978 bis 1996 (ohne Stallmist)

Auch die Zuckerrüben zeigten bedingt durch den technischen Fortschritt einen steigenden Anstieg des Zuckerertrages im Laufe der Versuchsdauer. Allerdings ergaben sich im Vergleich zu Weizen größere Unterschiede zwischen den K-Dünger-Varianten. Während das Ertragsniveau von Weizen auch bei unterlassener K-Düngung stetig ansteigt, ergab sich bei Zuckerrüben ein fallender Trend der Zuckererträge (Abb. 2). Der allgemeine technische Fortschritt mit stetig steigendem Ertragsniveau konnte nur bei ausreichender K-Versorgung genutzt werden. Mit zunehmendem Ertragsniveau wurde der Ertragsanstieg durch die Kali-Düngung größer.

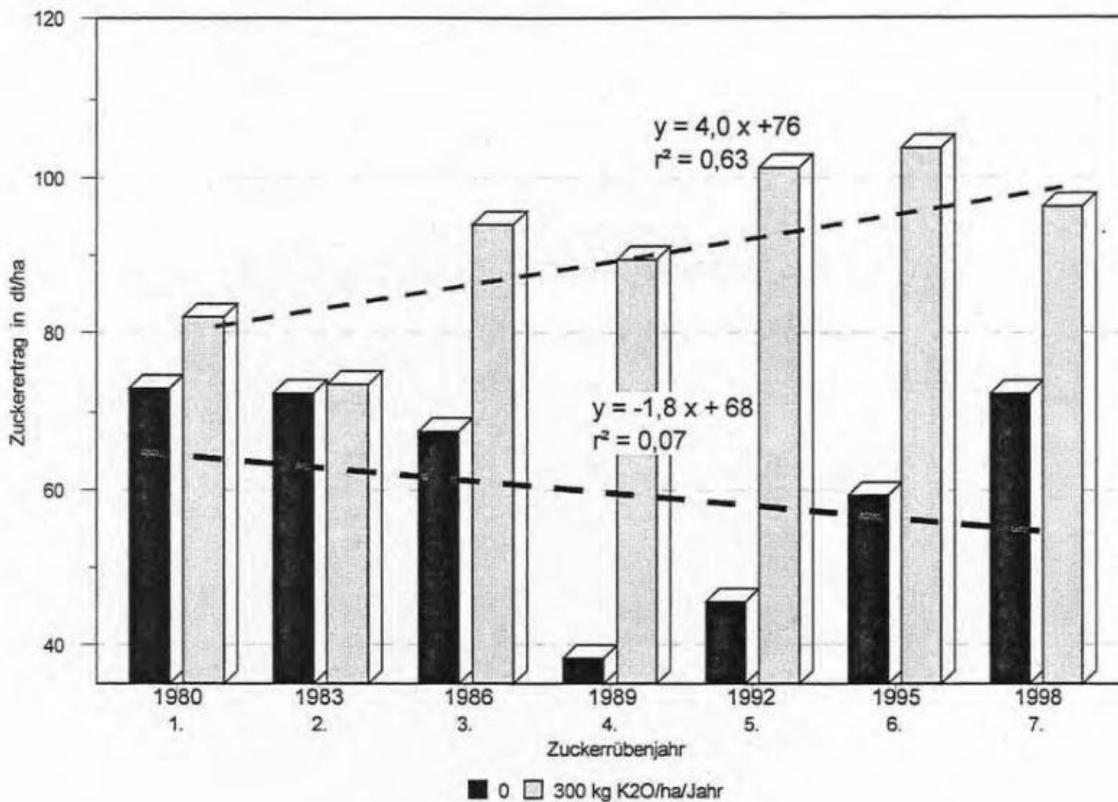


Abb. 2: Entwicklung von Zuckerrüben in dem K-Düngungsversuch Niestetal von 1978 bis 1998 (ohne Stallmist)

Die Stallmistdüngung in Höhe von 30 t/ha im Herbst vor den Zuckerrüben bewirkte einen Anstieg im Ertragsniveau aller K-Düngungsstufen. Aufgrund der relativ hohen K-Gabe mit wirtschaftseigenem Dünger (ca. 240 kg K₂O/ha) war der Stallmist-Effekt auf der K-0-Variante mit durchschnittlich + 21,6 dt/ha Zucker deutlich größer als auf der höchst gedüngten Variante mit + 6,3 dt/ha Zucker. Die Ertragsentwicklung im Laufe der Versuchsdauer lag jedoch in gleicher Größenordnung wie auf der K-300-Variante ohne Stallmistdüngung.

Die K-Gehalte im Boden der K-0-Variante fielen von 26 mg K₂O/100 g Boden (CAL) vor Versuchsanlage innerhalb von 10 Jahren auf 8 - 10 mg K₂O/100 g Boden relativ schnell. Das weitere Absinken erfolgte langsamer, auch nach 21-jähriger Versuchsdauer wurden 5 mg K₂O/100 g bisher nie unterschritten. Mit der Stallmistgabe (entsprechend 80 kg K₂O/ha/Jahr), jedoch ohne weitere mineralische K-Düngung, stellte sich ein K-Vorrat im Boden von etwa 10 mg K₂O/100 g ein. Bei ausgeglichener K-Bilanz sank der anfängliche K-Gehalt im Boden um etwa 6 mg K₂O/100 g ab (Abb. 3). Um den Startwert zu erhalten, war eine K-Düngung von etwa 30 - 50 kg K₂O/ha/Jahr über den K-Entzug hinaus erforderlich. Eine solche Düngung war auch ökonomisch sinnvoll, ein Absinken unter 20 mg K₂O/100 g (CAL) führte zu deutlichen Ertrags- und Erlösminderungen.

Die beträchtliche Kalium-Nachlieferung auf diesem Lößboden mit 192 kg K₂O/ha/Jahr im Durchschnitt der Versuchsdauer auf der K-0-Variante führte zu erheblichen Konsequenzen für die Bodenfruchtbarkeit. Mit zunehmender K-Nachlieferung erschöpften sich die austauschbaren Bodenvorräte an Kalium. Dies hatte im Laufe der Versuchsdauer ständig größer werdende Ertragsverluste bei unterlassener K-Düngung zur Folge. Auch die Effizienz der K-Düngung erhöhte sich von 3 kg Zucker/kg K₂O zu Versuchsbeginn auf 30 kg Zucker/kg K₂O nach 21-jähriger Versuchsdauer.

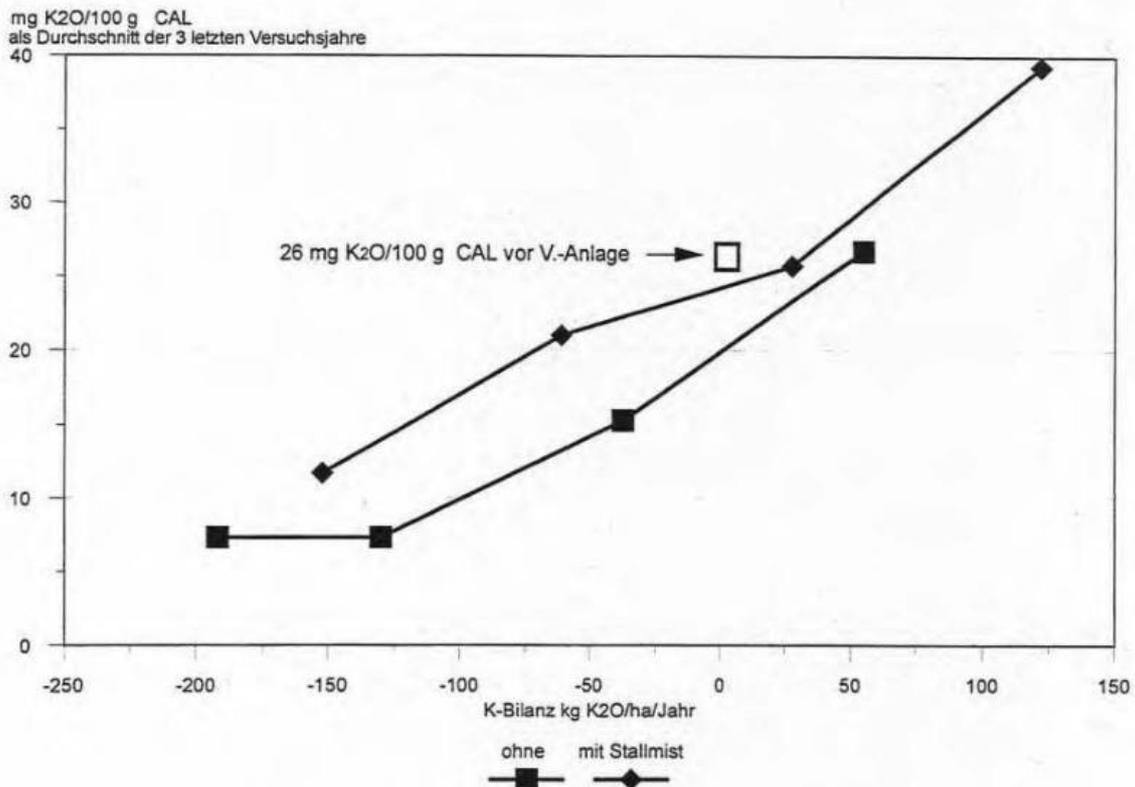


Abb. 3: Einfluß unterschiedlicher Kali-Bilanz auf den K-Vorrat im Boden nach 21-jähriger Versuchsdauer im K-Versuch Niestetal (1978 – 1998)

Daraus wird deutlich, daß die K-Nachlieferung auf diesem Standort nicht langfristig ausgenutzt werden kann, ohne die Ertragsfähigkeit insbesondere von Zuckerrüben zu gefährden. Um einen solchen Standort nachhaltig zu bewirtschaften, muß die K-Düngung so hoch angesetzt werden, daß die K-Nachlieferung aus den Zwischenschichten der Tonminerale auf null zurückgeht. Ein Absinken der austauschbaren K-Vorräte im Boden unter den Startwert führte auf diesem Standort zu erheblichen Einbußen von Ertrag und Erlösen.

Sustainable soil fertility and adsorption/desorption of nutrient and non-nutrient cations in relation to soil organic matter

Poonia, S. R.

College of Agriculture
CCS Haryana Agriculture University
Hisar – 125 004 (India)

In India, the magnitude of the problem regarding very large human (≈ 980 million in 1998) and animal population (≈ 450 million in 1992), poverty and uneconomical size of farming units necessitates most judicious and sustainable management of its limited soil resources. At present, the annual increase in human population in this country in absolute terms, is more than any other country of the world. Out of the total geographical area of 328.7 m ha, about 140 m ha is arable and 175 mha is affected by problems of soil erosion by water, wind and various other types of soil degradation such as salinity, alkalinity, acidity, ravine and gullies, etc. The estimated area of the broad groups of soils in India is given below:

- i). Alluvium derived soils (Cambusols): Inland alluvial 63.1 million ha; Deltaic alluvial 86.8 million ha; Coastal alluvial 4.4 million ha
- ii). Black soils (Vertisols): 73.2 million ha
- iii). Red, yellow and laterite (Lixasols and Nitisols) 6.8 million ha
- iv). Soils of the desert region (Arenosols) : 30.0 million ha
- v). Soils of Himalayan region (Leplosols) : 28.7 million ha.

The main limiting factor in most of Indian soils is the nutrient deficiency, low input of fertilizer and manures, imbalanced use of fertilizers, lack of consideration for the nutrient removal and loss in various forms, low efficiency of applied nutrients, leaching losses and environmental hazards such as pollution of ground water, etc. This paper briefly describes the role of organic matter in sustainable soil fertility and adsorption/desorption of nutrient and non-nutrient cations in soils.

The productivity of a land is related to the quantity of fertilizer used. At all India level the fertilizer (N, P_2O_5 , and K_2O) consumption is still ≈ 85 kg/ha which is very low as compared other countries. It is highest in the Netherlands (>500 kg/ha) and lowest in Australia (<40 kg/ha). Even in China, it is more than 260 kg/ha. The total consumption of chemical fertilizers (N, P_2O_5 , and K_2O) in India during 1996-97 was only 14.3 mt as against 36 mt in China though the cropped area in India was about one and a half times that of China. The fertilizer consumption in Haryana is ≈ 140 kg ha⁻¹ as against ≈ 170 kg ha⁻¹ in Punjab. In view of low consumption of fertilizers per unit arable land in this country the overall productivity is low (Table 1). To meet the increasing food needs of this country, it is thus essential to increase soil productivity through increased nutrient consumption.

Application of organic manures and biofertilizers is known to reduce the need for application of chemicals supplying specific micronutrients. This practice also minimizes the risk of inducing

deficiencies of many other micronutrients. Techniques are need to be developed to mobilize the turnover of nutrients locked up in soil resources and to recycle them. The nutrient potential of all sources of organic manures in this country, if recycled through agriculture, is ≈ 18.5 mt of N, P_2O_5 and K_2O (table 2). A major portion of the cattle dung and crop residues, however, is being used as fuel and cattle feed, respectively. In Haryana state, about 10 m t of dry cattle dung is produced annually. Half of it is being used for fuel purposes and rest half is used for field application. Balanced integrated nutrient management for different agro-ecological systems is needed because the current imbalanced fertilizer use practices are bound to result into nonsustainable agriculture.

Table 1. Area (m ha), production (mt) and productivity (kg/ha) of some crops in various countries (Fertilizer Statistics 1997-98, FAI, New Delhi)

Country		Paddy	Wheat	Maize
India	Area	42.2	26.0	6.2
	Production	123.0	69.0	9.8
	Productivity	2915	2654	1594
China	Area	31.4	30.0	23.5
	Production	198.5	122.6	105.4
	Productivity	6331	4087	4481
USA	Area	1.23	25.7	29.8
	Production	8.12	68.8	237.9
	Productivity	6609	2673	7974

Table 2. Nutrient potential of biological and industrial wastes in India (Meelu *et al.* 1997)

Type of waste	Quantity (mt)	Total nutrients (,000 t/yr)			
		N	P_2O_5	K_2O	Total
Cattle dung	279.8	2813.3	1990.7	2069.3	6882.3
Crop residue	273.3	1283.1	1956.6	3903.9	7152.6
Forest litter	18.7	99.7	37.4	99.7	236.8
Rural compost	285.0	1431.2	861.5	1422.7	3715.4
City refuse	14.0	98.0	84.0	112.0	294.0
Press mud	3.2	33.3	79.4	55.4	168.1
Sewage sludge	0.5	5.1	2.9	2.8	10.8

Long term organic manurial trials at Hisar showed that continuous application of FYM @ ≈ 15 t ha⁻¹ for 20 years (Table 3) can help meet the P and K requirements of crops besides supplying some micronutrients (Gupta *et al.* 1992). However, even higher levels of FYM fail to build up adequate level of available N in soil because of very high temperature in summer.

Table 3. Effect of FYM and N application for 20 years to pearl millet -wheat crops on organic carbon (OC) and available N, P and K (Gupta *et al.* 1992)

FYM Mt ha ⁻¹ yr ⁻¹	Depth cm	OC (g kg ⁻¹ soil)		Av. N (mg kg ⁻¹)		Av. P (mg kg ⁻¹)		Av. K (mg kg ⁻¹)	
		0	120 kg N	0	120kg N	0	120 kg N	0	120kg N
0	0-15	2.1	2.8	52	72	6.9	5.8	196	214
	30-45	1.5	1.9	39	53	6.6	6.2	86	143
15	0-15	4.2	6.8	58	85	20.5	19.8	395	446
	30-45	1.8	2.1	53	63	10.8	14.4	168	188
30	0-15	7.1	7.4	64	94	28.9	27.7	463	480
	30-45	1.9	2.2	54	69	17.0	17.4	230	256
45	0-15	7.0	8.2	67	104	30.5	32.4	491	525
	30-45	2.1	2.3	50	73	18.2	19.0	263	280

Crop residues management should be made as an integral part of soil fertility management. However, under Indian situation only small amount of crop residue is left for recycling after meeting the feed needs of cattle. In some states like Punjab and Haryana where more mechanization has come, the crop residue management is an important problem. Technologies need to be developed for the safe and supportive use of city sewage and industrial effluents for sustainable agriculture. Their indiscriminate use may create problems of toxicity to plant and pollution of soil and ground waters.

Continuous use of chemical fertilizers alone can not ensure sustainable agricultural production. To maintain/increase the productivity of rice-wheat system, more of the fertilizers and manures have to be applied. Organic manures control the dynamics of nutrient availability and also help improve the soil physical conditions. Apart from the cattle dung, the other organic materials like crop residues with very low economic value, city refuse, sewage sludge, wastes from agro-based industries etc. can also be used as organic manures. From all sources of organic manures in this country, a total of ≈ 18.5 mt of N, P₂O₅ and K₂O can be recycled through agriculture. A major portion of the cattle dung and crop residues, however, is being used as fuel and cattle feed, respectively. Fertilizer use efficiency research, emphasising integrated nutrient management (i.e., chemical, organic and biofertilizers), alternate inorganic nutrient sources, minimization of nutrient losses and crop-need based fertilizer formulations would be essential for sustainably increasing food production.

It has been hypothesized that increase of organic matter in soil increases both the SCD of soil and internal:external exchange sites. The former results in the higher selectivity of divalent to monovalent cation whereas the latter reverse of it.

The organic matter content in soil affects K-specificity through an increase in the surface charge

density of soil (a decrease in K-specificity) and an increase in the size of clay tectoids (an increase in K-specificity of soil through geometric effects); the net effect being the resultant of these two opposing phenomena. In general, soils with <25% of their CEC through organic matter exhibited net positive and those with >25% net negative effect (Table 4).

Table 4. K-Ca exchange in some soils from temperate region (Germany) as affected by organic matter (Poonia and Niederbudde, 1990)

Treatment	pH	CEC	KFC	OC	Clay	SA (m ² /g)	K _G (mol/L) ^{1/2}	ΔG _r ⁰ (kJ/mol)
		(cmol(+)/kg)			(%)			
Anglberg surface soil (Typic Humaquept; Sm. 53%*, Ver. 19%)								
Nil	7.1	47.6	6.91	5.10	45	169	22.6(0.5)	-4.98
H ₂ O ₂	-	31.3	5.57	1.04	-	159	9.0(0.6)	-6.96
Anglberg sub-surface soil (Typic Humaquept; Sm. 71%, Ver. 12%)								
Nil	7.2	51.9	11.52	3.27	47	199	2172(0.9)	-0.69
H ₂ O ₂	-	38.5	9.21	0.95	-	186	25.0(1.0)	-9.96
Ottenhofen unlimed surface soil (Typic Agriaquoll; Sm. 45%, Ill. 28%)								
Nil	7.4	22.3	2.04	2.78	27	109	12.1(0.8)	-5.00
H ₂ O ₂	-	15.5	2.78	0.40	-	91	23.4(1.3)	-7.18
Ottenhofen limed surface soil (Typic Agriaquoll)								
Nil	5.7	22.8	0.92	0.92	27	127	10.0(0.7)	-1.35
H ₂ O ₂	-	14.2	0.98	0.98	-	103	18.2(1.1)	-5.58
Buchhofen surface soil (Typic Hapludalf; Ill. 80%, Kaol. 8%)								
Nil	7.3	24.5	nil	2.93	23	73	7.8(0.8)	7.97
H ₂ O ₂	-	12.1	nil	0.39	-	76	16.4(1.5)	-1.20

Values in () are the minimum experimental EPPs; Sm. - smectite, Ver. - vermiculite, Ill. - illite, Kaol. - kaolinite;
* - per cent of clay fraction.

The experimental results on heavy metal sorption (Table 5) suggest that organic matter influences the sorption of heavy metals in three ways, i.e., (i) adsorption (complexation) of metal on (with) the surfaces of solid matrix of organic matter, (ii) precipitation/dissolution of hydroxides of metals with the change in soil pH on organic matter treatment, and (iii) formation of soluble organo-metal-complexes in soils. The first phenomenon results in the loss of metal from soil solution and thus increase in sorption of metal. The second phenomenon increases or decreases the sorption of metal depending up on the change in soil pH on organic matter addition. The third phenomenon, though results in an increase in the amount of organically complexed metal, it results in a decrease in the apparent adsorption of metal because the complexed metal remains in water soluble form.

Table 5. Effect of FYM on the thermodynamic exchange constant (K) and ΔGr^0 in different soils (Deka and Poonia, 1996a,b; 1997; Deka *et al.* 1997)

Soil Code	K				ΔGr^0 (kJ/mol)			
	Cu-Ca	Zn-Ca	Co-Ca	Cd-Ca	Cu-Ca	Zn-Ca	Co-Ca	Cd-Ca
HH-0 (8.1)*	112.0	21.99	4.15	4.76	-11.69	-7.66	-3.52	-3.86
HH-1 (7.8)	40.7	9.05	2.60	3.36	-9.18	-5.40	-2.36	-3.00
HH-2 (7.5)	21.5	6.10	2.12	3.32	-7.61	-4.48	-1.86	-2.97
AK-0 (6.0)	7.6	0.58	0.35	0.12	-5.69	1.36	2.60	5.22
AK-1 (6.7)	11.3	1.27	0.60	0.43	-6.02	-0.60	1.25	2.09
AK-2 (6.8)	17.2	2.22	1.27	0.50	-7.05	-1.98	0.60	1.71
AB-0 (5.6)	2.4	0.13	0.09	0.10	-2.14	5.08	5.91	5.78
AB-1 (6.0)	6.8	0.30	0.20	0.21	-4.76	2.97	3.99	3.90
AB-2 (6.5)	11.3	0.44	0.37	0.38	-6.00	2.04	2.45	2.42

*Figures in () indicate initial soil pH

References

- Deka, A.K. and Poonia, S.R. (1996a). *J Indian Soc. Soil Sci.* 44: 662.
- Deka, A.K. and Poonia, S.R. (1996b). *J Indian Soc. Soil Sci.* 44: 667.
- Deka, A.K. and Poonia, S.R. (1997). *J Indian Soc. Soil Sci.* 45: 62.
- Deka, A.K., Poonia, S.R., Siyag, R.S. and Sharma, M.K. (1997). *J Indian Soc. Soil Sci.* 45: 490.
- Gupta, A.P., Narwal, R.R., Antil, R.S. and Dev, S. (1992) *Arid Soil Res. Habilt.* 6:243-251.
- Meelu, O.P., Singh, Y., Gupta, A.P. and Tiwari, R.C. (1997). *Indian Soc. Soil Sci. Bull.* 18 p39.
- Poonia, S.R. and Niederbudde, E.A. (1990). *Geoderma* 47: 233.

Effect of 25 years' fertilizer use on maize – wheat yields and soil health in an acidic soil

Sharma, S. P. and Subehia, S. K.

Department of Soil Science, H. P. Krishivishvavidyalaya, Palampur (H. P.), 176 062 (India)

In a field experiment initiated in 1972 - 1973 (*rabi*) on an acidic soil (pH 5.8), continuous cropping for 25 years with N alone reduced the grain yields of maize and wheat crops to almost zero level. The application of 100 % NP reduced the grain yields of maize and wheat crops by 67 and 19 percent respectively during 1994 - 1998 compared to their yields during 1973 - 1977. Owing to high exchangeable K status, the crops did not respond to K application during the initial years of cropping, but its application did hold promise after 5 years of continuous cropping. The 25 years' pooled grain yields of about 46 and 33 q ha⁻¹ were recorded for maize and wheat crops, respectively with integrated use of chemical fertilizers and organics (100 % NPK + FYM). The corresponding yields with integrated use of chemical fertilizers and lime (100 % NPK + lime) were 40 and 31 q ha⁻¹, respectively. Use of nitrogenous fertilizer alone aggravated the problem of soil acidity by lowering the pH from 5.8 to 4.71 after 25 years. The organic carbon content increased in almost all the treatments except marginal decrease in 100 % N and control plots. The available N and K status decreased even under their optimum application rates. This calls for taking a fresh look at the application rates of N and K fertilizers. The available P was higher in all the P treated plots compared to its initial status. The build up to the extent of about 21 (50 % NPK) to 85 ppm (150 % NPK) in all the P treated plots calls for taking up further studies on ascertaining its sufficiency level and time to restore the original application rates. The contents of the DTPA extractable micronutrients were sufficiently high in all the treatments except control plots. The available sulphur decreased with the use of diammonium phosphate as the P source, decreasing drastically the yields of both the crops. The weed flora also changed in N alone treatment with the change in soil environment.

Phosphorus balances and P losses by preferential flow in the Broadbalk long-term experiment at Rothamsted

Heckrath, G.¹, Brookes, P.² and Blume, H.-P.³

¹Danish Institute of Agricultural Science, Research Centre Foulum, PO Box 50, DK-8830 Tjele

²IACR-Rothamsted, Department of Soil Science, UK-Harpenden, Herts, AL5 2JQ

³Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrecht Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, D-24098 Kiel

Introduction

Phosphorus accumulation in European soils is a common feature of intensive modern agriculture. The potential for P movement from agricultural soils to the aquatic environment has risen accordingly posing a threat to water quality. Until recently, the problem of P leaching from fine-textured soils was generally not considered an important environmental issue. However, preferential flow may allow rapid transport of water and colloidal material through the soil profile into subsurface drainage. Jenkinson (1991) has stressed the importance of long-term experiments for the study of slowly changing soil properties, e.g. accumulation processes. 'Only in long-term experiments can P balances be related to changes in total soil P, and even then it is difficult to assess the significance of the total P content of a soil unless it can be compared with that in an unfertilised soil' (Johnston and Poulton, 1993). After more than 150 years of growing wheat and maintaining essentially the same fertiliser regime, the Broadbalk experiment provides an unique opportunity to study the fate of fertiliser P in weakly alkaline soils. This paper presents a P mass balance and assesses the significance of P losses.

Materials and Methods

Details about the experimental site and the methods used are given elsewhere (Heckrath, 1998). At Broadbalk silty clay loam (Chromic Luvisol) overlies clay-with-flints. The experiment consists of 20 plots which have pipe drains installed along the middle of each plot a depth of c. 75 cm. For more than 150 years, plots had received either no phosphorus (NIL), P as superphosphate at a rate of 35 kg ha⁻¹ yr⁻¹ (5, 9, 14) or 17 ha⁻¹ yr⁻¹ (17), or P in farmyard manure (FYM) at 40 kg ha⁻¹ yr⁻¹.

Results and Discussion

Phosphorus accumulation in soils

Phosphorus mainly accumulated in the plough layer on Broadbalk below which it declined exponentially (Table 1). However, some movement of P in soil profiles on Broadbalk was evident as P-fertilised plots contained more total P (P_t) in most soil layers compared to the NIL plot.

There was only a clear trend for deeper P enrichment on the FYM plot. Higher P_o/P_t ratios in the 23 - 50 cm depth on the FYM plot compared to those receiving inorganic P indicated the importance of organic matter transport for P enrichment. Otherwise, no significant differences in the depth distribution of P_o were found between the unfertilised plot (NIL) and plots receiving the full rate of inorganic P fertiliser. Therefore, despite the length of continuous P fertilisation which is probably unique in the world, the effectiveness of P retention in the silty clay loam topsoils appeared to be in line with the prevalent view in the literature (e.g. Johnston and Poulton, 1993).

However, a P balance sheet for the previous one hundred wheat crops on Broadbalk revealed large discrepancies on P fertilised plots between the actual increase in soil P contents (0 - 69 cm) and the net-input of P (Table 2). The calculated apparent P losses ranged from 370 to 1300 kg P ha⁻¹. Even larger were the amounts of P unaccounted for in the plough layer alone. There, the apparent P losses ranged from 1200 to 1650 kg P ha⁻¹ (35 % to 53 % of total P inputs). These findings presented a sharp

contrast to the prevailing view in literature that net P inputs are balanced by P accumulation. Excluding soil erosion as potential cause for P loss, P leaching could have been more important than recognised. As a result of soil movement by tillage, the integrity of long-term field experiments was questioned in principle (Sibbesen, 1986). Accordingly, the export of P-rich soil material from the fertilised plot areas may be mistaken for P losses. It was previously not believed that significant soil movement had occurred on Broadbalk (Leigh *et al.*, 1994). Nevertheless, in view of the P mass balances, the extent of possible soil movement on Broadbalk deserves further investigations.

Table 1. Total P concentrations in soil layers from Broadbalk plots (Section 9), measured in 1993

layer	2.1		3	5		9		14	
	FYM,N2		NIL	PK		N4PK		N2PK	
cm	mg kg ⁻¹								
0-10	1011	89 [@]	536	1309	144	1073	100	1249	133
10-23	1052	96	536	1391	159	1073	100	1285	140
23-28	978	120	446	733	64	637	43	1060	138
28-33	769	115	358	517	45	393	10	726	103
33-40	546	52	359	485	35	364	1	609	70
40-50	422	21	349	483	38	361	3	586	68
50-75	334	-8	362	424	17	366	1	434	20
75-100	328	-18	399	396	-1	416	4	387	-3

[@] P_t difference from corresponding layer of Plot 3 as percentage of P_t of Plot 3. Negative values indicate lower P_t concentrations compared to the NIL plot.

Table 2. P balance and accumulation over 100 years in soil profiles (0 - 69 cm) on Broadbalk.

Plot	2.1	3	5	9 [#]	14
	FYM+N ₂	NIL	PK	N4PK	N2PK
	kg ha ⁻¹				
Balance [@]	2270	-345	2572	2715	2107
% P used by crop	39		17	33	32
P _t accumulation [§]	1361	-285	1238	871	1737
P unaccounted for [†]	909	-60	1335	1844	370
% P unaccounted for	24		43	46	12

[#] P balance since 1865 [@] Balance = Input - Offtake [§] Accumulation = Soil P_t (1993) - Soil P_t (1893)

[†] P unaccounted for = Balance - P_t accumulation; % P unaccounted for relates to total P inputs

Phosphorus losses in drainage water

A summary of P concentrations measured in Broadbalk drainage waters of 12 drainage events is given in Table 3. Soils with similar Olsen P concentrations had comparable average P concentrations in the drainage water. Total P concentrations above 1.0 mg l⁻¹ were measured on several plots at most dates. In general, molybdate reactive P (MRP) and total P (TP) values were very high on Broadbalk compared to data in literature.

Table 3. Arithmetic means of MRP and PP concentrations and their mean proportions in total P of drainage waters from Broadbalk plots of 12 drainage events.

Plot	Treatment	Olsen P [#]	pH [@]	MRP	PP	MRP	PP
		mg kg ⁻¹		mg l ⁻¹		percentage of total	
2.1	FYM N2	65	7.8	0.313	1.728	40	53
3	Nil	8	8.2	0.031	0.104	21	65
5	PK	100	8.1	0.735	0.352	72	27
9	N4PK	85	8.0	0.567	0.401	69	28
14	N2PK	119	7.5	1.141	0.570	71	26

[#] Olsen P in plough layer (0 - 23 cm) on Section 9 in 1992 [@] drainage

The average proportions of particulate P (PP) and MRP of the total P in drainage waters across all plots and drainage events were relatively similar (Table 3). However, over time PP was much more variable reaching occasionally 80 to 90 % of the total P. Highly significant linear relationships were observed between PP and the concentration of particulate matter (PM) in drainage waters. These relationships had significantly different slopes for plots receiving inorganic fertiliser (Heckrath, 1998).

Table 4. Mean total P concentrations in the PM of drainage waters and P_t concentrations measured in the < 2 mm and the clay fraction of the 10 - 23 cm layer of Broadbalk plots.

Treatment	Plot	PP	P _t (soil) [@]	P _t (clay) [§]
		mg kg ⁻¹		
NIL	3	2098	536	1371
FYM N2	2.1	2789	1052	2771
N3, 0.5[PK]	17	2659	972	2589
PK	5	3055	1391	3034
N4PK	9	3385	1073	2360
N2PK	14	3612	1285	3281

[@] total P whole soil (10 - 23 cm), [§] total P < 2 µm fraction (10 - 23 cm)

Total P concentrations in the PM remained essentially the same on a given plot throughout the drainage season implying constancy in the chemical and physical nature of the transported material over time. Overall, the P in drainage PM reflected the different degree of P accumulation in Broadbalk plough layer soils (Table 4). Total P in drainage PM and in the clay fractions of corresponding plough layer soils was about the same magnitude and closely correlated. These consistently high P contents in PM of drainage waters suggest that the material directly originated from the plough layer.

Marked spatial differences in the composition of soil solutions with respect to P were found. Phosphorus concentrations in soil solutions extracted from different plough layer soils corresponded well to those in drainage waters. In contrast, soil solution extracted by porous cups at 60 cm soil depth contained only very little P unrelated to the extent of enrichment in the plough layer (Table 5). Thus, porous cups failed to sample the mobile P-enriched solution phase in Broadbalk subsoils.

Table 5. MRP (mg l^{-1}) in drainage waters and in soil solutions extracted by centrifugation from the 0 - 15 cm layer and by porous cups[#] at 60 cm soil depth from Broadbalk plots.

Solution type	Broadbalk plot and treatment			
	2.1 FYM [65] [§]	3 NIL [8]	7 N2PK [105]	9 N4PK [85]
0-15 cm	0.867	0.050	0.833	0.611
60 cm [@]	0.005	0.004	0.041	0.019
drainage	0.329	0.011	1.232	0.848

[#] Prenart[®] Super Quartz porous cups [§] Olsen P in 0 - 23 cm layer [mg kg^{-1}]

The inorganic P leaving the plough layer of Broadbalk was prevented by some mechanism from re-sorption in the subsoil. Early observations from Broadbalk led to the conclusion that during rainfall a large part of the water moved through 'open channels' to the drains, limiting the interaction of this mobile phase with the bulk of the soil matrix (Lawes *et al.*, 1882). The compartmentation of soil solutions, the passage of P-rich solution through a highly sorptive subsoil and the comparatively high concentrations of particulate P in drainage waters provided, therefore, circumstantial evidence for the occurrence of preferential flow processes to deliver high P concentrations in drainage.

The present study suggests a far greater potential for a significant environmental impact of P in subsurface runoff from fine-textured agricultural soils than previously thought.

References

- Heckrath, G. 1998. Phosphorus accumulation and leaching in clay loam soils of the Broadbalk experiment. *Schriftenreihe Institut für Pflanzenernährung & Bodenkunde*, Nr. 42, Universität Kiel, p. 201.
- Jenkinson, D.S. 1991. The Rothamsted long-term experiments: Are they still of use? *Agronomy Journal*, **83**, 2-10.
- Johnston, A.E. & Poulton, P.R., 1993. The Role of Phosphorus in Crop Production and Soil Fertility: 150 Years of Field Experiments at Rothamsted, United Kingdom. *In: Phosphate Fertilizers and the Environment*. pp. 45-63. IFDC, Muscle Shoals, AL.
- Lawes, J.B., Gilbert, J.H. & Warrington, R. 1882. On the amount and composition of the rain and drainage-waters collected at Rothamsted. Part III. *Journal of the Royal Agricultural Society England*, **28**, 1-71.
- Leigh, R.A., Prew, R.D. & Johnston, A.E., 1994. The management of long-term agricultural field experiments: procedures and policies evolved from the Rothamsted Classical Experiments. *In: R.A. Leigh & A.E. Johnston (eds.) Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences*. pp. 253-285. CAB International, Wallingford.
- Sibbesen, E. 1986. Soil movement in long-term field experiments. *Plant and Soil*, **91**, 73-85.

Einfluß langjährig differenzierter K-Düngung auf K-Bindungsformen und K-Nachlieferung einer Parabraunerde aus Löß

Scherer, H. W.; Heiner E. Goldbach, H. E. und Clemens, J.

Agrikulturchemisches Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn,
Meckenheimer Allee 176, D-53115 Bonn

Besonders für schwerere Böden ist die Kenntnis des optimalen Bereichs an pflanzenverfügbarem K von Interesse. Zur Ableitung dieses Bereiches ausreichender K-Versorgung wurde im Jahr 1959 von Kick auf dem Versuchsfeld des Agrikulturchemischen Instituts der Universität Bonn ein Dauerversuch angelegt. Der Standort liegt 15 km südwestlich von Bonn in 170 m über NN. Beim Bodentyp handelt es sich um eine Parabraunerde aus tiefgründigem Löß mit einem Tongehalt von 12 % mit Illiten als vorherrschende Tonminerale. Nähere Angaben zu den Versuchsvarianten und erste Ergebnisse sind Kick und Poletschny (1974) zu entnehmen. Nach 27-jähriger Laufzeit erfolgte eine Veröffentlichung weiterer Ergebnisse aus diesem Versuch (Scherer und Werner 1992).

Im Jahr 1991 wurde der Versuch dergestalt modifiziert, daß jeweils in einer "niedrig" (\emptyset 150 kg $K_2O \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) oder "hoch" (\emptyset 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$) mit K versorgten Variante jegliche K-Düngung unterlassen wurde, um zu überprüfen, wie sich diese Maßnahme auf verschiedene K-Fractionen des Bodens sowie Erträge und K-Entzüge der angebauten Pflanzen auswirkt.

Im folgenden soll zunächst der Einfluß der seit 1991 differenzierten K-Düngung auf die Veränderung des **CAL-extrahierbaren Kaliums** dargestellt werden (Abb. 1). Grundsätzlich ist festzuhalten, daß sich die unterlassene K-Zufuhr erwartungsgemäß negativ auf diese K-Fraktion auswirkte. Sowohl in der ursprünglich mit 150 kg $K_2O \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ als auch in der mit 300 kg $K_2O \cdot ha^{-1} \cdot a^{-1}$ versorgten Variante zeichnete sich bereits zwei Jahre nach dem Unterlassen der K-Düngung eine Differenzierung im Gehalt an CAL-extrahierbaren K ab. Besonders in der früher hoch mit K versorgten Variante (K2 -) nahm diese K-Fraktion im Laufe der Zeit sehr stark ab und erreichte im Jahr 1998 annähernd den gleichen Gehalt wie die Variante mit niedriger und seit 1991 unterlassener K-Düngung (K1 -). In dieser Variante stellt sich im Jahr 1995 ein Gehalt von etwa 4 mg K/100 g Boden ein, der sich in den folgenden Jahren nur noch unwesentlich änderte. Er erreicht somit annähernd den K-Gehalt der Kontrolle (K0) mit rund 3 mg/100 g Boden.

Da das in der Bodenlösung vorliegende K unmittelbar für die K-Versorgung der Pflanzen von Bedeutung ist, wurde auch die Auswirkung der geänderten K-Düngung auf den K-Gehalt des **Sättigungsextraktes** überprüft. Selbst in der Variante K2 + lag der K-Gehalt im Sättigungsextrakt

sehr niedrig. Der Grund ist mit Sicherheit die Probenahme nach der Winterweizenernte, wenn die Bodenlösung weitgehend an K verarmt gewesen sein dürfte.

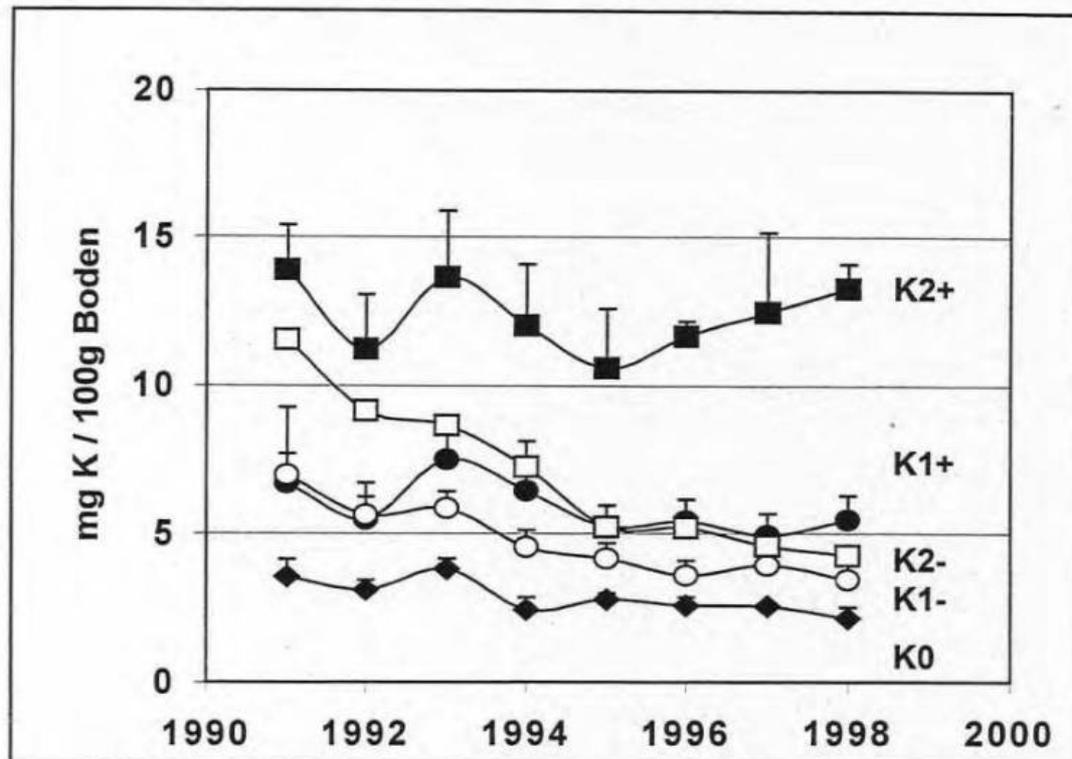


Abb. 1: Einfluß fortgesetzter bzw. unterlassener K-Düngung auf den Gehalt an CAL-extrahierbarem K (Balken = Standardabweichung; n = 4).

Trotzdem zeichnet sich ein drastischer Rückgang des K-Gehaltes im Sättigungsextrakt auf den seit 1991 nicht mehr mit K versorgten Parzellen auch nach ehemals hoher K-Zufuhr (K2 -) ab. Der Rückgang beträgt etwa 8 mg K/l gegenüber der Variante mit fortgesetzt hoher K-Versorgung (K2+). Die übrigen Varianten bewegen sich alle auf dem gleichen Niveau, und liegen nicht signifikant über der Konzentration der Kontrolle, die seit 1959 nicht mehr mit K gedüngt wurde.

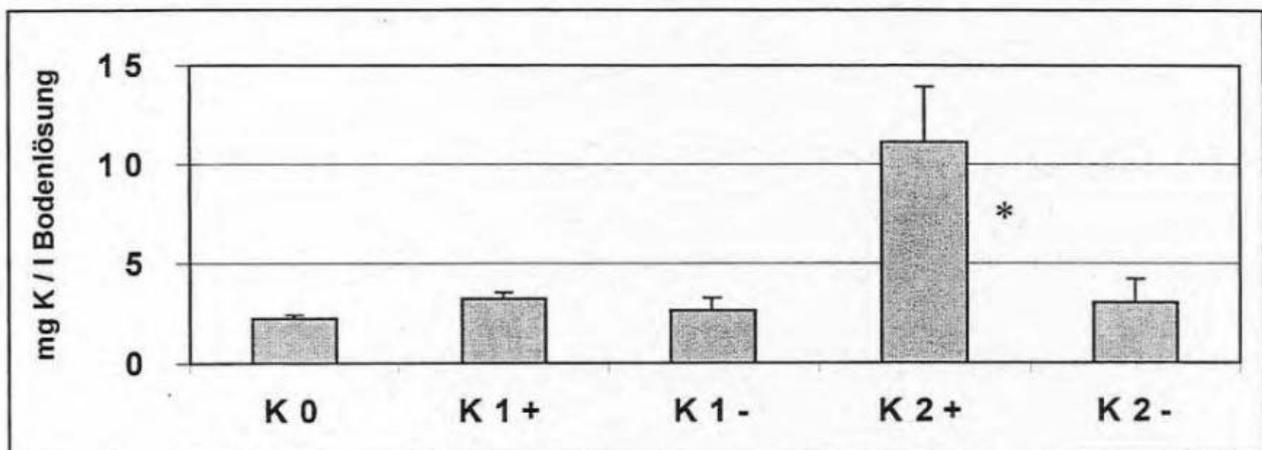


Abb. 2: Einfluß fortgesetzter bzw. unterlassener K-Düngung auf den K-Gehalt im Sättigungsextrakt; (*:signifikant von den anderen Varianten verschieden $p < 0,05$; Balken = Standardabweichung; n = 4)

Da die K-Konzentration im Sättigungsextrakt eher eine Momentaufnahme darstellt, wurden auch K-Fractionen untersucht, die Aussagen über das K-Nachlieferungsvermögen erlauben. Die Fraktion des **NH₄-Acetat löslichen K** spiegelt die K-Düngungshistorie sehr deutlich wider. In beiden K1-Varianten sind die Unterschiede zwischen + und - K im Gegensatz zu den K2 -Varianten noch nicht signifikant. K2 - ist bereits nach sieben Jahren unterlassener K-Düngung auf ein Niveau zwischen K1 + und K1 - abgefallen.

Gleiches trifft für das **HCl-extrahierbare K** zu, dessen Gehalte sich zwischen rund 70 mg/100 g (K0) und knapp 110 mg/100 g (K2 +) bewegen. Auch in dieser Fraktion wirkt sich die unterlassene K-Düngung besonders in der Variante K2 deutlich aus.

Offenkundig wird die differenzierte K-Versorgung auch in der **K-Fixierungskapazität** des Bodens.

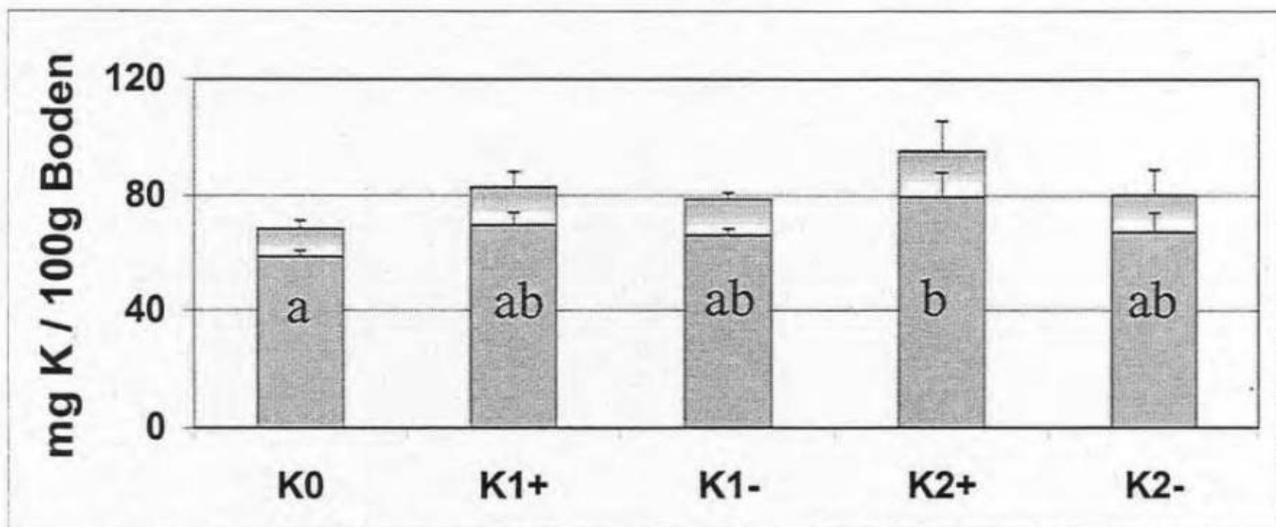


Abb. 3: Einfluß fortgesetzter bzw. unterlassener K-Düngung auf den Gehalt an HCl extrahierbarem K (Signifikanzen < 0,05; Balken = Standardabweichung; n = 4))

Diese ist erwartungsgemäß in der seit knapp 40 Jahren nicht mehr mit K gedüngten Variante (K0) am höchsten, gefolgt von den beiden K1-Varianten, die sich in der gleichen Größenordnung bewegen wie die Variante K2 -. Die niedrigste K-Fixierungskapazität weist die K2-Variante auf. Somit wird deutlich, daß unterlassene K-Düngung bereits innerhalb weniger Jahre zu einem starken Anstieg des K-Fixierungsvermögens des Bodens führen kann.

Tabelle 1: Einfluß fortgesetzter bzw. unterlassener K-Düngung auf die K-Fixierungskapazität,
(Signifikanzen < 0,05, n = 4).

Variante	mg K / 100 g Boden
K0	19,1a
K1+	15,9ab
K1-	16,5ab
K2+	13,3b
K2-	15,6ab

Auch die **Belegung des Sorptionskomplexes** reagiert auf die K-Versorgung. Die Belegung mit K ist erwartungsgemäß in der Kontrolle (K0) am niedrigsten und in der Variante K2 + am höchsten. Signifikant ist der Rückgang der K-Belegung aufgrund unterlassener K-Düngung in der seither hoch mit K versorgten Variante (K2 -). In beiden K-Varianten bewirkt die Unterbrechung der K-Zufuhr einen signifikanten Rückgang der Na-Belegung, was auf die Na-Zufuhr mit den K-Düngern zurückzuführen sein dürfte. Die Belegung mit Ca ist in der Variante K2 + am niedrigsten, während die Belegung mit Mg nicht von der K-Düngung beeinflusst wurde.

Tabelle 2: KAK_{eff} (mmol_c/kg) Boden der Versuchsböden (Signifikanzen <0,05, n = 4).

Variante	K	Mg	Na	Ca
K0	2,1	2,7	0,72a	35,7a
K1+	3,0	3,2	0,97b	35,4ab
K1-	2,8	2,8	0,70a	35,1ab
K2+	5,5*	3,2	0,87b	30,7b
K2-	2,9	3,1	0,64a	33,9ab

Die Unterschiede in den Winterweizenerträgen waren trotz der bereits differierenden Boden-K-Werte 1995 noch nicht signifikant verschieden, was das hohe K-Aneignungsvermögen von Weizen unterstreicht. Hackfrüchte reagierten jedoch in den Folgejahren auf die differenzierte K-Versorgung (unveröff., Daten noch nicht vollständig ausgewertet).

Literatur

Kick, H. und Poletschny, H.: Kaliumhaushalt und Ertragsleistung bei einem langjährigen Kaliformenversuch. *Landwirtsch. Forsch.* 31/1.SH, 59 - 68, 1974

Scherer, H.W. und Werner, W.: Einfluß langjährig nach Höhe und Form differenzierter K-Düngung auf K-Bindungsformen und -Mobilität sowie von Mg und Na. Tagungsbericht zum Symposium "Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik", Bad Lauchstädt, 254 - 258, 1992

Ergebnisse von drei 40jährigen Dauerversuchen in Österreich

Auswirkungen unterschiedlicher P-Düngerformen und -mengen auf P-Bilanzen, $P_{CAL/DL}$ -Gehalte im Boden und auf den Ertrag

Spiegel, H.¹⁾ und Lindenthal, Th.²⁾

1) Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft, Abteilung Pflanzenernährung, Spargelfeldstraße 192, A-1226 Wien

2) Universität für Bodenkultur, Institut für Ökologischen Landbau, Gregor-Mendelstraße 33, A-1180 Wien

Einleitung

An der vormals landwirtschaftlich-chemischen Bundesanstalt (heute Bundesamt und Forschungszentrum für Landwirtschaft) in Wien wurden im Jahre 1956 auf drei sehr unterschiedlichen Standorten P-Dauerdüngungsversuche angelegt und bis heute durchgeführt. Ziel dieser Versuche ist u.a. die Prüfung unterschiedlicher Phosphatformen und -mengen hinsichtlich ihrer langfristigen Auswirkungen auf Ertrag sowie auf P-Gehalte im Boden und in der Pflanze. Diese Versuche wurden die Grundlage, um eine neue Methode zur Bodenuntersuchung vorzuschlagen (CAL-Methode, s. SCHÜLLER et al., 1975) und dienten zur Berechnung wirtschaftlich optimaler P-Düngermengen (KÖCHL, 1988).

Möglichkeiten und Grenzen der P-Mobilisierung aus den P-Vorräten der Böden wurden verstärkt aus P-Dauerversuchen, u.a. aus der BRD, gewonnen (PAGEL 1987, WECHSUNG und PAGEL 1993, STUMPE et al., 1994). Hierzu soll mit einer umfassenden Auswertung dieser drei österreichischen P-Dauerversuche ein weiterer Beitrag geleistet werden. Im folgenden werden die drei Dauerversuche kurz beschrieben und erste Auswertungsergebnisse zu P-Bilanzen, P-Gehalten im Boden und Erträgen dargestellt.

Material und Methoden

Die Versuche werden auf drei Standorten in Niederösterreich in Fuchsenbigl (Marchfeld, pannonisches Klimagebiet), Rottenhaus (Alpenvorland, baltisches Klimagebiet) und Zwettl (Waldviertel, baltisches Klimagebiet) durchgeführt. Eine kurze bodenkundliche und klimatische Charakteristik gibt Tabelle 1.

Die Versuche wurden im Jahre 1956 in Fuchsenbigl und Rottenhaus im ungeordneten Block mit 5 Wiederholungen, in Zwettl als balanciertes Gitter mit 4 Wiederholungen angelegt. Dabei wurde die Wirkung von unterschiedlichen P-Düngermengen ($44 \text{ kg P ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ und $175 \text{ kg P ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) und P-Düngerarten (Hyper-, Thomas- und Superphosphat) untersucht. 1975 wurde jede Parzelle in eine weiterhin gedüngte und in eine ab diesem Zeitpunkt ungedüngte „Nachwirkungsparzelle“ geteilt.

Tabelle 1: Beschreibung der Versuchsstandorte

	Fuchsenbigl	Rottenhaus	Zwettl
Seehöhe (m über N.N.)	150	290	510
Jahresniederschlag (mm) (30-jähriges Mittel)	532	778	663
Jahresmitteltemperatur °C (30-jähriges Mittel)	9,5	8,4	6,4
Bodentyp	Tschernosem	Braunerde	Braunerde
Ausgangsgestein	Löß	Schwemmaterial	Silikatmaterial
Bodenart	sandiger Lehm	schluffiger Lehm	sandiger Lehm
pH in CaCl ₂	7,5	6,6	5,0
Carbonat (CaCO ₃) in %	13	0	0
Organischer Kohlenstoff in %	1,10	1,40	1,00
Sand/Schluff/Ton	40/42/18	3/67/30	48/36/16

Einen Überblick über die in die Auswertung einbezogenen Varianten gibt Tabelle 2, wobei bislang die Düngerform Superphosphat v.a. am Standort Fuchsenbigl ausgewertet wurde.

Tabelle 2: Überblick über die Düngungsvarianten

Gedüngte Menge (in kg P ha ⁻¹ a ⁻¹)	Düngerart		
	Hyperphosphat	Thomasphosphat	Superphosphat
44 kg (= P1)	P1 Hyper	P1 Tho	P1 Super
44 kg bis zum Jahr 1975 („Nachwirkung“ der P1)	P1 Hyper 75	P1 Tho 75	P1 Super 75
175 kg (= P2)	P2 Hyper	P2 Tho	P2 Super
175 kg bis zum Jahr 1975 („Nachwirkung“ der P2)	P2 Hyper 75	P2 Tho 75	P2 Super 75
ungedüngt	0 - Variante		

Die Stickstoff- und Kalidüngung erfolgte in praxisüblichen Mengen. In den Versuchen wurden alle relevanten Ackerkulturen geprüft. Neben Getreide (Weizen, Gerste, Roggen und Hafer) wurden Hackfrüchte (Zuckerrübe, Kartoffel und Mais) und Leguminosen (Erbse, Ackerbohne, Luzerne, Rotklee, unterschiedliche Leguminosen-Gemenge) angebaut.

Die P-Gehalte im Boden wurden bei pH < 6 mit der DL-Methode, bei pH ≥ 6 mit der CAL-Methode bestimmt. Die P-Entzüge wurden auf Basis der ab 1960 gemessenen P-Gehalte in der abgeführten Biomasse berechnet (vor 1960 wurden standort- und variantenspezifische Schätzwerte für die P-Gehalte in der abgeführten Biomasse auf Basis der jeweiligen Mittelwerte von 1960 bis 1975 eingesetzt). Die statistische Auswertung der Erträge erfolgte mittels Varianzanalyse und anschließendem Mittelwertvergleich mit dem Tukey-Test.

Bei der Ertragsauswertung wurden nur die Daten der Jahre 1975 bis 1995 in diesem ersten Auswertungsschritt einbezogen, bei den P-Bilanzierungen und der Auswertung der $P_{CAL/DL}$ -Gehalte wurde die 40jährige Versuchsdauer berücksichtigt.

Ergebnisse

P-Bilanzen

Durch die 40jährige unterschiedliche P-Düngung kommt es zu einer starken Differenzierung der P-Bilanzwerte. In allen Varianten, die eine P-Düngung erhielten, sind die Bilanzen positiv. Die höchsten Bilanzüberschüsse werden in den P2-Varianten durch die jährliche Anwendung von 175 kg P erzielt. Durch die 40-jährige Unterlassung der P-Düngung kommt es zu negativen Bilanzwerten von - 13,7 (Fuchsenbigl) bis - 15,6 kg P ha⁻¹a⁻¹ (Zwettl). Annähernd ausgeglichene P-Bilanzen können - bezogen auf den 40jährigen Versuchszeitraum - auf allen drei Versuchsstationen am ehesten auf den P1-Varianten festgestellt werden, die nur bis 1975 gedüngt wurden.

$P_{CAL/DL}$ -Gehalte des Bodens:

Auf allen drei Standorten bleiben die $P_{CAL/DL}$ -Gehalte der 0-Variante in der über 40jährigen Versuchsdauer nahezu unverändert - trotz mittlerer P-Entzüge von insgesamt 630 kg P ha⁻¹. Dies beweist das enorme P-Nachlieferungsvermögen aus den Bodenvorräten.

In Fuchsenbigl liegen die $P_{CAL/DL}$ -Gehalte aller Hyperphosphat-Varianten im Bereich der 0-Variante (4,8 bis 6,2 mg P/100g, gemessen in den Jahren 1990-1995), ebenso die Gehalte der „Nachwirkungspartellen“ aller P1-Varianten. Die in den 90er Jahren gemessenen P_{CAL} - Gehalte der Varianten P2 Super 75 sowie P2 Tho 75 liegen in der gleichen (hohen) Gehaltsklasse (siehe BMLF, 1996) wie die Parzellen der P1-Varianten, die durchgehend 40 Jahre gedüngt worden sind. Die praxisfernen Varianten P2 Super und P2 Tho zeigen sehr hohe Gehaltswerte. In Rottenhaus liegen in den 90 er Jahren die P_{CAL} -Werte der 0-Variante (Gehalte meist unter 2,0 mg P/100g) aber auch der Düngungsvarianten aufgrund der hohen Tongehalte sehr niedrig (zwischen 1,7 und 3,9 mg P/100g). Lediglich die Varianten P2 Tho bzw. P2 Tho 75 erreichen noch sehr hohe bzw. mittlere P_{CAL} -Gehalte (9,2 bis 22 mg P/100g). In Zwettl ist eine starke Schwankung der $P_{CAL/DL}$ -Gehalte in den 80er und 90er Jahren zu bemerken. Die Werte aus den 90er Jahren zeigen nur bei den praxisfernen P2-Varianten (hier auch bei Hyperphosphat) hohe und sehr hohe $P_{CAL/DL}$ -Gehalte. Die P2 Hyper 75 und P2 Tho 75 sowie alle P1-Varianten liegen wie die 0-Variante bei der Messung 1995 in einem Bereich zwischen 2,8 und 8,3 mg P/100g.

Ertragsergebnisse

Die Auswirkungen einer unterlassenen Düngung auf die Erträge sind kultur- und standortspezifisch sehr unterschiedlich, vielfach sind jedoch keine signifikanten Ertragsrückgänge in der 0-Variante gegenüber der P1 Tho-Variante, die als Referenzvariante (= 100 %) herangezogen wurde, zu

beobachten. So liegen die Getreideerträge der 0-Variante zwischen 70 % und über 100 % , die Zuckerrüben erträge um 65 % und die Maiserträge um 95% der Erträge der P1 Tho-Variante.

In Fuchsenbigl haben Rohphosphate auf den CaCO_3 -hältigen Böden keine signifikante Wirkung auf das Ertragsgeschehen. Bei Sommergerste zeigen alle anderen Düngerformen und -mengen eine signifikante Düngewirkung im Vergleich zur 0-Variante, unterscheiden sich aber untereinander nicht signifikant. Bei Zuckerrübe weisen nur die P1 Tho- sowie beide P2-Varianten von Thomasphosphat signifikant höhere Erträge als die 0-Variante auf, alle anderen Düngungsvarianten haben keinen signifikanten Einfluß auf den Ertrag im Vergleich zur ungedüngten Variante. In Rottenhaus werden signifikante Ertragssteigerungen nur bei Zuckerrübe und Ackerbohne gemessen und hier meist nur bei der P1 Tho-Variante. Die in Zwettl nur bei Sommergerste und Winterweizen festgestellten signifikanten Ertragssteigerungen durch eine P-Düngung treten bei der P1 Tho-Variante, aber auch bei der P2 Hyper- und P2 Tho- sowie fallweise auch bei der P1 Super-Variante auf.

Zusammenfassung

Durch die 40jährige unterschiedliche P-Düngung kommt es zu einer starken Differenzierung der P-Bilanzwerte. In der ungedüngten Variante werden auf allen der drei sehr unterschiedlichen Standorte große Mengen an P (durchschnittlich 630 kg P ha^{-1}) aus den Bodenvorräten mobilisiert, z.T. auch bei sehr niedrigen P_{CAL} -Gehalten (besonders in Rottenhaus). Bei den „praxisnäheren“ Aufwendungen von jährlich 44 kg P ha^{-1} (P1-Varianten) gibt es fallweise bei Thomasphosphat und bei Superphosphat signifikante Wirkungen der P-Düngung auf den Ertrag im Vergleich zur 0-Variante. Hyperphosphat hat für die betrachteten Kulturen in den meisten Fällen bei praxisüblichen Aufwandmengen keine signifikante Wirkung. Bei 20 Jahren unterlassener Düngung sind nur selten signifikante Ertragsrückgänge festzustellen.

Literatur

BMLF (1996): Richtlinien für die sachgerechte Düngung. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien.

KÖCHL, A. (1988): Beziehungen zwischen bodenanalytischen Daten und Felddaten. Mitt. d. Österreichischen Bodenkundl. Ges., 36, 25-38.

PAGEL, H. (1987): Phosphorvorräte und Phosphornachlieferungsvermögen der Böden. In: Tagungsbericht der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR 257, 59-66.

SCHÜLLER H., Th. REICHARD und K. NEMETH (1975): Beziehungen zwischen P-Düngung, Ertrag, P-Entzug und Methoden der Bodenuntersuchung. 1. Mitteilung. Landwirtschaftliche Forschung 28, 2.

STUMPE, H., J. GARZ und H. SCHARF (1994): Wirkung der Phosphatdüngung in einem 40-jährigen Dauerversuch auf einer Sandlöß-Braunerde in Halle. Z. für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157, 105-110.

WECHSUNG, G. und H. PAGEL (1993): Akkumulation und Mobilisation von Phosphaten in einer Schwarzerde im statischen Dauerversuch Lauchstädt - Betrachtung der P-Bilanz nach 84 Versuchsjahren. Z. für Pflanzenernährung und Bodenkunde 156, 301-306.

Ermittlung des atmogenen N-Eintrages aus N-Bilanzen von Dauerfeldversuchen und dessen Validierung durch direkte Messungen mit dem ITNI-System am Beispiel des Standortes Bad Lauchstädt

Weigel, A.¹⁾; Russow, R.²⁾; Körschens, M.²⁾; Schaecke, W.²⁾

1) Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Reideburger Str. 47, 06116 Halle,

2) Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung,

Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle

1. Einleitung

Landwirtschaft, Industrie und Verkehr setzen beträchtliche Mengen an Ammoniak und Stickoxiden in die Atmosphäre frei. Das emittierte NH₃ und NO_x wird überwiegend bereits nach Stunden bis Tagen als atmogener N-Eintrag wieder auf die Erdoberfläche deponiert. Über die Höhe dieses atmogenen Stickstoff-Inputs pro Flächeneinheit und dessen Verteilung herrscht noch große Unsicherheit. Vielfach wird nur der mineralische Stickstoff der Bulk-Deposition (nasse + trockene Deposition) gemessen und Werte von rd. 20 - 30 kg N/ha und Jahr angegeben. Der Anteil organischer N-Verbindungen, die gasförmige Deposition, und die Direktaufnahme von Stickstoff durch oberirdische Pflanzenteile bleiben dabei unberücksichtigt.

Vorgestellt werden 2 Wege, diesen atmogenen Gesamt-N-Input zu bestimmen:

1. indirekt: auf der Basis von Stickstoffbilanzen der Parzellen ohne N-Düngung aus Dauerfeldversuchen
2. direkt: mit einem neu entwickelten ¹⁵N gestützten Messsystem, mit welchem die Stickstoff - Gesamt - Deposition in ein Boden - Pflanze System ermittelt werden kann.

2. Ergebnisse

2.1. Indirekte Quantifizierung der atmogenen N-Gesamtdeposition

Dauerdüngungsversuche erlauben die Ableitung von Stoffbilanzen durch Gegenüberstellung von Input in Form von Dünger und Output in Form der Ernteprodukte. Grundlage dafür ist, dass der C_t- und N_t-Gehalt im Boden sich in einem Fließgleichgewicht befinden oder Veränderungen durch langjährige Messreihen sehr gut dokumentiert und quantifiziert sind. Da die N-Nachlieferung aus dem Boden genau quantifiziert und berücksichtigt werden kann, können die N-Entzüge durch die Pflanzen von den ungedüngten Parzellen als Maß für den atmogenen Stickstoffeintrag verwendet werden.

Vom Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt, welcher 1902 auf Lössschwarzerde angelegt wurde, belegen langjährige Messreihen des C und N-Gehaltes im Boden, dass sich die einzelnen Düngungsvarianten im Fließgleichgewicht befinden. Abb. 1 zeigt die N-Entzüge von der Nullparzelle über einen Zeitraum von 32 Jahren. Dargestellt sind jeweils 4jährige Mittelwerte, die einer Rotation der Fruchtfolge Zuckerrüben -Sommergerste-Kartoffeln-Winterweizen entsprechen. Von der seit nunmehr 97 Jahren ungedüngten Parzelle wurden im Durchschnitt der letzten 32 Jahre rd. 50 kg N/ha und Jahr entzogen. Die höchsten Werte mit fast 75 kg/ha wurden Anfang der 80iger Jahre ermittelt. Es besteht sicherlich ein Zusammenhang mit den im Zuge der zunehmenden Intensivierung der Landwirtschaft sehr hohen Düngermengen dieser Jahre. Ob die mit Beginn der 90iger Jahre einsetzende Abnahme schon einen Rückgang der N-Deposition anzeigt, kann nicht zweifelsfrei behauptet werden, da bis 1994 aufgrund sehr trockener Witterungsbedingungen die Erträge und damit die Nährstoffentzüge vergleichsweise niedrig waren. Auch Ergebnisse anderer europäischer Dauerversuche bestätigen die Größenordnung von rd. 50 kg N/ha und Jahr. So wurden

in den Dauerversuchen in Askov (Dänemark) 46 kg/ha und Jahr (Christensen, 1989), in Prag-Ruzyne 61 kg/ha und Jahr (Klir et al., 1995) und in Rothamsted 43 kg/ha und Jahr (Körschens et al., 1998) ermittelt.

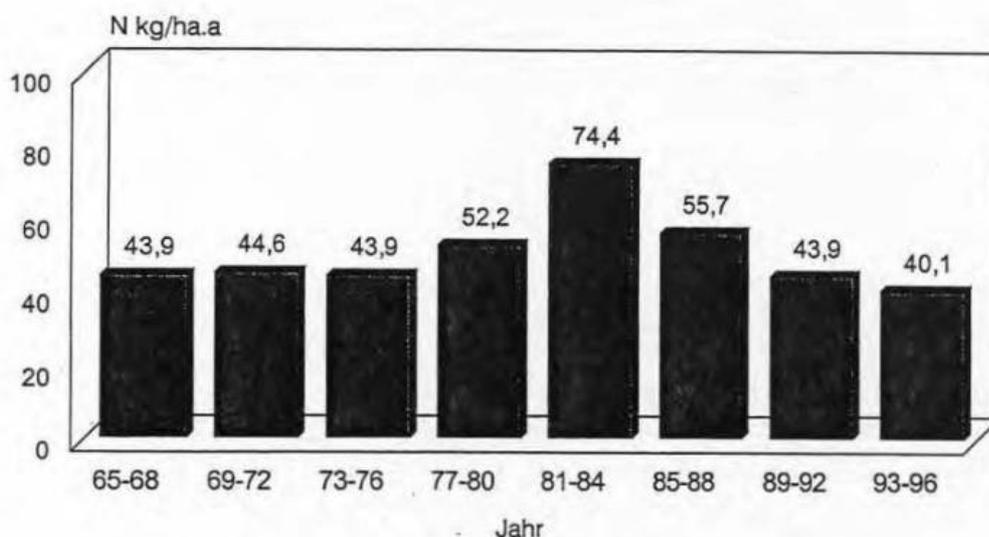


Abb. 1: N - Entzug von der Nullvariante des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt (4jährige Mittelwerte einer Fruchtfolge)

2.2. Direkte Messungen der atmogenen N-Deposition

Die bilanzierte Größenordnung wurde bisher durch direkte Messungen nicht bestätigt, da meist nur ein Teil der Gesamtdeposition, nämlich der mineralische Stickstoff der Bulkdeposition bestimmt wurde. Mit der neu konzipierten ITNI (Integral-Total-Nitrogen-Input) - Messanlage wird der atmogene N-Eintrag in ein Boden - Pflanze System ermittelt und somit die Pflanze in die Messungen einbezogen. Erste Messungen von MEHLERT et al., 1996 und RUSSOW et al., 1997 ergaben für den Standort Bad Lauchstädt Werte zwischen 65 - 70 kg ha und Jahr, das sind ca. 40 % mehr als am gleichen Standort mit den Bulksammlern ermittelt worden ist. Dieser Anteil ist der gasförmigen Deposition und der Direktaufnahme durch die Pflanze zuzurechnen.

Methodische Grundlage der Meßanlage bildet das Isotopenverdünnungsprinzip. Die Pflanzen werden auf stickstofffreiem Quarzsand kultiviert und über eine ^{15}N markierte Nährlösung versorgt. Nach der Ernte wird die ^{15}N Häufigkeit in den Fraktionen Pflanze, Sand, Nährlösung bestimmt. Anhand der Verdünnung des Tracers kann dann der zusätzlich ins System eingetragene atmogene Stickstoff berechnet werden.

Zielstellung der 1998 durchgeführten Versuche war die Validierung der Messergebnisse am Standort Bad Lauchstädt unter Einbeziehung eines weiteren Standortes. Am Standort Bad Lauchstädt wurden für die Erfassung eines kompletten Jahresgangs 4 Messperioden (Winterroggen, Sommergerste, Mais, Grünkohl) durchgeführt. Eine weitere Messanlage (Sommergerste) wurde in Etdorf eingerichtet. Dieser Standort, der sich ca. 10 km nordwestlich von Bad Lauchstädt befindet, wurde gewählt, weil ähnliche Witterungsbedingungen vorliegen aber die Entfernung zum Emittenten - Industriegebiet Buna-Leuna größer ist, denn häufig werden die hohen Depositionswerte am Standort Bad Lauchstädt der Emittentennähe zugeschrieben.

In einem parallelen Gefäßversuchsexperiment analoger Methodik, wurde außerdem untersucht, ob in Abhängigkeit von bestimmten Pflanzeigenschaften (Blattfläche, Stickstoffbedarf) Unterschiede bezüglich der Größenordnung der gemessenen Depositionen zu erwarten sind. Folgende Pflanzenarten wurden für den Gefäßversuch ausgewählt: Sommergerste (Referenzpflanze), Mais, Sonnenblume, Raps und Zuckerrübe.

Tabl. Ergebnisse der Messungen der atmogenen N-Deposition mit dem ITNI-System und im Gefäßversuch, 1998

ITNI-Feldmessung				Gefäßversuch		
Standort	Fruchtart	mg N/Tag und Gefäß	SD	Fruchtart	mg N/Tag und Gefäß	SD
BL	Winterroggen	0,41	0,08	Sommerraps	0,63	0,08
BL	Sommergerste	0,93	0,11	Sommergerste	1,17	0,08
ETZ	Sommergerste	1,06	0,21	Sommergerste	0,81	0,11
BL	Mais	1,45	0,28	Sonnenblume	1,17	0,21
BL	Grünkohl	0,60	0,06	Mais	1,37	0,28
				Zuckerrübe	0,71	0,09
				Grünkohl	0,49	0,08
BL	Hochrechnung für 1 Jahr	65,1 kg/ha		Hochrechnung für 1 Jahr	59,5 kg/ha	

BL - Bad Lauchstädt, ETZ – Etdorf

Tab. 1 enthält die Ergebnisse der Messungen mit dem ITNI-System an den Standorten Bad Lauchstädt und Etdorf und die Ergebnisse des Gefäßversuches, dargestellt als Netto-N-Aufnahme pro Tag und Gefäß. An beiden Standorten wurde der Sommergerste - Versuch zeitgleich durchgeführt. Ein Vergleich der Ergebnisse ergibt für Etdorf, welches in größerer Entfernung vom Emittenten Buna/Leuna liegt, sogar einen höheren Wert.

Eine Betrachtung der täglichen Netto - Aufnahme pro Gefäß für die am Standort Bad Lauchstädt durchgeführten Versuche ergibt die höchsten Werte für Mais und die niedrigsten für Roggen. Hier ist eine enge Beziehung zur Niederschlagshöhe offensichtlich. Schon in früheren Versuchen waren in Korrelation zu den höheren Sommerniederschlägen die höchsten Stickstoffeinträge im Sommer ermittelt worden. Der für den Standort Bad Lauchstädt ermittelte Wert von 65,1 kg/ha stimmt sehr gut mit den Ergebnissen früherer Messungen überein.

Die höchste Netto-N-Aufnahmerate pro Tag und Gefäß im Gefäßversuch weist wiederum der Mais auf, gefolgt von der Sonnenblume. Dies könnte auf den hohen Blattflächenindex dieser Kulturen zurückzuführen sein und lässt vermuten, dass bei diesen Kulturen der Anteil der direkten Aufnahme des atmogenen Stickstoffs durch die Pflanze noch höher ist als bei Getreide. Die Sommergerste weist zu den ITNI-Messungen im Feld vergleichbare Werte auf. Niedriger als erwartet liegen die Tagesdepositionsraten für Zuckerrüben und Sommerraps. Hier waren aufgrund des relativ hohen Stickstoffbedarfs dieser Pflanzen höhere Werte erwartet worden.

Die Hochrechnung auf ein Jahr anhand der für die einzelnen Fruchtarten berechneten monatlichen Depositionswerte ergibt für den Gefäßversuch 59,5 kg/ha.

3. Zusammenfassung

Die Ableitung der atmogenen Stickstoffdeposition aus Stickstoffbilanzen des Statischen Düngungsversuches in Bad Lauchstädt ergaben Werte von mehr als 50 kg/ha und Jahr. Diese Größenordnung wird durch andere Dauerfeldversuche in Deutschland und Europa bestätigt.

Mit dem neu entwickelten, ¹⁵N gestützten ITNI-Messsystem kann der atmogene Gesamt-N-Input in ein Boden - Pflanze System direkt bestimmt werden. Für den Standort Bad Lauchstädt wurde 1998 analog zu den Ergebnissen aus den Vorjahren (Mehlert et al., 1996; Russow et al., 1997) eine Gesamt - Deposition von 65 kg/ha und Jahr atmogenes N gemessen, die damit noch über den bilanzierten Werten liegt. Für landwirtschaftliche Flächen muß dieser Input bei der Bemessung der Düngergaben berücksichtigt werden. Durch Einbeziehung der atmogenen Gesamt-N-Deposition in die Düngungsempfehlung kann langfristig ein Rückgang der N-Austräge und damit rückgekoppelt auch der N-Depositionen erreicht werden, was für den Schutz naturnaher Ökosysteme unabdingbar ist.

Literatur

CHRISTENSEN, P. T.

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(1989), S. 28-48

KLIR, J.; KUBAT, J.;POVA, D.

Stickstoffbilanzen der Dauerfeldversuche in Prag. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 67 (1995), S. 831-834

KÖRSCHENS,M.; WEIGEL,A.; SCHULZ, E.

Turnover of Soil Organic Matter (SOM) and Long-Term Balances – Tools for Evaluating Sustainable Productivity of Soils. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 161 (1998), S. 409-424

MEHLERT, S.

Untersuchungen zur atmogenen Stickstoffdeposition und zur Nitratverlagerung. Dissertation 1996, UFZ-Bericht 22/1996

MEHLERT, S.; SCHMIDT, G.; RUSSOW, R.

Measuring of the Integral Airborne Nitrogen-Input into a soil-plant system by the ¹⁵N-Isotope dilution method. Isotopes Environ. Health Stud. 1995, Vol. 31, S. 377-383

RUSSOW, R.; MEHLERT, S.; SCHULZ, E.; KÖRSCHENS, M.

Untersuchungen zur atmogenen N-Deposition im Mitteldeutschen Trockengebiet. VDLUFA-Schriftenreihe 46/1997, S. 695-698

Boden-Kalium-Gehalte und Erträge in einem langfristigen K-Düngungsversuch sowie die Wirkung einer Salzdüngung auf die Zuckerrübe

Wenz, Ph.; Claassen, N. und Römer, W.

Institut für Agrikulturchemie, Georg-August-Universität Göttingen,
Von-Siebold-Straße 6, D-37075 Göttingen

Kaliumdüngungsversuche sind immer wieder notwendig, um aktuelle Daten zu Grenzwerten und Düngebedarf für sich ständig ändernde Produktionsbedingungen zu erhalten, aber auch um die Ursachen der unterschiedlichen K-Effizienz von Kulturpflanzenarten und -sorten zu erforschen.

Im Jahr 1983 wurde auf einem Auenlehm der Leineniederung (16 % Ton, 61 % Schluff, 2 % Humus) ein K-Langzeitversuch angelegt. Die Düngung betrug die 0-, 0,5-, 1-, 1,5-, 3- und 9fache K-Abfuhr vom Felde, wobei Ernterückstände auf dem Acker verblieben bzw. abgefahren wurden.

Bei Unterlassung der K-Düngung sanken die Bodengehalte in den ersten zwölf Jahren von 12 auf 7 mg K₂O je 100 g Boden nach der CAL-Methode ab, bei einer Düngung in Höhe der Abfuhr verblieben sie zwischen 10 und 11 mg K₂O je 100 g und stiegen deutlich an, wenn die Düngung die Abfuhr überstieg.

Die Erträge des Getreides blieben, bei ca. 80 dt ha^{B1}, völlig unbeeinflusst von der K-Düngung. Die bereinigten Zuckererträge variierten dagegen von 91 dt ha^{B1} auf der ungedüngten bis 99 dt ha^{B1} bei einer jährlichen Düngung in Höhe der Abfuhr. Wurde die K-Düngung jedoch nur alle drei Jahre direkt zur Zuckerrübe ausgebracht, erhöhte sich der Ertrag auf 104 dt ha^{B1}. Höhere K-Düngermengen bewirkten keine weitere Steigerung der Zuckererträge.

Die Zuckerrübe reagierte, insbesondere auf eine ihr direkt zugeführte K-Düngung, oft auch unabhängig von dem K-Gehalt des Bodens (vgl. auch Daten aus der Literatur). Weiterhin zeigen Zuckerrübenwurzeln eine hohe K-Aufnahmeeffizienz. Daraus resultierte die Hypothese, daß die Düngewirkung, zumindest z. T., auf die Wirkung der Nebenbestandteile der K-Dünger, d. h., Na und Cl, oder auf eine allgemeine 'Salzwirkung' zurückzuführen ist. Um dies zu prüfen, wurden 1997 die mit K ungedüngten sowie gedüngten Parzellen unterteilt und mit CaCl₂, NaCl oder NaHCO₃ gedüngt und deren Wirkung auf die Zuckerrübe geprüft.

Auf den mit diesen Salzen gedüngten Parzellen war kein Effekt der K-Düngung zu beobachten, d. h. ohne K-Düngung variierte der Ertrag von 117 bis 121 und mit K-Düngung von 115 bis 123 dt Zucker

ha^{B1}. Dagegen war der Effekt der Salzdüngung deutlich: Ohne Salz betrug der Ertrag im Mittel der geprüften Parzellen 113, dagegen mit CaCl₂ 120, mit NaCl 121 und mit NaHCO₃ 123 dt Zucker ha^{B1}. Die durch die Salzdüngung hervorgerufenen Mehrerträge konnten jedoch nicht mit der Konzentration einzelner Ionen in der Pflanze in Verbindung gebracht werden, so daß vorläufig nur allgemein von einem 'Salzeffekt' gesprochen werden kann. Danach hätte eine K-Düngung für Zuckerrüben zwei Funktionen: 1. Zufuhr des Nährstoffes K und 2. Zufuhr von 'Salz'. Die Wirkung der Salzzufuhr ist vermutlich unabhängig von dem K-Gehalt des Bodens und erklärt die oft beobachtete Wirkung einer K-Düngung auch bei hohen K-Gehalten im Boden.

Auswirkungen einer zehnjährigen differenzierten P-Düngung auf Erträge und P-Gehalte in zwei Sandböden

Römer, W.; Wulff, K.; Claassen, N.

Institut für Agrikulturchemie, Georg - August - Universität, Von-Siebold-Str. 6,
D - 37075 Göttingen,

Aufgabenstellung:

Es werden folgende Fragen behandelt: 1. In welchem Maße sind zwei hoch mit Phosphat versorgte Sandböden (16 - 20 mg $P_2O_5/100g$, DL-Extraktion) in der Lage, Pflanzen aus ihren P-Vorräten ohne P-Düngung optimal zu ernähren? 2. Wo liegen mögliche Grenzwerte der Boden-P-Gehalte (DL-Methode) für eine sichere P-Düngewirkung und wie groß sind die P-Düngermengen, um definierte P-DL-Werte zu erreichen? 3. Inwieweit liefert die DL-Methode verlässliche Werte der P-Düngebedürftigkeit von Sandböden?

Material und Methoden

Standorte und Versuchsanlage

Die ausgewählten Ackerflächen liegen im Landkreis Soltau-Fallingb. (Niedersachsen) mit einem mittleren jährlichen Niederschlag von 700 - 800 mm. Laut Tab.1 handelt es sich um Böden mit 5 bzw. 3 % Ton, also Sandböden, die sich jedoch in ihrem Humusgehalt deutlich unterscheiden. Die P-DL-Werte liegen in beiden Fällen nach LUFA Hameln in Gehaltsklasse C, der Standort Düshorn an der unteren Grenze. Die P-Düngung war gestaffelt: 0, 25, 50, 100 kg P_2O_5/ha . Die Varianten werden als P - 0, P - 25, P - 50 bzw. P - 100 bezeichnet.

Tabelle 1: Bodeneigenschaften der Versuchsflächen in 0-30cm Tiefe zu Versuchsbeginn (1988/89), nach Wulff, 1996

Standort	Ton	Schluff	Sand	Humus	pH	P (DL)
	%	%	%	%	CaCl ₂	mg $P_2O_5/100g$
Düshorn	5	11	84	2,2	5,5	16
Hodenhagen	3	6	91	5,5	5,2	20

Jede P-Stufe wurde 4-fach in einem lateinischen Quadrat wiederholt. Die Parzellengröße betrug 80 m². Außer der P-Düngung und der Ernte oblagen alle acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen den Landwirten. Die P-Düngung erfolgte im Frühjahr als Triplephosphat. Das N-Düngungsniveau liegt zwischen 110 und 140 kg/ha. Von 1989 bis 1995 wurde das Stroh abgefahren. Danach verblieb es wie das Kartoffelkraut und Rübenblatt auf dem Feld. Die Zuckerrüben waren ohne Bewässerung. Die Anlage der Versuche erfolgte 1988 durch A. Jungk (vgl. Wulff, 1996).

Boden- und Pflanzenanalyse

Die Bodenproben wurden aus technischen Gründen zu den Ernteterminen genommen, luftgetrocknet und mittels DL-Methode untersucht (Egner et al, 1960). Zur Messung der Orthophosphat-Konzentration der Bodenlösung (P_i) wurden 1999 feldfeuchte Bodenproben genommen und Bodenlösungen mit der sogenannten Verdrängungsmethode nach Adams (1974) gewonnen. Nach Filtration durch eine 0,45 µm Membran ist P_i nach Murphy und Riley (1962) bestimmt worden. Die Ernteparzellen waren 12 m² groß. Die Inhaltsstoffanalysen der Rüben übernahm das Institut für Zuckerrübenforschung Göttingen. Die P-Analysen erfolgten nach Kitson und Mellon (1944).

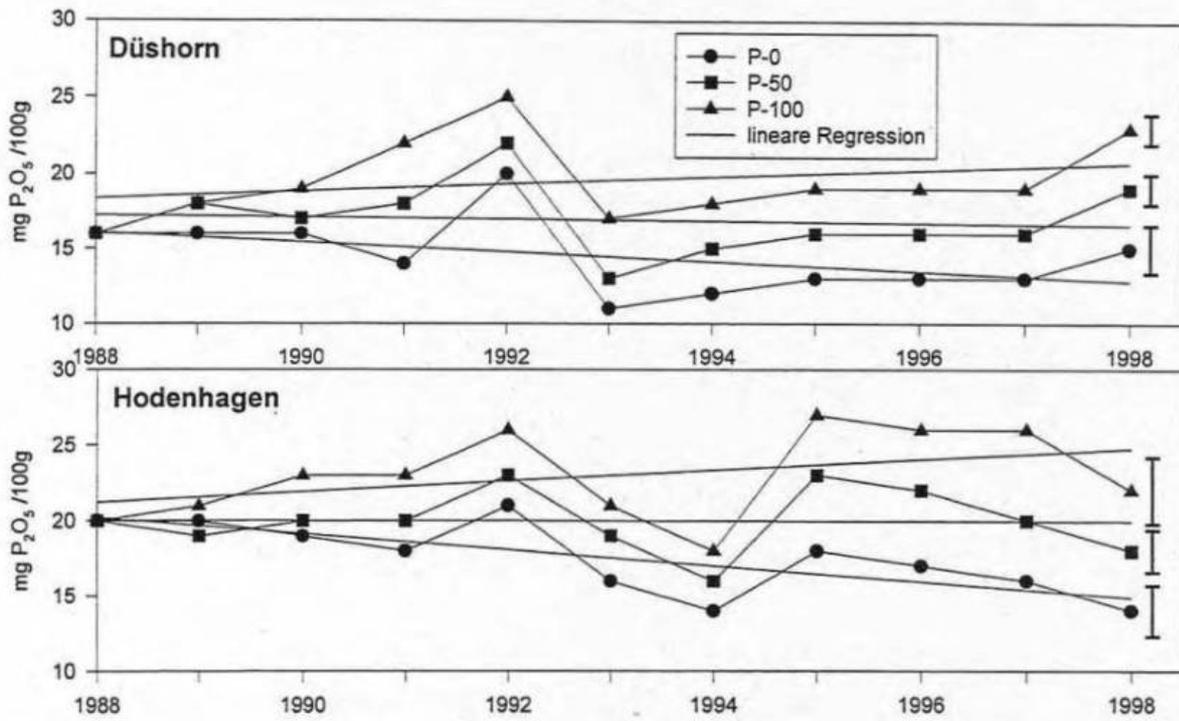


Abb. 1: Änderung der DL-P-Gehalte im Boden ($\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g}$) von 1988 bis 1998 für 3 P-Düngungsstufen sowie deren lineare Regressionen (Streuung der Werte 1998: Tab.2):

Düshorn: P - 0	$y = 16,1 - 0,33x$	Hodenhagen: P - 0	$y = 20,2 - 0,53x$
P - 50	$y = 17,2 - 0,06x$	P - 50	$y = 20,0 - 0,01x$
P - 100	$y = 18,4 + 0,23x$	P - 100	$y = 21,2 + 0,36x$

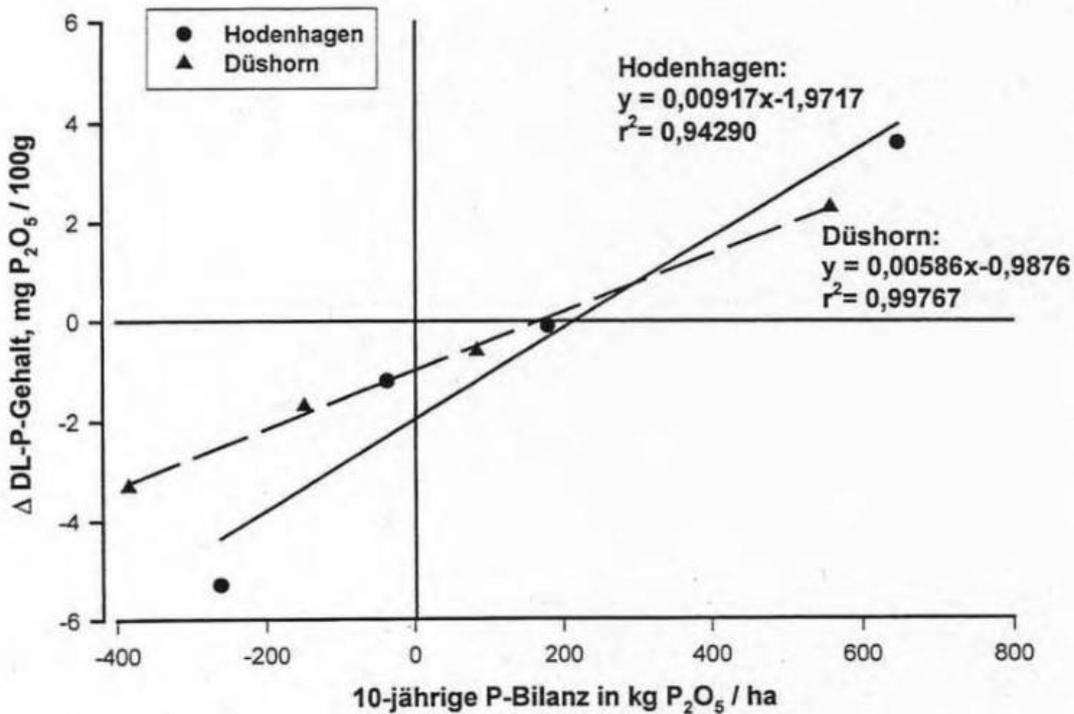


Abb. 2: Veränderung der DL-P-Gehalte in 0 – 30 cm Tiefe von zwei Sandböden in Abhängigkeit von der 10-jährigen P-Bilanz.

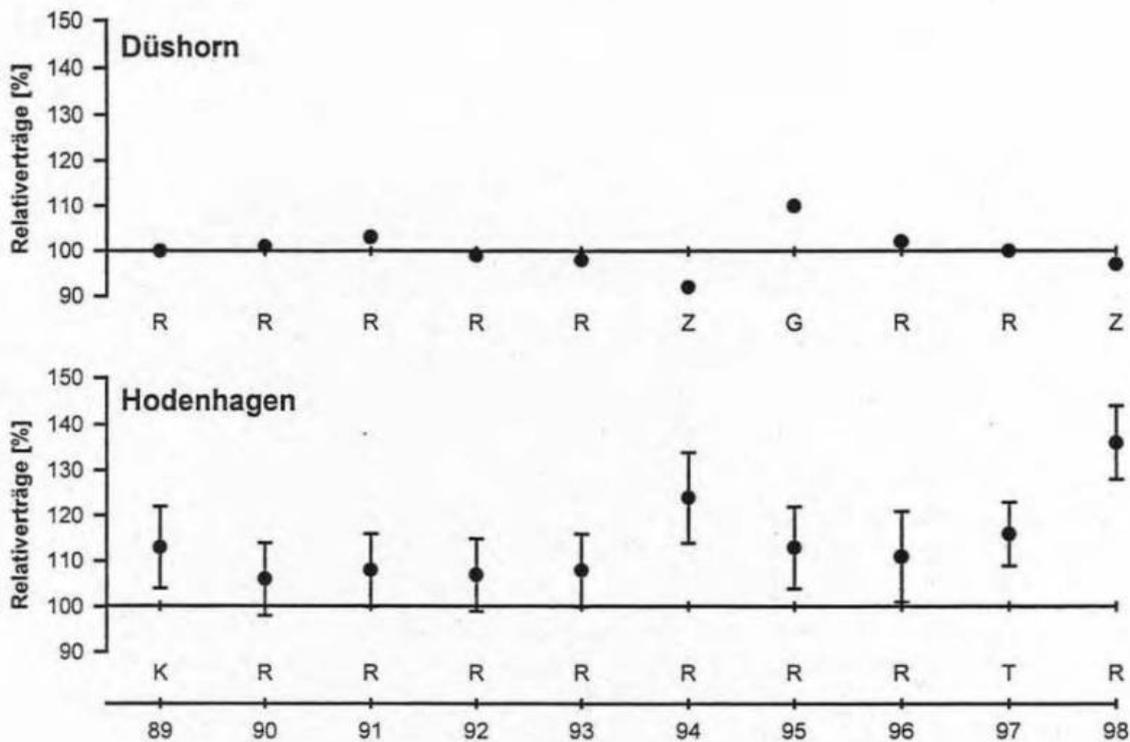


Abb. 3: Relativverträge in den Jahren 1989 bis 1998 der jährlich mit 100 kg P_2O_5 /ha gedüngten Varianten in Bezug auf die ungedüngten Varianten (= 100 %); R = Winterroggen, Z = Zuckerrübe, K = Kartoffel, G = Sommergerste, T = Triticale; Balken bedeuten die Streuung der 4 Einzelwerte. Mittelwert über 10 Jahre der gedüngten Varianten:
 Düshorn: 100,2 %; 100 % bei Roggen = 66 dt/ha; bei Zuckerrüben = 92 dt BZE/ha
 Hodenhagen: 114,4 %; 100 % bei Roggen = 45 dt/ha; bei Kartoffeln = 216 dt/ha

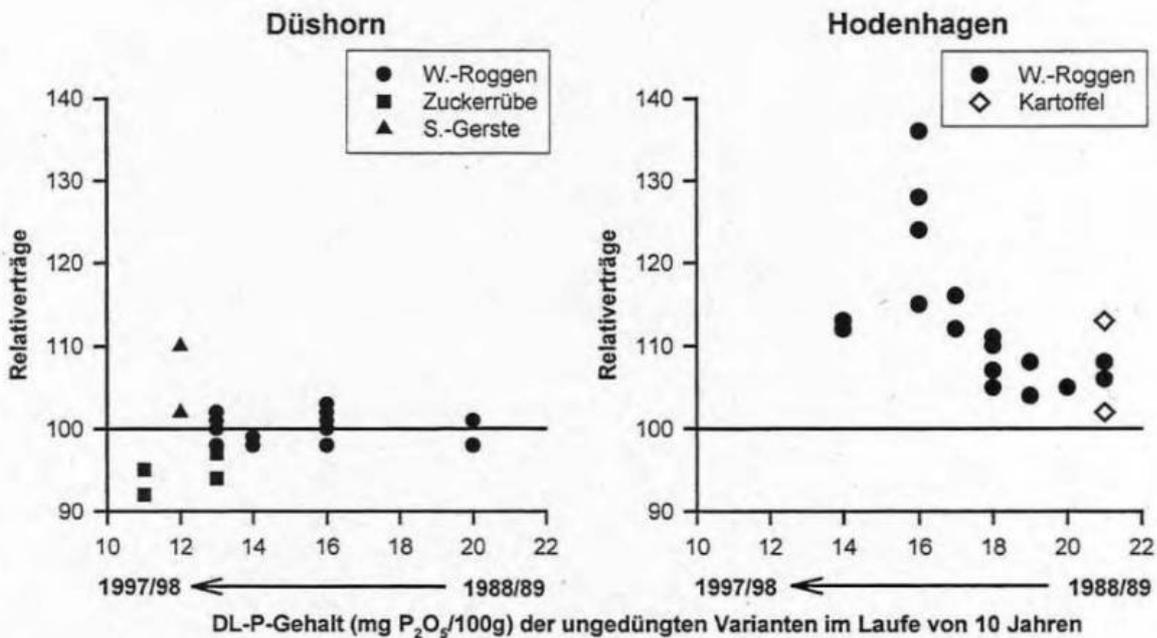


Abb. 4: Wirkung der P-Düngung (50 bzw. 100 kg P_2O_5 /ha) auf den Relativvertrag von Getreide und Hackfrüchten in Beziehung zum P(DL)-Gehalt der Böden.

Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt die Änderung der Boden-P-Gehalte im Laufe von 10 Jahren. Bei unterlassener P-Düngung sinken die Werte um 3,3 (Düshorn) bzw. 5,3 mg P₂O₅/100g Boden (Hodenhagen) ab. Bei Düngung über die Abfuhr hinaus (P - 100) steigen die Werte um 2,3 bzw. 3,6 mg P₂O₅ an. Bei P - 50 (ca. die Abfuhr) bleiben die Werte nahezu gleich. Aus den Änderungen der DL-P-Werte und der 10-jährigen P-Bilanz ergibt sich, daß im Boden Düshorn bei ausgeglichener P-Bilanz der DL-P-Wert in 10 Jahren um 1 mg, im Boden Hodenhagen um 2 mg P₂O₅/100 g absinkt. Aus den Regressionsgleichungen ergeben sich die P-Mengen zur Anhebung der Bodengehalte um 1 mg zu 109 bzw. 170 kg P₂O₅/ha. Aus Abb. 3 und 4 sind Rückschlüsse auf den P-Düngebedarf der zwei Sandböden möglich. Während auf dem Standort Düshorn ein P-Düngung (in Höhe doppelter Abfuhr) keinerlei Düngewirkung (Ertrag) im Laufe der 10 Jahre zeigte, ist im Fall Hodenhagen schon zu Versuchsbeginn (1988/89) bei 21mg P₂O₅/100g eine Düngewirkung vorhanden, die mit der Zunahme der Zeit infolge der Ertragsabsenkung auf den Nullparzellen zunimmt. Das Fazit ist: Der Standort Düshorn zeigt bei 12 mg P₂O₅/100g noch keinen P-Düngebedarf, während dies in Hodenhagen schon bei 20 mg P₂O₅ der Fall war. Diese Differenz von 8 mg P₂O₅/100 g zeigt die Schwierigkeit einer treffsicheren P-Düngeempfehlung. Eine mögliche Ursache erhellt Tab. 2.

Tabelle 2: Die DL-P-Gehalte im Herbst 1998 und die Konzentration der Bodenlösung an anorganischem Phosphat im Mai 1999 für die Standorte Hodenhagen und Düshorn.

	Hodenhagen ¹⁾ DL-P (mg P ₂ O ₅ /100g ⁻¹)	Düshorn ¹⁾	Hodenhagen ¹⁾ P-Konz. der Bodenlösung (mg P L ⁻¹)	Düshorn ¹⁾
P-0	14 ±1,7	15 ±1,6	0,07 ±0,01	0,33 ±0,04
P-25	17 ±1,7	17 ±2,2	0,10 ±0,03	0,38 ±0,11
P-50	19 ±1,4	19 ±1,0	0,31 ±0,06	0,72 ±0,13
P-100	22 ±2,2	23 ±1,0	0,41 ±0,02	1,11 ±0,29

1) Die Streuungswerte sind berechnet nach $\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}}$

Trotz ähnlicher DL-P-Gehalte beider Standorte im Herbst 1999 zeigt der Boden in Düshorn in den P-0- bzw. den P-25-Parzellen Phosphatkonzentrationen in der Bodenlösung (0,33 - 0,38 mg P/l), die 3 bis 4 mal höher sind, als in den Vergleichsparzellen in Hodenhagen, die aber für den Höchstertag ausreichen. In Hodenhagen wird diese P-Konzentration erst mit einer jährlichen P-Düngung von 100 kg P₂O₅/ha erreicht (0,41 mg P/l), die dann auch hier zum Höchstertag führt. Damit wird aber deutlich, daß die DL-P-Werte den Düngebedarf der Böden nur sehr unvollkommen widerspiegeln.

Literatur

- Adams, F. (1974): Soil solution. In.: The plant root and its environment. E. W. Carson (ed.), University Press of Virginia, Charlottesville
- Egner, H., Riehm, H., Domingo, W.R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse. Kungliga lautbrukshögskolons annaler, Uppsala 26, 199 - 215
- Kitson, R. E., Mellon, M. G. (1944): Colorimetric determination of phosphorus as molybdovanado-phosphoric acid. Indian Eng. Chem. Anal. Ed. 16, 379 - 383
- Murphy, J., Riley, J. P. (1962): A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta 27, 31 - 36
- Wulff, F. (1996): Umweltschonende Kalium- und Phosphatdüngung. Diss.; Cuvillier Verlag, Göttingen

Zur Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen ?

Anthes, J. G.; Schmidtke, K. und Rauber, R.

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Von-Siebold-Str. 8, D-37075 Göttingen

Einleitung

Selbstregelung ist ein wichtiger Wirkungsmechanismus in natürlichen Ökosystemen. Ursprünglich natürliche Ökosysteme werden durch Inkulturnahme über Bodenbearbeitung und Einsatz von Kulturpflanzen in Agrarökosysteme umgeformt und selbstregelnde Mechanismen natürlicher Ökosysteme teilweise außer Kraft gesetzt. In weniger intensiven Anbausystemen, die u.a. auf die Zufuhr mineralischer N-Düngemittel verzichten (z.B. Ökologischer Landbau), erlangt die symbiotische N₂-Fixierung von Futter- und Körnerleguminosen im Hinblick auf die N-Zufuhr in das Agrarökosystem zentrale Bedeutung. Ziel der nachfolgend beschriebenen Untersuchungen in einem Dauerfeldversuch ist es zu prüfen, ob und in welchem Ausmaß Mechanismen einer Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen wirksam werden. Hierzu werden Leguminosen in Rein- und Gemengesaat mit Nichtleguminosen geprüft. Im Gegensatz zu bereits vorliegenden Untersuchungen soll hier nicht die direkte Wirkung einer N-Düngung zu Leguminosen, sondern die Wirkung eines durch langjährig unterschiedliche Vorbewirtschaftung induzierten bodenbürtigen N-Angebotes getestet werden. Hierbei ist davon auszugehen, daß sich die Zeit – Tiefen – Funktion des bodenbürtigen N-Angebotes deutlich von der eines durch aktuelle Düngung hervorgerufenen N-Angebotes im Boden unterscheidet.

Material und Methoden

Auf dem Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen werden im Rahmen eines Dauerfeldversuches seit 1981 auf Griserde aus Löß u.a. die Faktoren Bodennutzungssystem (Fruchtfolge ohne Vieh: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste, Zwischenfrucht: Sommerwicke; Fruchtfolge mit Vieh: Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste - Luzerne - Silomais - Ackerbohne) und die Höhe der mineralischen N-Düngung (N₀: ohne, N₁: suboptimal, N₂: optimal, N₃: überoptimal) zu den Nichtleguminosen geprüft (CLAUPEIN 1994). Die hier beschriebenen Untersuchungen wurden am 25.03.1998 innerhalb des Dauerfeldversuches mit den Leguminosenarten – *Vicia sativa* L. (cv. Jaga), *Vicia faba* L. (cv. Minica) und *Medicago sativa* L. (cv. Europe) in den langfristig nicht (N₀) und überoptimal (N₃) gedüngten Dauerparzellen angelegt (Prüfjahre: 1998 u. 1999). Die Ansaat erfolgte in einer Verdrängungsserie nach DE WIT et al. (1966) mit den Poaceen – *Lolium multiflorum* ssp. *gaudinii* (cv. Aubade) mit *Vicia sativa* (cv. Jaga), *Avena sativa* (cv. Alf) mit *Vicia faba*

(cv. Mónica) und *Dactylis glomerata* (cv. Lidaglo) mit *Medicago sativa* (cv. Europe) sowie den Ansaatverhältnissen keimfähiger Samen von: 100 % Leguminose, 75 % Leguminose/25 % Nichtleguminose, 25 % Leguminose/75 % Nichtleguminose, 100 % Nichtleguminose. Der Anteil Stickstoff aus der Luft (Ndfa) in den Pflanzen wurde mit der $\delta^{15}\text{N}$ -Methode geschätzt (SHEARER & KOHL 1986). Erhoben wurde die gesamte pflanzliche Biomasse (Wurzel und Sproß), um daraus die Kenngrößen N_{Bt} (Gesamt-N-Menge in Sproß und Wurzel) und H_{NBt} (N-Harvest-Index: N-Menge im Erntegut im Verhältnis zu N_{Bt}) zu ermitteln. Die Sproßmasse der Pflanzen wurde je Parzelle auf Kleinflächen (1 m²) erhoben. Mit Hilfe der erhobenen Kenngrößen N_{Bt} , H_{NBt} sowie Ndfa wurden vereinfachte N-Flächenbilanzsalden (S, nach SCHMIDTKE 1997) für alle hier geprüften Ansaatvarianten errechnet:

$$S = [N_{\text{Bt}} * (1 - H_{\text{NBt}}) * \text{Ndfa}] - [N_{\text{Bt}} * H_{\text{NBt}} * (1 - \text{Ndfa})]$$

Ergebnisse und Diskussion

Die $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in der Sproßmasse von *Avena sativa* und *Lolium multiflorum*, die als Referenzfrüchte zur Bestimmung des Anteils Stickstoff aus der Luft genutzt wurden, wiesen Werte zwischen 2,76 $\delta^{15}\text{N}$ ‰ und 5,93 $\delta^{15}\text{N}$ ‰ auf (Abb. 1) und lagen deutlich über den Werten von *Vicia faba* bzw. *Vicia sativa*. Zunehmende Anteile des Nichtleguminosen-Gemegepartners im Gemenge führten zu einer Verringerung der $\delta^{15}\text{N}$ -Anreicherung in der Leguminosen-Sproßmasse, welches erhöhte Anteile Luft-N in der Biomasse der Leguminosen anzeigt. Damit war es möglich, in diesem Dauerfeldversuch die $\delta^{15}\text{N}$ -Methode zur Quantifizierung leguminosenbedingter N-Flüsse zu nutzen. Langfristige N-Düngungsintensität (N_0 und N_3) führte in der Regel nur zu geringen Unterschieden im $\delta^{15}\text{N}$ -Wert in der Sproßmasse der Pflanzen. Lediglich zum Termin 23.06.1998 und 10.08.1998 ließen sich in der Hafersproßmasse aus den N_3 -Parzellen signifikant höhere $\delta^{15}\text{N}$ -Werte nachweisen als im Hafer aus den N_0 -Parzellen. Bei *Vicia faba* geht in der Entwicklung die boden- der luftbürtigen N-Aufnahme in allen Ansaaten voraus. Zur Aussaat von *Vicia faba* (nach Silomais) waren deutliche Unterschiede im N_{min} -Vorrat im Boden nur im Unterboden (N_0 : 43,0 kg N_{min} /ha, N_3 : 111,9 kg N_{min} /ha bezogen auf 50 bis 125 cm Bodentiefe) vorhanden. Im Gegensatz dazu waren zur Aussaat von *Vicia sativa* (nach Winter-Gerste) Unterschiede im N_{min} -Vorrat im Boden im wesentlichen auf den Oberboden beschränkt (N_0 : 22,5 kg N_{min} /ha, N_3 : 67,0 kg N_{min} /ha bezogen auf 0 bis 50 cm Bodentiefe).

Um den Beitrag von Leguminosen zu einer Selbstregelung in Agrarökosystemen quantifizieren zu können, ist bei geernteten Kulturen der N-Flächenbilanzsaldo die maßgebliche Bewertungsgröße. So lag der N-Flächenbilanzsaldo nach Vorfrüchten, die langfristig nicht mit mineralischem N-Dün-

ger versorgt wurden (N_0), in allen geprüften Ansaaten stets über dem Saldo nach langfristig überoptimal versorgten Vorfrüchten (N_3 , Tab. 1). Allerdings waren die Unterschiede im N-Flächenbilanzsaldo gleicher Ansaaten zwischen den N_0 und N_3 -Parzellen in allen Fällen geringer als die zu Vegetationsbeginn vorgefundenen Mengen an N_{\min} -Stickstoff im Boden.

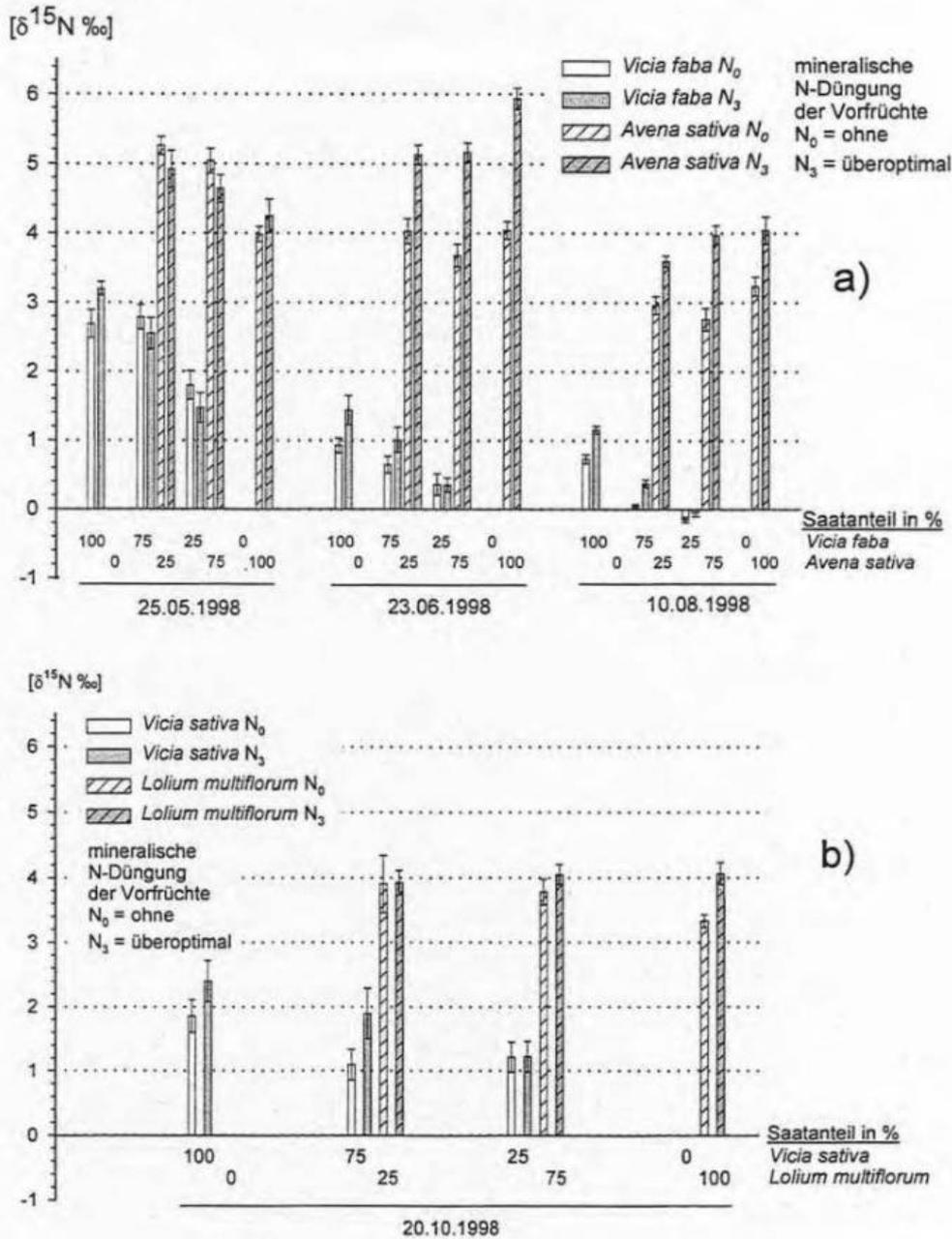


Abb. 1: N-Isotopenverteilung (Mittelwert \pm Standardfehler) in der Sproßmasse von (a) *Vicia faba* und *Avena sativa* sowie (b) *Vicia sativa* und *Lolium multiflorum* in Rein- und Gemengesaat

Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, daß eine gewisse Selbstregelung der N-Zufuhr in leguminosenbasierten Fruchtfolgen vorhanden ist. Diese ist aber gemessen an den vorgefundenen Unterschieden im N_{\min} -Vorrat des Bodens unterproportional. Ein zunehmender Anteil Nichtleguminose in der Ansaat führte hier stets zu einer Abnahme der flächenbezogenen N_2 -Fixierleistung, zu einer

Zunahme der bodenbürtigen N-Aufnahme, jedoch in der Regel auch zu einer Abnahme der Gesamt-N-Akkumulation der Pflanzen und in der Tendenz zu einer Verringerung der Stickstoff-Harvest-Indizes. Die Unterschiede im N-Flächenbilanzsaldo gleicher Ansaaten zwischen N_0 - und N_3 -Varianten ergaben sich somit nicht nur aufgrund einer geänderten Boden- bzw. Luft-N-Aufnahme (N_{fix} , N_{dfa}), sondern ganz wesentlich auch durch eine geänderte Gesamt-N-Akkumulation (N_{Bt}) und eines modifizierten N-Harvest-Indexes.

Tab. 1: Kenngrößen zur Berechnung einer vereinfachten N-Flächenbilanz beim Anbau von *Vicia faba* (Vf) mit *Avena sativa* (As) zur Körnernutzung und *Vicia sativa* (Vs) mit *Lolium multiflorum* (Lm) zur Schnittnutzung als Funktion der langfristigen N-Düngeintensität zu den Vorfrüchten (N_0 und N_3)

	N_0^1				N_3^2			
	100 % Vf	75 % Vf 25 % As	25 % Vf 75 % As	100 % As	100 % Vf	75 % Vf 25 % As	25 % Vf 75 % As	100 % As
<i>Vicia faba</i> a)								
Korntrag dt TM/ha	54,5	24,6/25,8	12,9/47,1	56,8	48,9	26,7/29,4	7,8/51,6	64,6
Korn-N in kg/ha	235,7	109,7/55,3	57,3/89,2	104,3	208,4	119,4/62,1	34,6/105	131,2
N_{fix}^3 kg/ha	268,7	172,4	80,3	0,0	227,8	159,4	51,1	0,0
Boden-N kg/ha ⁴	116,2	119,3	137,4	144,2	117,6	152,5	181,0	194,5
N_{Bt}^{5*}	383,9	292,2	216,9	144,2	345,2	312,6	232,1	194,5
H_{NBt}^{6*}	0,62	0,57	0,68	0,72	0,60	0,58	0,60	0,68
N_{dfa}^{7*}	0,70	0,59	0,37	0,0	0,66	0,51	0,22	0,0
S^8	+32,0	+8,6	-67,0	-104,3	+19,2	-21,4	-85,4	-131,2
<i>Vicia sativa</i> b)								
Erntegut dt TM/ha	13,7	5,6/6,2	3,0/12,3	13,8	11,6	4,4/9,1	1,1/16,6	20,6
Schnitt-N kg/ha	57,0	27,5/23,3	12,4/31,7	50,3	45,7	17,0/32,3	5,1/47,9	62,0
N_{fix}^3 kg/ha	37,1	25,1	11,0	0,0	22,4	12,9	2,4	0,0
Boden-N ⁴ kg/ha	49,4	51,6	49,7	63,8	51,6	61,9	69,4	82,1
N_{Bt}^{5*}	86,5	76,7	60,7	63,8	74,0	74,8	71,8	82,1
H_{NBt}^{6*}	0,69	0,70	0,74	0,78	0,69	0,68	0,73	0,75
N_{dfa}^{7*}	0,43	0,33	0,18	0,0	0,30	0,17	0,03	0,0
S^8	-20,9	-27,3	-33,4	-50,3	-26,6	-38,5	-49,5	-62,0

¹ N_0 : ohne mineralische N-Düngung; ² N_3 : überoptimale mineralische N-Düngung zu den Nichtleguminosen; ³ N_{fix} : symbiontisch fixierte N-Menge, entspricht bei *Vicia sativa* der N-Zufuhr bei Gründüngungsnutzung; ⁴ Boden-N-Aufnahme; ⁵ N_{Bt} : Gesamt-N-Menge in Sproß und Wurzel (Wurzel N-Mengen geschätzt nach HAUSER 1987 bzw. CLAUPEIN 1994); ⁶ H_{NBt} : N-Harvest-Index; ⁷ Anteil Stickstoff aus der Luft; ⁸ vereinfachter N-Flächenbilanzsaldo bei Abfuhr des Erntegutes: (S, nach SCHMIDTKE 1997); * Im Gemenge beziehen sich die Kenngrößen auf die Summe der in Sproß und Wurzel befindlichen N-Mengen von Leguminose und Nichtleguminose

Literatur

- CLAUPEIN, W. 1994: Möglichkeiten und Grenzen der Extensivierung im Ackerbau. Triade-Verlag, Göttingen.
- DE WIT, C.T., P.G. TOW & G.C. ENNIK, 1966: Competition between legumes and grasses. Agric. Res. Rep. 687, 1-30.
- HAUSER, S. 1987: Schätzung der symbiontisch fixierten Stickstoffmenge von Ackerbohnen (*Vicia faba* L.) mit erweiterten Differenzmethoden. Diss. agr. Universität Göttingen.
- SCHMIDTKE, K. 1997: Schätzverfahren zur Ermittlung der N-Flächenbilanz bei Leguminosen. VDLUFA-Schriftenreihe 46, Kongreßband 1997, 659-662.
- SHEARER, G. & D.H. KOHL 1986: N_2 fixation in field settings: estimation based on natural ^{15}N abundance. Aust. J. Plant Physiol. 13, 699-756.

Response of wheat genotypes to dual inoculation of va mycorrhiza and azobacter for phosphorus use efficiency based on long term trials

Behl, R. K.; Singh, R.; Singh, K. P. and P. Vlek, P. L. G.*

CCS Haryana Agricultural University, Hisar-125 004, India

*IAT, University of Göttingen, Grisebach Str. 6, 37077, Göttingen, Germany

Wheat is the second most important food crop in India, which has contributed immensely to the green revolution. Large areas in India and other third world countries are rainfed with soils poor in mineral nutrients. Root infecting fungi like VA Mycorrhiza (VAM) and free living bacteria like *Azotobacter* specifically interact with wheat genotypes to fix phosphorus and nitrogen, respectively. Thus, integrated production technology involving biologically efficient genotypes of host plant as well as bioinoculant offer great promise. Mycorrhizal infection increases the *Azotobacter* population in the rhizosphere which is maintained at a high level for a longer time and *Azotobacter* enhances infection and spore production by mycorrhizal fungus (Bagyaraj and Menge, 1978). Dual inoculation may prove to be more beneficial in soils of low fertility than inoculation with one organism alone. Spores of VA mycorrhizal fungi seem to give *Azotobacter* an operational base in the vicinity of roots and a supply of carbon that increases the efficiency of both VA mycorrhiza and *Azotobacter*.

Phosphorus (P) deficiency diminishes nitrogen fixation in *Azotobacter*. VA mycorrhizal fungi may supply *Azotobacter* with an adequate phosphate source in exchange for a nitrogen source. This association may contribute to the increase of growth and yield of host plants. Various wheat cultivars differ in extent of mycorrhizal infection and dependency. The wheat cultivars with the least amount of VA mycorrhizal infection had the lowest rate of root exudation (Azcon and Ocampo, 1981). Besides, there is a large genetic variation among wheat genotypes for P use efficiency. Such variation is partly generated by differences in genetic background of the plants. Such information is most valuable in breeding programmes especially for developing wheat cultivars adopted to marginal soils where mycorrhiza is most effective.

The objectives of our studies were to select low input wheat genotypes responsive to dual inoculation of VAM and *Azotobacter* and to know about complementary effects based on interactions among wheat variety and biofertilizers (microbial inoculants).

In order to evaluate the response of wheat genotypes to dual inoculation of VA mycorrhiza and *Azotobacter*, experiments were conducted in glass house (IAT, Göttingen, Germany) and in field conditions over the years and locations under medium levels of fertilizer doses i.e. 80 kg N, 30 kg P and 30 kg K alongwith 12.5 kg Zinc sulphate per hectare.

Three wheat genotypes namely WH 147, WH 533 and Raj 3077 differing in their pedigree and yield levels were selected for the experiments. These genotypes were mated to each other to yield 3F₁ hybrids (WH 147 x WH 533, WH 147 x Raj 3077 and WH 533 x Raj 3077) and their segregating generations i.e. F₂, B₁ and B₂.

For glass house experiments, red soil and quartzsand were mixed in the ratio of 1 : 1. Phosphorus and Zinc were also mixed in the soil at the same time. Then 3 kg soil was weighed and filled in 4 kg plastic pot. The mycorrhizal inoculation of *Glomus manihotis* were placed in pots at the depth of 1 - 2 cm @ 1 - 2 g chopped roots containing mycorrhizal inoculum mixed in 7 - 10 g soil. Seeds of parental genotypes along with their F₁ hybrids were sown in pots arranged in completely randomised design (CRD) with four treatments i.e. Control (C), *Azotobacter* (A), VA mycorrhiza (M) and *Azotobacter* + VA mycorrhiza (A + M). Half dose of nitrogen was applied after thinning (one week after germination) and rest half dose was applied before flowering. The source of N and P were NH₄NO₃ and monocalcium phosphate (MCP) and Zn as ZnSO₄. Observations were recorded for VA mycorrhizal infection in roots as suggested by Philip and Hayman (1970), plant biomass and P content and uptake in shoots.

In field experiments during winter season 1995 -1996, VA mycorrhiza (*Glomus fasciculatum*) and *Azotobacter chroococum* strain Mac 27 were inoculated individually as well as in combination at the time of sowing. The non-segregating plant material (parents and F₁ hybrids) were sown in two rows and segregating generations i.e. F₂ and back crosses in each cross, were sown in five rows. The row length was 3 meter with row to row distance 30 cm. Plant to plant distance within a row was 10 cm. The experiment was conducted under irrigated conditions. The soil was sandy loam. The organic matter content of the soil was less than 0.1 per cent, water holding capacity was 15 % and P content about 5 ppm. Five competitive plants in non-segregating generations (Parent and F₁'s), 50 competitive plants in F₂ and 20 competitive plants in each of the back cross generations of three crosses in each replication were randomly picked up for recording following observation on root infection of VAM, root biomass per plant (g), root length density (cm). Grading of mycorrhizal colonization was done following method suggested by Jalali and Domsch (1975). Observations were also recorded on important plant characters, P content (ppm) in shoots. P uptake (mg), P response (%) and P use index (%). Generation mean analysis was done to estimate gene effects as suggested by Mather and Jinks (1971).

Analysis of variance for various characters in pot house and field experiments revealed significant variability among Parents, F₁'s and segregating generations under different treatments. Partial to overdominance was recorded in F₁'s for various traits in various treatments.

Results also revealed that VAM increased P content, uptake and use efficiency under both experimental conditions. Under dual inoculation P content, uptake and use efficiency was further

increased in general. Under glass house conditions in dual inoculation treatments, P content and P uptake was maximum in Raj 3077 (a variety developed in Rajasthan i.e. desert state of India) followed by WH 533 and WH 147 (both varieties developed at Hisar, Haryana, India). The F1 hybrids between WH 533 x Raj 3077 and WH 147 x Raj 3077 showed heterotic effects for P content, uptake and use efficiency in control as well as inoculation treatments, the effects being pronounced in later treatments.

In field experiment Raj 3077 possessed longest roots and maximum root biomass in control as well as treatment plots. WH 147 exhibited maximum VAM infection (26.25 %) and Raj 3077 the least (14.37 %) in control plots. Under VAM and dual inoculation treatments, Raj 3077 showed maximum VAM infection. Raj 3077 possessed maximum tillers per plant under control and dual inoculation treatment. WH 533 possessed maximum number of grains per spike under all the treatments. Parents and hybrids showed low variability for 1000 grain weight and grain yield in control plots. Relatively more variability was found among parents under mycorrhizal conditions. Maximum harvest index was exhibited by WH 533. Maximum P content, uptake and use index was found in WH 533 which may be due to efficient root system. P uptake and use index was better in mycorrhizal treatment and it was further increased under dual inoculation. Cross combination WH 147 x Raj 3077 figured to be most promising for P uptake and was better than both the parents on the basis of mean of F2 generation. Likewise on the basis of backcross means, cross WH 147 x WH 533 appeared most P use efficient. When these crosses were evaluated under VAM and *Azotobacter* + VAM treatments, additive gene effects (d) were found to be significant for root length density and P content. Considering individual digenic epistatic effects, additive x additive (i) effects appeared to be significant for root length density and VAM infection in roots in cross WH 533 x Raj 3077. Wheat being self-pollinated crop the fixable gene effects i.e. additive (d) or additive x additive (i) can be exploited through simple pedigree selection for traits under consideration. Therefore, simple selection for enhancing nutrient use efficiency and grain yield in cross WH 533 x Raj 3077 will be promising. Preponderant additive gene effects for P uptake and use index revealed that selection for these traits would be effective to select wheat genotypes for better P use efficiency under medium input conditions using bioinoculants and thus ensure higher land use and crop productivity.

References

- Bagyaraj, D.J. and Menge, J.A. (1978) *New Phytol.* 80: 567 - 593
Azcon, R. and Ocampo, J.A. (1981) *New Phytol.* 87 (4): 677 - 685
Jalali, J.B. and Domseh, K.H. (1975) In: *Endomycorrhiza*, Acad. Press, London, pp 523 - 530
Philip, I.M. and Hayman, D.S. (1970) *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158 - 161
Mather, K and Jinks, J.L. (1971) *Biometrical Genetics*, Chapman and Hall, London

Increasing the efficiency of phosphatic fertilizer with phosphate solubilizing bacteria to improve soil fertility and chickpea (*Cicer arietinum*) productivity

Khurana, A. L.; Dudeja, S. S. and Singh, M.

Department of Plant Breeding, Pulses Section,
CCS Haryana Agricultural University, Hisar-125 004, India.

Abstract

About 98 per cent of Indian soils contain insufficient amount of available P and are categorized as having low or medium P fertility status. Application of phosphatic fertilizer is therefore, essential for obtaining optimum crop yields especially in pulse crops to carry out efficient symbiotic nitrogen fixation in the nodules. In chickpea (*Cicer arietinum*) 40 kg P₂O₅ is the recommended dose to achieve high productivity of the crop. However, about 20-30% is utilized by the crop due to tendency of the neutral and alkaline soils to fix added P which is released very slowly and is largely unavailable to the plants. Phosphate solubilizing microorganism plays a significant role in mobilizing P for the use of plants from the added phosphate. Under All India Coordinated Pulses Improvement Project (Indian Council of Agricultural Research), a programme was undertaken to determine the relative efficiency of phosphate solubilizing bacteria *Bacillus megaterium* and *Bacillus polymyxa* for improving the efficiency of phosphate fertilizer. Treatment comprised soil application of three levels of phosphorus (0, 20 and 40 kg P₂O₅) with two sources of phosphorus (rock phosphate and DAP) alongwith seed inoculation of phosphate solubilizing bacteria (PSB). The trial was conducted for two years 1996-97 and 1997 - 1998.

The trial was conducted at seven centres in all the four agroclimatic zone of India. The treatment at all the centres were as under. Control (with no phosphatic fertilizer, *Rhizobium* inoculated with 20 kg and 40 kg P₂O₅ through rock phosphate (RP); 20 kg and 40 kg P₂O₅ through Diammonium phosphate (DAP), PSB₁ phosphate solubilizing bacteria. *Bacillus megaterium* and PSB₂ phosphate solubilizing bacteria-*Bacillus polymyxa*,

20 kg and 40 kg P₂O₅ + PSB₁

20 kg and 40 kg P₂O₅ RP + PSB₂

20 kg and 40 kg P₂O₅ DAP + PSB₁

20 kg and 40 kg P₂O₅ DAP + PSB₂

In North West Plain zone the trial was conducted at Hisar (CCS Haryana Agricultural University, Haryana), Ludhiana (Panjab Agricultural University, Panjab). At Hisar on overall mean basis of year 1996-97 and 1997-98, the highest grain yield was recorded with treatment of 40 kg P₂O₅ through DAP inoculated with PSB₁ strain (*Bacillus megaterium*). The grain yield was 1898 kg/ha as compared to grain yield of control 954 kg/ha. The second highest grain yield of 1738 kg/ha was recorded

with 40 kg P₂O₅ RP alongwith PSB₁ strain. The results were statistically significant. Similarly, at Ludhiana the highest grain yield (1724 kg/ha) was recorded with 40 P₂O₅ DAP inoculated with *Bacillus megaterium* followed by 40 kg P₂O₅ RP inoculated with *B. megaterium* strain (1643 kg/ha).

In central zone the trial was conducted at only one centre Sehore (R.K. College of Agriculture, JNKVV, Madhya Pradesh). At Sehore the highest response in terms of grain yield on overall two years mean was 40 kg Diammonium phosphate along with seed inoculation with strain *Bacillus polymyxa* (1509 kg/ha) followed by 40 kg P₂O₅ supplied through rockphosphate alongwith strain *B. polymyxa*.

In Southern zone the trial was conducted at Gulberga (UAS, Dharwar, Karnataka) for two years (1996 – 1997, 1997 – 1998) whereas at Coimbatore (Tamil Nadu Agricultural University, Tamil Nadu) and bangalore (University of Agricultural Sciences, Bangalore, Karnataka) for one year. At Gulberga during 1996 – 1997 and 1997 – 1998 the highest response was with 40 kg P₂O₅ through DAP inoculated with *Bacillus megaterium* followed by 40 kg P₂O₅ rock phosphate coupled with *B. megaterium* strain. At Coimbatore the highest grain yield recorded during 1996 - 1997 was with the treatment

of 40 kg P₂O₅ supplied through rock phosphate inoculated with *Bacillus megaterium*. However, at Bangalore during 1997 - 1998 the maximum grain yield was recorded with treatment of 40 kg P₂O₅ supplied through DAP inoculated with strain *B. megaterium*.

In North East plain zone the trial was conducted at Dholi (Rajendra Prashad Agricultural University, Dholi Campus, Bihar). During 1996-97 the trial was conducted with only DAP as the source of P₂O₅ whereas during 1997-98 with both rock phosphate and DAP as sources of P₂O₅. In both the years only one strain *B. megaterium* was used. During 1996-97 the highest grain yield was recorded

with 40 kg P₂O₅ supplied through DAP alongwith phosphate solubilizing strain *B. megaterium* (1799 kg/ha) whereas during 1997-98 the highest was 1477 kg/ha with 40 kg P₂O₅ supplied through RP

alongwith strain *B. megaterium*. On the basis of mean grain yield data inoculation with phosphate solubilizing bacteria improved the efficiency of phosphatic fertilizer like Diammonium phosphate or rock phosphate and enhanced the chickpea productivity on all the seven centres in different agroclimatic zones of India.

Studies on NPK uptake and their concentration in P responsive wheat varieties as influenced by *Azotobacter chroococcum* isolates-mutants under field conditions

Vivek Kumar, R.K. Behl* and Neeru Narula

Dept. of Microbiology, CCS Haryana Agricultural University

Hisar 125 004, (India)

*Dept. of Plant Breeding, CCS HAU Hisar

Introduction:

Generally the phosphate contents in soil is about 0.05 % (w/w), but only a small fraction of the total phosphate is available to plants due to phosphate fixation by aluminium, calcium, iron, magnesium and soil colloids. Researcher revealed the role of microorganisms in phosphate solubilization or phosphate availability related to organic acid production (Darmwal *et al.*, 1989; Mishra and Banger, 1985), siderophores (Bossier *et al.*, 1988; Suneja *et al.*, 1994), H₂S production (Gaur, 1990) by H⁺ protonation (Illmer and Schinmer, 1995) and by mineral acids (Kapoor *et al.*, 1991). Several studies reported that *Azotobacter chroococcum* as a soil inoculant is known to improve the growth of plants by various mechanisms like nitrogen fixation (Lakshminarayana *et al.*, 1992) production of growth hormones (Azcon and Barea, 1976) antifungal substances (Lakshminarayana, 1993) and siderophore (Suneja *et al.*, 1994) and the property which is least explored is phosphate solubilization.

Present report attempts to study the effect of inoculation under field conditions with phosphate solubilizing *A. chroococcum* soil isolates/mutants on NPK uptake, their concentration and root biomass of wheat to explain positive interaction between these bacteria and plants.

Materials and Methods:

Phosphate solubilizing *Azotobacter chroococcum* were isolated from wheat rhizosphere of CCS Haryana Agricultural University farm, Hisar, Haryana. 10 g of soil was inoculated in 100 ml of nitrogen free Jensen medium (Jensen, 1951), ammended with 2 % tricalcium phosphate and 1 % Mussoorie rock phosphate separately, under shake conditions at 30 °C for seven days to get P-solubilizing *A. chroococcum* (Kumar and Narula, 1998).

Best soil isolate P4 which solubilized maximum phosphate, was mutated with N-methyl-N-nitro-N-Nitrosoguanidine (Adelberg *et al.*, 1965) to get mutants having higher phosphate solubilizing activity.

For survival studies parent and mutant strains of *A. chroococcum* were marked with ammonium analogue marker methyl ammonium chloride (Bela *et al.*, 1986).

Phosphate responsive three wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties C - 306 (low P responsive) WH - 542 (high P responsive) and HD - 2009 (medium P responsive) were procured from the Dept. of Plant Breeding, CCS Haryana Agricultural University Hisar, Haryana.

Results :

In vitro phosphate solubilization, IAA production by isolates-mutants of *A. chroococcum* was investigated. Similarly NPK concentration (%) in grain and straw increased with increase in fertility levels, maximum with 120 N + 60 P₂O₅ (kg ha⁻¹). N concentration (%) in grain was maximum in wheat variety WH - 542 (1.704 %), P in C - 306 (0.366 %) while K in WH - 542 (0.425 %). N concentration (%) in straw was maximum in C - 306 (0.395 %), P in WH - 542 (0.0506 %) while K in HD - 2009 (1.503 %). Mutant strain M - 37 showed maximum N concentration (1.722 %) in grain followed by M 26 (1.712 %), while in straw maximum was (0.418 %) in control followed by M 14 (0.396 %). P concentration in grain was maximum in control (0.411 %) followed by M 26 (0.379 %), and in straw by M 22 (0.0508 %). K concentration maximum by M 22 (0.437 %) in grain followed by M 37 (0.436 %), in straw yield was maximum (1.530 %) by M 15 followed by M 26 (1.519 %).

Uptake of NPK (kg ha⁻¹) in grain and straw was maximum with fertility level of 120 N + 60 P₂O₅ (kg ha⁻¹) which is significant over all other fertility levels. Maximum N uptake was with variety WH - 542 (67.3 kg ha⁻¹), maximum P (12.4 kg ha⁻¹) was with HD - 2009, while K uptake was maximum with HD - 2009 (85.7 kg ha⁻¹). Mutant strain M 37 showed maximum N uptake (69.5 kg ha⁻¹) followed by M 15, (68.0 kg ha⁻¹), P uptake was maximum (12.8 kg ha⁻¹) in M 15 followed by M 37, (12.6 kg ha⁻¹) & K uptake was M 15 (90.5 kg ha⁻¹) followed by M 37, (87.9 kg ha⁻¹). Parent isolate P 12 also showed significant uptake of N (69.0 kg ha⁻¹). Similarly, in P and K uptake mutants were better than parent isolates.

Root biomass was significantly affected by fertility levels and inoculants, however, wheat varieties did not differ in producing root biomass. Maximum root biomass was when 120 N + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹ was applied. Mutant M 37 gave maximum root biomass of 1324 mg plant⁻¹.

It is clear that bacterial count increased gradually and reached a maximum on 60th day in parent isolates and mutant strains. On 80th day count declined, and survival was influenced by fertility levels and generally with 120 N + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹.

Discussion :

The study was aimed at testing the phosphate solubilizing, phytohormone producing *A. chroococcum* on NPK uptake, NPK concentration, root biomass and survival of these inoculated bacteria in rhizosphere. The rhizosphere of cereal crops was found to harbour a great number of PSB (phosphate solubilizing bacteria) isolates (Leinhos and Bergmann, 1995). The productiveness of rhizosphere for PSB may be attributed to favourable influence exerted by root exudates (Leinhos and Vacek, 1994) which contain amino acids, carbohydrates, organic acids and growth promoting substances. The inoculation of wheat grains resulted in an increase in NPK uptake, concentration and root biomass over control, which may be due to the solubilization of insoluble phosphates. The available soil P_2O_5 was decreased toward the maturation of crop. This may be attributed to greater uptake of this nutrient by the plant and the chemical fixation of soluble phosphorus in soil (Kanwar and Grewal, 1974). The activity of phosphate solubilizing and growth hormone producing *A. chroococcum* exerted a considerable influence on nutrient uptake by plants and root biomass (Barea *et al.*, 1976). Concentration of N in straw, P concentration in grain and straw, while K concentration in straw was more in control as compared to other inoculants. It was because of less development of uninoculated plants due to which short height of plants, so NPK did not distribute in stem and leaves as compared to other tall and healthy plants, therefore dilution of nutrients took place in inoculated plants because of good growth. This study suggests that microbiol inoculants can be used as an economic input to increase crop productivity with lowering fertilizer level and harvesting more nutrients from soil.

References

- Adelberg, E. A., Mandal, M., Chen, G. C. (1965): Optimal conditions for mutagenesis by N-methyl N-nitro-N-Nitrosoguanidine in *E. coli* K-12. *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **18**, 788-795.
- Azcon, R., Barea, J. M. (1976): Synthesis of auxins, gibberellins and cytokinins by *Azotobacter vinelandii* and *Azotobacter beijerinckii* related to effects produced on tomato plants. *Pl. Soil.* **43**, 609-613.
- Barea, J. M., Navaro, E., Montoya, E. (1976): Production of plant growth regulators by rhizosphere phosphate-solubilizing bacteria. *J. Appl. Bact.* **40**, 129-134.
- Bela, S., Dahiya, P., Lakshminarayana, K. (1986): Isolation and characterization of mutants of *A. chroococcum* de repressed for nitrogenase. In "Current status of Biological nitrogen fixation. Ed: Singh R., Nainawati H. S., Sawhney S. K.). (Bombay: Food and Agricultural Committee, DAE Govt. of India, Hisar, Haryana Agricultural University).
- Bossier, P., Hofte, M., Verstraete, M. (1988): Ecological significance of siderophores in soils. *Adv. Microbiol. Ecol.* **10**, 385-413.
- Darmwal, N. S., Singh, R. B., Rai, R. (1989): Isolation of phosphate solubilizers from different sources. *curr. Sci.* **58**, 570-571.
- Gaind, S., Gaur, A. C. (1991): Thermotolerant phosphate solubilizing microorganisms and their interaction with mung bean. *Plant and Soil*, **133**, 141-149.

- Gaur, A. C. (1990): Phosphate solubilizing microorganisms as biofertilizers. Omega Scientific Publishers, New Delhi, 198p.
- Illmer, P. and Schinner, F. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates - solubilization mechanisms. *Soil. Biol. Biochem.* 27 : 257-263.
- Jensen, V. (1951). Notes on the biology of *Azotobacter*. *Proc. Soc. Appl. Bacteriol.* 74, 98-93.
- Kanwar, J. S., Grewal, J. S. (1974): Phosphorus fixation in Indian soils. A review. ICAR technical bulletin No. 29. 44p.
- Kapoor, K. K., Mishra, M. M., Malik, R. S., Banger, K. C. (1991): Solubilization of Mussoorie rockphosphates by use of pyrite and thiobacilli. *Environ. Ecol.* 9, 635-637.
- Kumar Vivek, Narula Neeru (1998): Solubilization of inorganic phosphates and growth emergence of wheat as affected by *Azotobacter chroococcum*. *Biol. Fertil. Soil.* 27,(00-00) in press.
- Lakshminarayana, K. (1993): Influence of *Azotobacter* on nutrition of plant and crop productivity. *Proc. Indian Natn. Sci. Acad.* B59, 303-308.
- Lakshminarayana, K., Narula, N., Hooda, I. S., Faroda, A. S. (1992): Nitrogen economy in wheat (*Triticum aestivum*) through use of *Azotobacter chroococcum*. *Indian J. Agric. Sci.* 62, 75-76.
- Leinhos, V., Bergmann, H. (1995): Influence of auxin producing rhizobacteria on root morphology and nutrient accumulation of crops. II. root growth promotion and nutrient accumulation of maize (*Zea mays* L.) by inoculation with Indole-3-acetic acid (IAA) producing *psendomonas* strains and by exogenously applied IAA under different water supply conditions. *Angrew. Bot.* 69, 37-41.
- Leinhos, V., Vacek, O. (1994): Biosynthesis of anixins by phosphate solubilizing rhizobacteria from wheat (*Triticum aestivum*) and ryl (*secole cereals*). *Microbiol. Res.* 149,31-35.
- Mishra, M. M., Banger, K. C. (1985): Phosphocompost as a phosphorus source in neutral and alkaline soils. *Soil Biology. : Proc. Soil Biol. Symp. Hisar*, (Ed: Mishra, M. M. and Kapoor, K. K.) H.A.U. Hisar. pp. 139-147.
- Suneja, S., Lakshminarayana, K., Narula, N. (1994): Optimization of cultural conditions for hydroxynate type of siderphore production of *Azotobacter chroococcum*. *Microbiol. Res.* 149, 385-390.

Direct, residual and cumulative effect of farmyard manure application on nitrogen response to pearl millet-wheat cropping sequence

Gupta, A. P.; Narwal, R. P. and Antil, R. S.

Department of Soil Science,

CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India 125 004

Abstract

A long-term field experiment was initiated in October 1967 to study the response of N at various FYM levels applied under three phases to pearl millet-wheat cropping sequence. The results indicate that both the crops responded to N application linearly up to 120 kg N ha⁻¹ at all the FYM levels. The data was fitted to linear model and it was observed that the intercept increased with the application of FYM. The slope did not vary significantly with increasing FYM levels. The increase in the productivity of pearl millet and wheat crops with the application of 15 Mg FYM ha⁻¹ increased by 714 kg grain (pearl millet + wheat) when applied to summer season, 840 kg grain when applied to winter season and 1384 kg when applied to both the seasons. Apart from the increase in the yield, there was an improvement in the soil properties like organic carbon and available P content of the soil. Application of 15 Mg FYM ha⁻¹ could not sustain the available N content of the soil.

Introduction

With the advent of the high yielding varieties of the crops, India could become self sufficient with respect to its food front during mid sixties. With the introduction of high yielding varieties, the soil reserves had been extensively exploited and the crops started responding to fertilizer nutrients. To start with the crops started responding to nitrogen, and presently the soils are showing the deficiency of nitrogen, phosphorus, potassium, zinc, iron, manganese, sulfur, boron and other nutrients in various parts of India (Katyal et al., 1997). Because of the availability of nutrients in concentrated form and less dependency on farm labor, the farming community left using organic manure in a systematic way for crop production and depended mainly on chemical fertilizers. A group of scientists conducted a diagnostic survey of rice-wheat growing area of Karnal and Kurukshetra districts of Haryana and concluded that the farmers had to increase the dose of fertilizers with time to harvest the same yield. The main reason to reduced fertilizer use efficiency was diagnosed as the depletion of organic matter content of the soils. The role of organic manure is well established in governing the nutrient fluxes, microbial biomass and improvement in soil physical conditions (Hafez, 1974; Stevenson, 1982; Bhirguvanshi, 1988; Kukreja et al., 1991).

Increase in organic matter content resulted in increased yield of various crops (Gupta et al., 1992; Körschens & Müller, 1996). There are varied opinion that the dose of fertilizer N can be reduced under manured conditions. Thus the present endeavor had been undertaken to study the response of N to pearl millet-wheat cropping sequence under various phases and dose of FYM application.

Materials and Methods

A field experiment was started in October, 1967 to study the response of N to pearl millet and wheat crops grown in sequence on a coarse loamy, calcareous, Typic Ustochrept soil. The site is located between 29°10' N latitude and 75°45' E longitude with a mean annual precipitation of 443 mm. The pH (1:2) of the soil was 8.2, organic carbon 0.47 %, CaCO₃ 1.12 % and available N, P and K were 100, 13 and 249 mg kg⁻¹, respectively. Three application rates of FYM (15, 30, 45 Mg ha⁻¹) were used during different seasons of the year i.e. in summer (June), in winter (October) and in both June and October. There was one control plot without FYM. FYM was incorporated into the plough layer (15 cm). These 10 treatments were applied in main plots and each main plot was divided into 3 subplots receiving fertilizer N (urea) at 0, 60, and 120 kg ha⁻¹ in each season. The subplot size was 10 x 6 m and each treatment was replicated 4 times.

The crops, pearl millet in summer and wheat in winter, were sown about 4 weeks after FYM application. The grain yield of both the crops was recorded. The soil samples (0 - 15 cm) were collected periodically from each plot. Soil samples were air dried, ground and sieved (2 mm) for analysis. Organic carbon was estimated by wet digestion method (Walkley & Black, 1934). Available P was extracted with 0.5 M NaHCO₃ (pH 8.5) and estimated spectrophotometrically (Olsen et al., 1954). Available K was extracted with neutral 1 N NH₄OAc and estimated by flame emission spectroscopy.

Results and Discussion

The grain yield of pearl millet and wheat crops increased with the application of FYM as well as fertilizer N (Table 1). The maximum grain yield of both the crops was obtained with the application of highest dose of FYM and N. Grain yield of pearl millet-wheat cropping sequence was highest under when FYM was applied to both the seasons followed by application in October and June. The data was fitted to linear model and it was observed that the N response to both the crops was linear at all levels and phases of FYM application. The value of intercept increased with increasing levels of FYM application. The value of slope was almost constant in both the crops. These results indicate that the yield potential of both the crops increased with the application of FYM and the N application can not be either avoided or reduced with FYM application.

Apart from increase in the yield of the crops, the organic-C and available P content of the soil also improved with the application of FYM under all the three phases (Table 2). It is also clear that the organic-C content of the soil was almost tripled with the application of 45 Mg FYM ha⁻¹ applied in both the seasons. The available P content decreased from the original value without FYM application, but increased with increasing dose of FYM under all the phases of application. With the application of 45 Mg FYM ha⁻¹ during both the seasons, available P increased by about 10 folds.

Thus it can be concluded that under FYM application, fertilizer N should not be reduced, however other fertilizers can be avoided. Application of FYM to winter season crop is more beneficial in upland cropping sequence. The productivity of pearl millet-wheat cropping sequence can be increased while maintaining the environment.

References

- Bhriyuvanshi, S.R. 1988. Long-term effect of high doses of farmyard manure on soil properties and crop yield. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 36: 784 - 786
- Gupta, A.P., Narwal, R.P., Antil, R.S. and Dev, S. 1992. Sustaining soil fertility with organic-C, N, P, and K by using farmyard manure and fertilizer-N in a semi arid zone: A long-term study. *Arid Soil Res. Rehab.* 6: 243 - 251
- Hafez, A.A.R. 1974. Comparative changes in soil physical properties induced by admixtures of manure from various domestic animals. *Soil Sci.* 118: 53 - 58
- Katyal, J.C., Sharma, K.L., Srinivas, K. and Narayana Reddy, M. 1997. Balanced fertilizer use in semi-arid soil. *Fert. News.* 42 (4): 59 - 69
- Körschens, M. and Müller, A. 1996. The static experiment Bad Lauchstädt, Germany. In *Evaluation of Soil Organic Matter Models* Eds. D.S. Powlson, P. Smith & J.U. Smith, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York. Pp. 369 - 376.
- Kukreja, K., Mishra, M.M., Dhankar, S.S., Kapoor, K.K. and Gupta, A.P. 1991. Effect of long-term manurial application on microbial biomass. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 39: 685 - 688.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils using NaHCO₃. United States Department of Agriculture Circular 939. USDA, Washington, DC.
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions.* Wiley, New York.
- Walkley, A. and Black, C.A. 1934. An examination of the method for the determination of soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29 - 38.

Table 1. Grain yield (kg ha^{-1}) of pearl millet and wheat as influenced by phases and dose of FYM and

fertilizer-N (average from 1982 - 1983 to 1997 - 1998)

FYM Dose, Mg ha^{-1}	Phases	Pearl millet				Wheat			
		Fertilizer N dose (kg ha^{-1})				Fertilizer N dose (kg ha^{-1})			
		0	60	120	Mean	0	60	120	Mean
0		1269	1664	1963	1632	1720	2931	3622	2758
15	June	1502	1751	2168	1807	2279	3376	4160	3272
30	June	1627	1851	2312	1930	2552	3679	4327	3519
45	June	1675	1943	2537	2052	2815	3843	4603	3754
15	Oct.	1385	1670	2078	1711	2516	3586	4350	3484
30	Oct.	1449	1842	2135	1809	2907	3863	4736	3835
45	Oct.	1574	1858	2236	1889	3151	4118	5065	4111
15	Both	1507	1884	2347	1913	2949	3940	4725	3871
30	Both	1684	2007	2538	2076	3271	4272	5176	4240
45	Both	1687	2021	2873	2194	3645	4551	5628	4605

Table 2. Effect of phases and dose of FYM and fertilizer N on O.C. and available P content of soil

FYM Dose, Mg ha^{-1}	Phases	Organic-C (%)				Available P (mg kg^{-1})			
		Fertilizer N dose (kg ha^{-1})				Fertilizer N dose (kg ha^{-1})			
		0	60	120	Mean	0	60	120	Mean
0		0.66	0.69	0.69	0.68	6.6	6.6	7.2	6.8
15	June	0.99	0.96	0.97	0.97	18.0	21.0	21.0	20.0
30	June	1.21	1.17	1.17	1.18	34.0	40.0	45.0	39.7
45	June	1.36	1.34	1.35	1.35	45.0	51.0	56.0	50.7
15	Oct.	1.24	1.28	1.26	1.26	17.5	19.5	19.0	18.7
30	Oct.	1.31	1.33	1.31	1.32	28.0	32.0	30.0	30.0
45	Oct.	1.47	1.47	1.47	1.47	36.0	45.0	50.0	43.7
15	Both	1.39	1.39	1.38	1.39	27.0	35.0	41.0	34.3
30	Both	1.61	1.64	1.58	1.61	38.5	47.0	60.0	48.5
45	Both	1.83	1.83	1.80	1.82	48.0	52.0	61.0	53.7

Quantification of the carbon and nitrogen cycles in long-term field experiments in Prague

Kubát, J.; Klír, J.; Cerhanová, D.

Research Institute of Crop Production, Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně, Czech Republic

Material and Methods

Long-term field experiments in Prague were founded by Škarda et al. in 1955 in order to investigate the effect of various fertilisation systems and three different crop rotations on the nutrient uptake, yields and the soil quality. The altitude of the site is 352 m, soil type is Orthic Luvisol, clay-loam, containing 31 % clay particles, average annual temperature is 8.1 °C and average annual precipitation 450 mm. Original experimental design in Prague was 9 experimental fields (blocks), in which the effect of three factors have been investigated: the effect of crop rotation, organic manuring and mineral fertilisation. Individual blocks were split according to organic manuring and each part was further split into variants of mineral fertilisation. Each variant has four replications in a semi-randomised design. The plot size is 12 times 12 m. Four blocks have been cropped according to „classical“ nine years rotation (45 % cereals, 33 % root crops, 22 % fodder crops) for the whole duration of the experiment. This original rotation was changed in 1965 in two fields introducing more cereals (67 % cereals, 11 % rot crops and 22 % fodder crops) in field I and cultivating spring wheat and sugar beet alternatively in field B.

The experiments are rainfed. Crop residues are removed. Tillage is conventional, agrochemicals are applied according to local schemes.

Over the whole time of the experiment, yields of crops (main and second product), its dry matter and N content has been determined. Soil samples were taken in autumn each year and analysed for organic C (dichromate oxidation method according to Alten et al. (1935) and total N (Kjeldahl) were determined.

For this contribution, we have selected four variants of fertilisation from the field III, where the original nine year crop rotation including lucerne has been used and comparable four variants from the block B, in which sugar beet and spring wheat has only been cultivated alternatively since 1965. All long-term experiments contain a control plot (Nil) which has not received any fertiliser since the start of the experiment. The fertilisation treatments of the individual plots is described in Table 1. Data of dry matter yield, N uptake, N inputs in mineral and organic fertilisers, and soil organic carbon and nitrogen measurements were collected from the experiments.

Period of evaluation is 1966 to 1997.

Table 1: Selected fields and variants

	Crop rotation	Variants	Av. N doses kgN.ha ⁻¹ .y ⁻¹
Prague field III	Since 1955:	nil	0
	lucerne, lucerne, w.wheat, s.beet,	NPK	64,6
	s. barley, potatoes, w.wheat,	FYM	38,6
	s. beet, s.barley	FYM+NPK	103,2
Prague Field B	Since 1965:	nil	0
	alternatively sugar beet and	NPK	100
	spring wheat	FYM	57
		FYM+NPK	157

Carbon and nitrogen balances were calculated on the basis output minus input. Carbon balances include the following inputs:

- direct carbon input = C in farmyard manure (on average 8 % C in fresh matter)
- indirect carbon input = C equivalents of fossil fuels which are needed for the production of mineral fertilisers (1,5 kg C per kg N, 0,17 kg C per kg P, 0,2 kg C per kg K)

Output is carbon in crop biomass (= 40 % of dry matter) minus the carbon amount sequestered in the topsoil (0 - 20 cm) during the evaluation period. The sequestered carbon amount in the topsoil was calculated from the soil carbon measurement series by linear regression.

The input is the total N amount applied by mineral and organic fertilisers. Output is the total N uptake by the plants minus the nitrogen amount sequestered in the topsoil (0 - 20 cm) during the evaluation period. The sequestered N amount was calculated from the sequestered carbon amount divided by the mean C to N ratio in the soil.

The long-term bare fallow experiment in Prague was founded on Luvi-haplic Chernozem in Prague-Ruzyně in 1958. It consists of 7 plots three of which were selected for this evaluation:

- control (untreated soil)
- manured with 80 tons of composted manure per ha per year (FYM)
- fertilised with mineral fertilisers in the equivalent doses of N, P, and K as in FYM (NPK)

Since 1989, no manure and fertilisers have been applied and the plots have not been tilled. The plots have been maintained as a bare fallow, weeds have been removed mechanically for the whole time of the experiment.

Soil samples have been taken twice a year till 1979 and once a year since. Depth of sampling was 20 cm in all plots. Over the whole time of the experiment organic C was determined by dichromate oxidation method according to Alten et al. (1935), total N using Kjeldahl method.

Two periods of evaluation were distinguished: 1966 - 1989 (manuring and fertilisation continued) and 1990 - 1998 (no manuring and fertilisation).

Results and discussion

Dry matter yields of crops

Average annual dry matter yield in the nil variant is $6.63 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the field B. Relative difference between the fertilised and nil variants in average yields is almost 50 % in this experiment. The average annual dry matter yield in the nil variant in field III is about 20 % higher ($7.89 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) and the difference between fertilised and nil variants is lower, about 40 %.

Mean annual changes in dry matter yields over the period differ in the selected experiments. Dry matter yields dropped down in the field B, apparently due to the change in the crop rotation in 1965. These changes were mitigated in field III (continued original nine years crop rotation including legumes).

There are slight differences in the average doses of organic and mineral fertilisers in both experiments. Fertilised variants in the field B without legumes received about 30 % more nitrogen in organic and mineral fertilisers than the same variants in the field III. The effect of lucerne on average yields was comparable to about $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ fertilisation on an average.

Sequestered carbon and nitrogen in the topsoil

Organic and mineral fertilisation increased the average C concentration in soil, except for the NPK variant in the bare fallow experiment. The carbon accumulation proceeded during the period of the evaluation in the field III with legumes and, surprisingly, in field B, as well. There was no direct relation between the drop down in the dry matter yields and the rate of organic carbon accumulation in soil. However, remarkable differences in organic carbon accumulation between fields III and B show quite clearly a positive effect of the original crop rotation and lucerne on organic matter accumulation in soil.

In the bare fallow field experiment, there was no C accumulation in the nil and NPK variants. High doses of FYM increased the C concentration in soil in this experiment. The average accumulation rate calculated by means of the linear regression for the period 1966 – 1989 is about 7 % of the carbon added. Since 1990, however, when the application of the FYM finished, the C concentration has been dropping down rather fast.

Similar results were obtained for the total nitrogen concentrations in soil.

Carbon balance

Cultivated crops are, of course essential for a positive C balance. Bare fallow field experiment, therefore, shows negative balance in all variants. All variants of the field III with the crop rotation including lucerne show a higher C-balance values than those in the field B. The difference is 24 and 26 % in the nil and FYM variants, respectively and 18 and 17 % in the NPK and FYM + NPK

variants, respectively. This result does not include the differences in the doses of fertilisers, which might probably increase the differences in the results obtained.

Nitrogen balance

Distinctly positive contribution to the nitrogen balance of the cultivated lucerne is quite apparent. Comparing the results of the field III and field B, the difference in the nitrogen balance in the nil plots is about 60 kg N.ha⁻¹.y⁻¹. Differences in fertilised plots are still greater (about 100 kg N.ha⁻¹.y⁻¹). These results indicate two conclusions. First, crop rotation including lucerne contributes by about 60 kg N.ha⁻¹ annually to the nitrogen budget in the nil variants, on an average. Second, crop rotation including lucerne diminishes nitrogen losses in the fertilised variants by about 40 kg N.ha⁻¹.

Conclusions

- Nine years crop rotation including 21 % lucerne in field III increased the average annual dry matter yields in the nil variant by about 20 % as compared to the nil variant in the field B, where sugar beet and spring wheat was cultivated.
- Dry matter yields decreased in field B over the evaluated period. The decrease in average yields was mitigated by the crop rotation in field III.
- The effect of the crop rotation with lucerne on the dry matter yields was estimated to about 60 kg N.ha⁻¹.y⁻¹.
- Crop rotation increased the accumulation of organic matter in soil. The annual C sequestered to soil was substantially higher in field III as compared to field B.
- Carbon accumulation in the FYM variant in the bare fallow field experiment proceeded for about 14 years. The effect of high doses of the FYM application was additional and amounted about 87 % of the C added, on an average. After this period, carbon mineralisation rate approximately reached the input rate and an equilibrium was established at about 3 % C in soil.
- Crop rotation with lucerne improved C balance by 17 – 26 % and N balance by 62 – 102 kg N.ha⁻¹.y⁻¹. C and N balances were negative in the bare fallow field experiment. Carbon and nitrogen were accumulate in the FYM variant only. No nitrogen was accumulated in the NPK variant.
- The average contribution of lucerne to the nitrogen budget was estimated to 62 kg N.ha⁻¹.y⁻¹, the annual symbiotic nitrogen fixation by lucerne was estimated to 295 kg N.ha⁻¹.y⁻¹.
- Crop rotation with lucerne decreased presumable N losses by 36 – 40 kg N.ha⁻¹.y⁻¹.

This study was supported by EU Copernicus project CIPA-CT-93-0250 and a project of the Ministry of Agriculture Czech Republic EP6470.

Studies on mineral and organic Fractions of nitrogen under continuous use of farmyard manure and inorganic fertilizers in vertisols of india

Thakur, D. S.¹⁾; Bapat, P. N. and Tembhare, B. R.
Department of Soil Science & Agricultural Chemistry,
J. N. Krishi Vishwa Vidyalaya,
Jabalpur – 482004 (M. P.),
India

¹⁾Regional Agricultural Research Station,
IGKV, Boirdadar, Raigarh – 496 001 (M. P.) - India

Introduction

It has long been recognised that the application of fertilizers besides organic manures is essential for the adoption of high yielding technology of crop production.

The long term effect of chemical fertilizers and F.Y.M. on soil fertility and crop yield in cropping system need to be studied. Continuous use of fertilizer and organic manures give rise to various nitrogenous compounds in soils. The present investigation was therefore, undertaken to study the status of nitrogen and its various forms as affected by continuous use of FYM and nitrogenous fertilizers.

Material and Methods

A field experiment under All India Coordinated Projekt on Long Term Fertilizers Experiment was initiated during 1971 – 1972 at the J. N. Krishi Vishwa Vidyalaya, Jabalpur, M. P. Every year, soybean – wheat – fodder maize rotation was followed under this project. The treatments included were twelve, but the present investigation has been undertaken to study the distribution of various forms of nitrogen, only treatments such as T₁ (no fertilizer + pesticide + weedicide ----- control), T₂ (100 % NPK + pesticide + weedicide) and T₃ (100 % NPK + FYM +pesticide + weedicide) were considered.

The experiment was conducted under Randomized Block Design with four replications. The soil is clayey in texture and neutral in reaction (pH 7.6). Initial soil test values were organic carbon 0.37 %, available N 193.00 kg/ha, available P 7.60 kg/ha, available K 370.00 kg/ha. Initially soil samples (0 – 15 cm) were collected before starting of the long-term fertilizer experiment i.e. April, 1972. Subsequently, the soil samples were collected every year before the sowing of soybean crop and analysed for various soil properties alongwith fractions of nitrogen by the standard procedures (Black, 1965).

Results and discussion

The results regarding the content of all the nitrogen fraction alongwith available-N and organic carbon content are given table 1.

Amongst the different fractions of nitrogen estimated in soil, Amino acid-N constituted the major portion followed by Hydrolysed NH_4^+ -N > Hexosamine-N > Serine + Threonine-N > NH_4^+ -N > NO_3^- -N > NO_2^- -N.

Total-N:

Total-N content of the soil increased significantly with the year and treatment as well. Application of fertilizer (T_2) alone and with FYM (T_3) has build up the nitrogen status from the initial level of 1279 kg/ha in 1972 to 2561 kg/ha and 2754 kg/ha in the year 1983, respectively. This clearly indicate the superiority of FYM addition over fertilizer alone. The similar findings were also reported by Kanwar and Prihar (1962) and Kamat et al. (1981).

Ammoniacal-N:

Both the treatments (T_2 & T_3) have increased the ammoniacal-N content of the soil over control (T_1). Its content increased with time from 122 kg/ha in 1972 to 162 kg/ha in 1983. Increase in ammoniacal-N content of the soil by the application of FYM and inorganic nitrogenous fertilizer was reported by Sagwal (1982).

Nitrate-N:

Data in the table 1 indicate that its content increased significantly by the treatment T_2 and decreased by the treatment T_3 as compared with T_1 and T_2 . Sagwal and Ruhel (1982) reported a decrease in NO_3^- -N in presence of FYM. This may be attributed to the high requirement of micro-organisms which are expected to be very high under FYM treatments and thus will exhaust the readily available N in soil.

Nitrite-N:

Nitrite-N content also increased significantly with T_2 and T_3 compared to control (T_1). Similar increase in the nitrite-N content of the soil have been reported by Sagwal (1982).

Hydrolysed NH_4^+ -N:

Over all the hydrolysed ammoniacal-N content of the soil was in the order of $T_3 > T_2 > T_1$ in all the years, starting from 1972 to 1983. Kamat et al. (1981) have reported that high doses of FYM increased the level of hydrolysed NH_4^+ -N considerably.

Hexosamine-N (amino-sugar):

As with other nitrogenous fraction this form also increased significantly over control (T₁) by the application of nitrogen alone and with FYM combination (Table 1). However, its contents was highest in T₃ treatment as compared to T₂ (Sagwal, 1982).

Serine + Threonine-N (amino acid-N) and Amino acid-N:

Data presented in table 1 revealed that serine + threonine-N and amino acid-N content of the soil increased significantly with the application of nitrogenous fertilizer and with FYM combination over control.

Kamat et al. (1981) have also reported in increased soluble-N (amino acid-N) by high dose of FYM over control. Its content was further increased due to incorporation of fertilizers, particularly nitrogen, which may be attributed to greater synthesis and transformation of complex-N compounds in presence of readily available nitrogen.

Available nitrogen:

A considerable increase in available nitrogen was found with the application of nitrogen alone and alongwith FYM. The maximum available-N was found with 100 % NPK + FYM (T₃), which was significantly higher than T₁ and T₂ (Shinde and Ghosh, 1971 and Sinha et al., 1980).

In a correlation study of available nitrogen with different nitrogenous fractions, the highest coefficient value was obtained with amino acid-N ($r = 0.7436^{**}$), followed by ammonical-N ($r = 0.7136^{**}$), Serine + Threonine ($r = 0.7089^{**}$), Hydrolyzed ammoniacal-N ($r = 0.6843^{**}$), Nitrate-N ($r = 0.6618^{**}$), Hexosamine-N ($r = 0.6411^{**}$), Total-N ($r = 0.5312^{**}$) and Nitrate-N ($r = 0.5046^{**}$).

References

- BLACK, C. A. (1965), Methods of soil Analysis, Am. Soc. Agron. Inc. Wisconsin, Madison
- KAMAT, V. N.; MAHANKAR, S. T.; PURANIC, R. B.; KOHADKAR, W. S. AND JOSHI, R. P. (1981), J. Indian Soc. Soil Sci., 30, 381 – 3
- KANWAR, J. S. AND PRIHAR, S. S. (1962), J. Indian Soc. Soil Sci., 10, 109 – 10
- SAGWAL, O. P. (1982), Thesis Abstracts, Vol. III No. 1, 279
- SAGWAL, O. P. AND RUHAL, D. S. (1982), 48th Annual Convention Indian Soc. Soil Sci., HAU, HISSAR
- SHINDE, D. A. AND GHOSE, A. B. (1971), Int. Symp. Soil Fert. Evaluation, New Delhi, 905 – 6
- SINHA, N. P. AND PRASAD, B. (1980), Pl, Soil, 43, 159

Table 1: EFFECT OF INORGANIC-N ALONE AND WITH FYM ON THE NITROGEN FRACTIONS OF SOIL (kg/ha)

Total - N

Treatment/ Year	1972-74	1975-77	1978-80	1981-83
T1 (Control)	1312	1439	1387	1416
T2 (100% NPK)	1665	2154	2240	2456
T3 (100% NPK + FYM)	1923	2345	2473	2683

AMMONIACAL - N

T1 (Control)	107	111	106	102
T2 (100% NPK)	131	149	149	173
T3 (100% NPK + FYM)	142	157	175	196

NITRATE - N

T1 (Control)	32	50	52	80
T2 (100% NPK)	44	66	72	90
T3 (100% NPK + FYM)	27	27	24	33

NITRITE - N

T1 (Control)	10	13	13	16
T2 (100% NPK)	23	34	40	76
T3 (100% NPK + FYM)	22	28	37	65

HYDROLYSABLE AMMO. - N

T1 (Control)	301	347	323	317
T2 (100% NPK)	375	503	521	553
T3 (100% NPK + FYM)	440	525	538	570

HEXOSAMINE - N

T1 (Control)	292	200	305	324
T2 (100% NPK)	331	387	397	407
T3 (100% NPK + FYM)	355	454	419	455

SERINE + THREONINE - N

T1 (Control)	243	253	254	252
T2 (100% NPK)	282	327	363	405
T3 (100% NPK + FYM)	308	376	447	485

AMINO ACID - N

T1 (Control)	307	318	323	332
T2 (100% NPK)	436	457	655	712
T3 (100% NPK + FYM)	585	737	763	813

AVAILABLE - N

T1 (Control)	186	184	169	195
T2 (100% NPK)	204	206	212	210
T3 (100% NPK + FYM)	222	235	240	270

ORGANIC CARBON (%)

T1 (Control)	0.41	0.41	0.37	0.47
T2 (100% NPK)	0.48	0.50	0.52	0.51
T3 (100% NPK + FYM)	0.57	0.61	0.63	0.71

pH (1:2.5)

T1 (Control)	7.6	7.6	7.7	7.6
T2 (100% NPK)	7.5	7.6	7.6	7.6
T3 (100% NPK + FYM)	7.5	7.5	7.5	7.5

E.C. (dS m⁻¹)

T1 (Control)	0.16	0.17	0.18	0.18
T2 (100% NPK)	0.18	0.19	0.19	0.20
T3 (100% NPK + FYM)	0.19	0.21	0.20	0.22

Labile organische P-Formen in Böden des Dauerdüngungsversuches Askov

Guggenberger, G.¹⁾; Rubæk, G.²⁾ und Christensen, B.²⁾

¹⁾Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth

²⁾Danish Institute of Plant and Soil Science, Research Centre Foulum, DK-8830 Tjele

Einleitung

In landwirtschaftlichen Böden ist neben der Düngung von anorganischem Phosphor (P_i), der Desorption von P_i sowie der Lösung von gefällttem P_i die Mineralisation von organisch gebundenem Phosphor (P_o) ein wesentlicher Prozeß zur Nachlieferung von pflanzenverfügbarem P_i (Stewart und Tiessen, 1987). Verschiedene Untersuchungen auf Langzeitversuchsflächen zeigten, daß der Gehalt am gesamten P_o nur wenig durch die Düngungspraxis beeinflusst wird (z.B. Chater und Mattingly, 1980). P_o zeichnet sich jedoch durch eine variierende Labilität, d.h. eine unterschiedliche potentielle Mineralisierbarkeit durch Mikroorganismen oder Phosphohydrolasen aus (Chauhan et al., 1981). Eine Unterteilung von P_o in Fraktionen unterschiedlicher Labilität erscheint daher sinnvoll sowohl aus Sicht der potentiellen Verfügbarkeit von P_o als auch im Hinblick zur Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Düngung auf den P-Kreislauf landwirtschaftlicher Böden.

Ziel der vorliegenden Studie war die Analyse des Pools an labilem P_o sowie die Identifizierung von Struktur und Herkunft der leicht verfügbaren P_o -Formen in landwirtschaftlichen Böden mit unterschiedlichem Düngungsmanagement (Dauerdüngungsversuch Askov, Dänemark).

Material und Methoden

Die Studie wurde am Standort Lermarken des Askov-Langzeitversuchs durchgeführt. Der Bodentyp ist ein Typic Hapludalf, die Bodenart ein schwach lehmiger Sand. Für die Untersuchungen wählten wir die Düngungsvarianten ungedüngt (0, seit 1893), mineralisch gedüngt (2NPK, seit 1923) und organisch gedüngt (2AM, seit 1923) aus. Die 2NPK- und 2AM-Varianten erhalten äquivalente Düngergaben von jährlich 200 kg N ha⁻¹, 39 kg P ha⁻¹ und 184 kg K ha⁻¹ seit 1973. In der 2AM-Variante wurde 1973 Stallmist durch Gülle ersetzt. Der Fruchtwechsel beinhaltet Winterweizen, Zuckerrübe, Sommergerste, Leguminosen/Gras-Mischung. Das unterschiedliche Düngungsmanagement führte zu Unterschieden in zahlreichen bodenchemischen und -physikalischen Eigenschaften (zusammengefaßt in Christensen, 1997). Die C_{org} -Gehalte steigen in der Reihenfolge

0 (10.3 g kg⁻¹), 2 NPK (12.4 g kg⁻¹) und 2 AM (14.3 g kg⁻¹) an, die Gehalte an Gesamt-P (P) liegen in den gedüngten Flächen ebenfalls über der 0-Variante (318 mg kg⁻¹), unterscheiden sich jedoch untereinander mit 553 mg kg⁻¹ (2 NPK) und 535 mg kg⁻¹ (2 AM) nicht signifikant.

Die folgenden Analysen wurden an der Feinerde (< 2 mm) und an den Korngrößenfraktionen Sand (20 - 2000 µm), Schluff (2 - 20 µm) und Ton (< 2 µm) durchgeführt. Die Gewinnung der Korngrößenfraktionen erfolgte nach Christensen (1985).

Labile P_i- und P_o-Spezies wurden aus den Bodenfraktionen mittels Sorption an ein makroporöses Anionen-Austauscherharz (Lewatite MP 500A) extrahiert und anschließend mit 1M NaCl vom Harz desorbiert. P_i wurde direkt und P_i nach Perchlorsäureaufschluß mit der Molybdänblau-Methode gemessen, P_o wurde aus der Differenz von P_i und P_i errechnet. Eine genaue Beschreibung der Methode findet sich in Rubæk und Sibbesen (1993). Das Harz erfaßt P_i und P_o in der Bodenlösung sowie labile Spezies, welche durch die herbeiführte Gleichgewichts-veränderung in der Bodenlösung von der Festphase freigesetzt werden (Sibbesen und Rubæk, 1994). Diese Spezies werden weiterhin als Harz-P_i und Harz-P_o bezeichnet.

Die strukturelle Kennzeichnung von NaOH-löslichen P-Spezies erfolgte mittels Lösungs-³¹P-NMR-Spektroskopie. Die Meßbedingungen sind in Guggenberger et al. (1996) dargestellt. Folgende P-Spezies wurden mit dieser Methode identifiziert: Pyrophosphat (chemische Verschiebung von -3.5 - -5.5 ppm), Diester-P (-2 - 1.2 ppm), Teichonsäure-P (1.2 - 2.5 ppm), Monoester-P (3.0 - 6.2 ppm), Orthophosphat (6.2 - 6.6 ppm) und Phosphonat (19.2 - 19.4 ppm). Die Quantifizierung der chemischen P-Spezies erfolgte über Integration der Peakflächen.

Ergebnisse und Diskussion

Der ungedüngte Boden enthält wesentlich weniger P_i als die gedüngten Standorte, wobei die Unterschiede für P_i stärker sind als jene für P_o (Abb. 1). P_i und P_o unterscheiden sich nicht zwischen der mineralisch und der organisch gedüngten Variante. Dies weist auf eine rasche Mineralisation von P_o im ausgebrachten Stallmist bzw. Gülle hin. Die Unterschiede zwischen den gedüngten Flächen und der ungedüngten Variante sind am deutlichsten für die Harz-P_i- und Harz-P_o-Fraktionen, d.h. für die labilsten P-Formen (Abb. 1). Die Konzentrationen an Harz-P_o variieren stark im Jahresgang in Abhängigkeit der Düngung und des Wechsels von Trocken- und Feuchtephasen (nicht gezeigt). Höchste Gehalte an Harz-P_o wurden nach ersten Regenereignissen nach längerer Trockenheit gemessen.

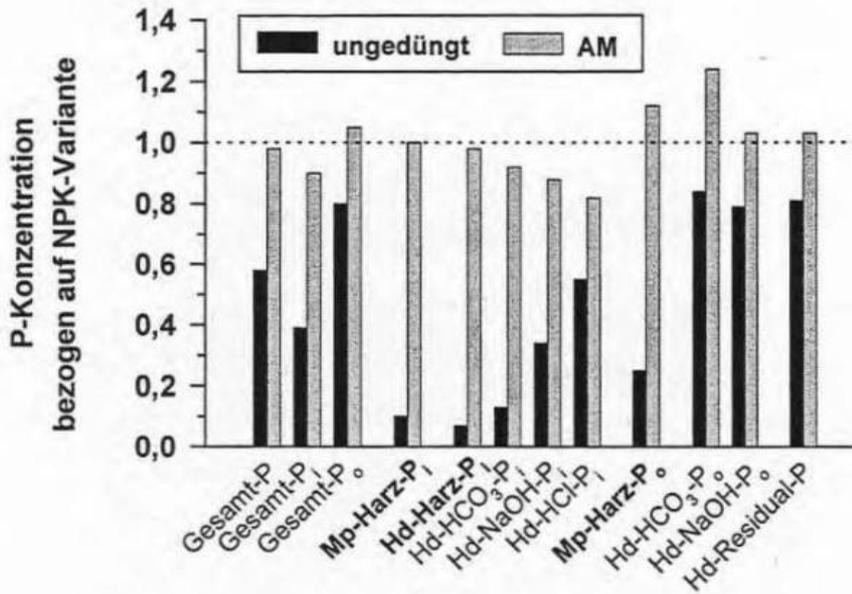


Abb. 1: Konzentration an verschiedenen P-Fractionen in der ungedüngten und organisch gedüngten Variante relativ zur mineralisch gedüngten Variante. Abkürzungen: Mp, makroporös; Hd, Hedley-Fraktion nach Hedley et al. (1982); Abbildung aus Rubæk und Sibbesen (1995).

Erste Aussagen zur chemischen Zusammensetzung von Harz-P_o lassen sich aus C:P_o-Verhältnissen im Extrakt ziehen, welche für alle drei Standorte bei cirka 10 liegen. Nach Adams (1990) ist diese hohe P-Funktionalität eine wichtige Voraussetzung für die Wasserlöslichkeit und die mikrobielle Verfügbarkeit von Harz-P_o. Die ³¹P-NMR-Spektren weisen neben den dominierenden Signalen für Monoester-P signifikante Resonanzen für Teichonsäure-P und sonstige Diester-P auf (nicht gezeigt). Eine Analyse des funktionellen Zusammenhangs nach Webster (1989) ergibt eine straffe Beziehung zwischen diesen chemischen P-Spezies und Harz-P_o (Abb.2). Diester-P bestehen v.a. aus Phospholipiden, welche wie die Teichonsäuren mikrobiell synthetisiert sind und im Boden rasch mineralisiert werden (Hinedi et al., 1988). Diese chemischen P-Spezies tragen maßgeblich zum Harz-P_o bei. Harz-P_o repräsentiert daher einen funktional und strukturell sinnvollen P-Pool im Boden.

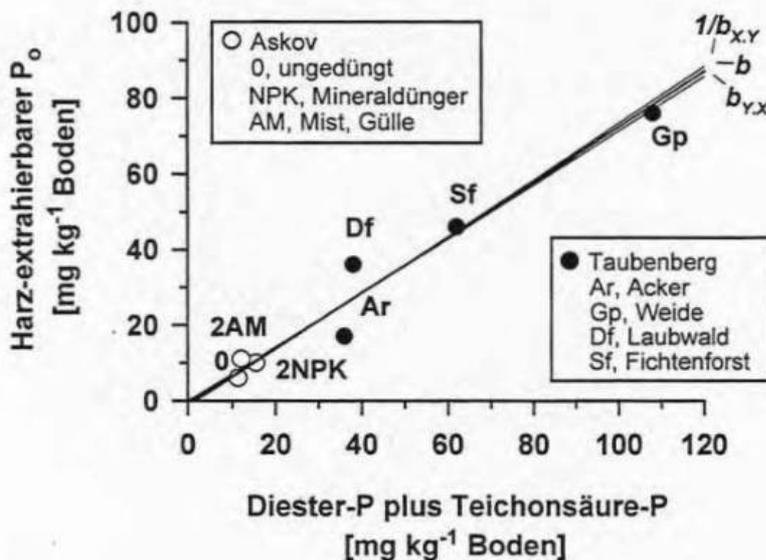


Abb. 2: Funktionale Beziehung zwischen Harz-P_o und Diester-P plus Teichonsäure-P ermittelt aus ³¹P-NMR-Spektren von NaOH-Extrakten. Neben den Askov-Böden sind unterschiedlich genutzte Böden des Standortes Taubenberg berücksichtigt; $b=0.731$, $r=0.98$, $P<0.001$; Abbildung aus Guggenberger et al. (1996).

Die Auftrennung des Bodens in Korngrößenfraktionen liefert wertvolle Informationen bezüglich der Struktur und Funktion der organischen Bodensubstanz (zusammengefaßt in Christensen, 1996). So sind die C-Spezies der Sandfraktion v. a. pflanzenbürtig, während sie in der Tonfraktion hauptsächlich mikrobiell synthetisierte Verbindungen repräsentieren. Tongebundener organischer Stickstoff gilt außerdem als leichter mineralisierbar als der Schluffgebundene. Unsere Analysen zum labilen P_o in Korngrößenfraktionen zeigen, daß Harz- P_o wesentlich höhere Konzentrationen in der Tonfraktion aufweist als in den anderen Fraktionen (Tab. 1). Hierzu paßt auch, daß in der Tonfraktion Diester-P und Teichonsäure-P angereichert sind. Aus den Ergebnissen ist zu schließen, daß der aktive, leicht mineralisierbare P_o -Pool v. a. in der Tonfraktion lokalisiert ist.

Tab. 1: Harz- P_o und Verhältnisse von Monoester-P/(Diester-P plus Teichonsäure-P) in den ^{31}P -NMR-Spektren von NaOH-Extrakten (aus Rubæk et al., 1999).

Variante	Harz- P_o [mg kg ⁻¹ Fraktion]			Monoester-P/(Diester-P + T.säure-P)		
	Sand	Schluff	Ton	Sand	Schluff	Ton
0	< 3	13	43	4.00	4.00	0.79
2NPK	< 3	18	36	4.18	5.57	1.04
2AM	< 3	14	42	4.52	3.23	1.06

Die hier vorgestellten Ergebnisse sind ausführlich in Rubæk und Sibbesen (1995), Guggenberger et al. (1996) und Rubæk et al. (1999) diskutiert.

Literatur

- Adams, M.A. (1990). *Soil Biol. Biochem.* **22**, 419-421.
- Chater, M. und G.E.G. Mattingly (1980). *Rothamsted Exp. Stn. Rep.* 1979, Part 2, pp. 41-61.
- Chauhan, B.S., J.W.B. Stewart und E.A. Paul (1981). *Can. J. Soil Sci.* **61**, 373-385.
- Christensen, B.T. (1985). *Acta Agric. Scand.* **35**, 175-187.
- Christensen, B.T. (1996). Carbon in primary and secondary organomineral complexes. *In* M.R. Carter und B.A. Stewart (Hrsg.). *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soil*. CRC Lewis publishers, Boca Raton, Florida.
- Christensen, B.T. (1997). *Arch. Acker- Pfl. Boden.* **42**, 265-278.
- Guggenberger, G., B.T. Christensen, G. Rubæk und W. Zech (1996). *Eur. J. Soil Sci.* **47**, 605-614.
- Hedley, M.J., J.W.B. Stewart und B.S. Chauhan (1982). *Soil Sci. Soc. Am. J.* **46**, 970-976.
- Hinedi, Z.R., A.C. Chang und R.W.K. Lee (1988). *Soil Sci. Soc. Am. J.* **52**, 1593-1596.
- Rubæk, G. und E. Sibbesen (1993). *J. Soil Sci.* **44**, 467-478.
- Rubæk, G. und E. Sibbesen (1995). *Biol. Fertil. Soils* **20**, 86-92.
- Sibbesen, E. und G. Rubæk (1994). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **25**, 1671-1683.
- Rubæk, G., G. Guggenberger, W. Zech und B.T. Christensen (1999). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, im Druck.
- Stewart, J.W.B. und H. Tiessen (1987). *Biogeochemistry* **4**, 41-60.
- Webster, R. (1989). *Soil Use Manage.* **5**, 47-53.

Long-term Experiment on a Tropical Acrisol: Evolution of Soil Properties and Crop Yield

Gaiser, Th.¹; Fadegnon, B.²; Cretenet, M.² and Gaborel, Ch.²

¹Universität Hohenheim, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, 70593 Stuttgart;

²CIRAD, Departement des cultures annuelles, Montpellier, France

Introduction

Long-term experiments in tropical regions are scarce, although they are the basis for recommendations towards sustainable land management. The paper reports about 27 years of experience in a fertilizer experiment conducted by the RCF (Recherche Coton et Fibres, CIRAD) on a highly weathered Acrisol (Ferrali-Haplic Acrisol) in the Republic of Benin (West Africa).

Material and Methods

Between 1972 and 1980 the effect of mineral fertilizer and different strategies of organic matter application were tested in a maize/cotton cropping sequence in a subhumid tropical environment (27 °C annual mean temperature, 1000 mm of rain per year, two cropping seasons). Nitrogen (116 kg ha⁻¹), phosphorus (72 kg P₂O₅), potassium (60 kg K₂O), sulphur (22 kg) and boron (2.2 kg) were applied annually in the mineral fertilizer treatment (Treatment F1). In addition two strategies of organic matter supply were tested: one treatment with recycling of crop residues (R1) and a second treatment with crop residue recycling and additionally 10 t DM ha⁻¹ a⁻¹ of fallow residues consisting mainly of *Panicum maximum* (R2). In the control treatment (F0/R0) no mineral fertilizer was applied and crop residues were systematically removed. Each treatment consisted of 8 replications. In 1980 the experimental protocol was modified due to the exhausting of the control plots (F0/R0). Since 1982 (regeneration phase) mineral fertilizer, crop residues and fallow residues have been applied uniformly in all treatments and the after-effect of the previous treatments was monitored.

Results and discussion

During the **exhaustion phase** (1972 - 1980), maize yields were highest when mineral fertilizer was applied in combination with fallow residues (F1/R2). However, there was no significant difference between the application of fallow residues with mineral fertilizer (F1/R2) or fallow residues only (F0/R2). In the treatments without addition of organic matter (F0/R0 and F1/R0) yields declined continuously (Fig. 1). The same trends were observed for cotton as the second crop (data not shown). Soil analysis in 1982 (at the end of the exhaustion phase) indicated higher organic carbon content and higher exchangeable K and Ca in plots with regular fallow residue application. Regular addition of fallow residues was able to maintain soil organic carbon content and exchangeable Ca at the initial level and increased exchangeable K and Mg (Fig. 2). The constant higher yield in plots

receiving fallow residues was mainly due to a better nutrient supply to the crop. Table 1 shows that P concentration in cotton was below the sufficiency level in all treatments (even with mineral fertilizer), but the highest P concentration was found in the treatments with fallow residue application. In the plots without organic matter input (F0/R0, F1/R0), K concentration in cotton was always below the sufficiency level, whereas in the fallow residues treatments K concentration was at least twice as high. Nitrogen concentration was generally higher in the plots with mineral fertilizer (F1). The results suggest improved P and K nutrition of the crop when fallow residues were applied and improved N nutrition with mineral fertilization.

During the **regeneration phase** (since 1982) the yield level of maize (Fig. 1) and cotton (data not shown) in the former R0 and R1 plots increased considerably through the regular addition of mineral fertilizer and 10 t ha⁻¹a⁻¹ of fallow residues. However, these plots remained at 80 % (maize) and 60 % (cotton) of the yield level of the former fallow residue treatments, indicating that soil fertility could not be entirely restored over a period of eight years. Soil analysis revealed significant lower content of organic carbon, exchangeable Ca and Mg in former plots without organic matter application (Fig. 3). Foliar analysis of maize leaves in 1991 indicated low nitrogen status in the former R0 and R2 treatments (data not shown). Moreover, a cation disequilibrium (K:Ca:Mg = 85:3:12) was observed in all plots, probably caused by the regular application of K (and physiologically acid mineral fertilizers like urea) since 1982 without an adequate replenishment of the Ca and Mg reserves in the soil. Minor elements like Zn may also be affected. Calcium concentrations were close to the deficiency level in all treatments, however in former fallow residue plots (R2), it was 36 % higher than in former plots without organic matter input (R0). Biological limitations by nematodes in the former R0 and R1 plots have been studied with negative results. Physical limitations like increased water stress compared to the former fallow residue treatments were not observed. Water stress occurred rather in the former fallow residue treatments as illustrated by the higher interannual variation of maize yield. Further investigations need to test whether the persistent discrepancy between former treatments with and without fallow residues after 17 years of regeneration with high amounts of organic matter is due to a (reversible) cation disequilibrium or is caused by an irreversible degradation of soil fertility.

References

- Bergmann, W. and Neubert, P. (1976): Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse zur Ermittlung von Ernährungsstörungen und des Ernährungszustandes der Kulturpflanzen. Fischer Verlag, Jena. 688 p.
- Cretenet M. (1993): Rapport de mission au Benin. CIRAD, Montpellier, France. pp. 17-30.
- Loué, A. (1986): Mais. In: Martin-Prevel, P., Gagnard, J. and Gautier, P. (eds.), L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes. Lavoisier. Paris. pp. 598-631.

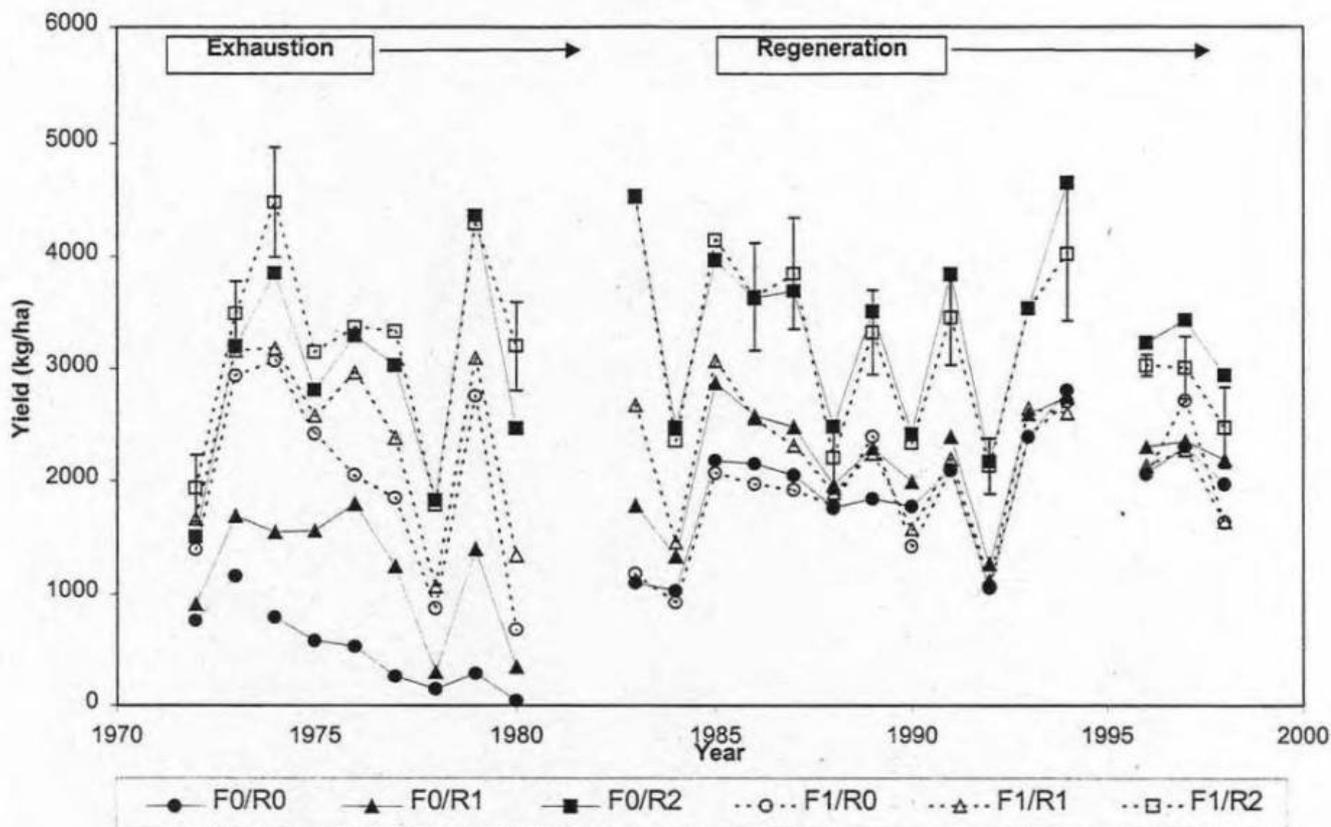


Figure 1: Evolution of maize yield in relation to application of mineral fertilizer (F0 = none, F1 = 116/72/60 kg ha⁻¹ a⁻¹) and organic matter input (R0 = none, R1 = crop residues, R2 = R1+10 t ha⁻¹ fallow residues) during the exhaustion period (1972-1980) and the regeneration period (since 1982) with uniform application of mineral fertilizer and fallow residues (F1/R2). (Error bars: LSD0.05).

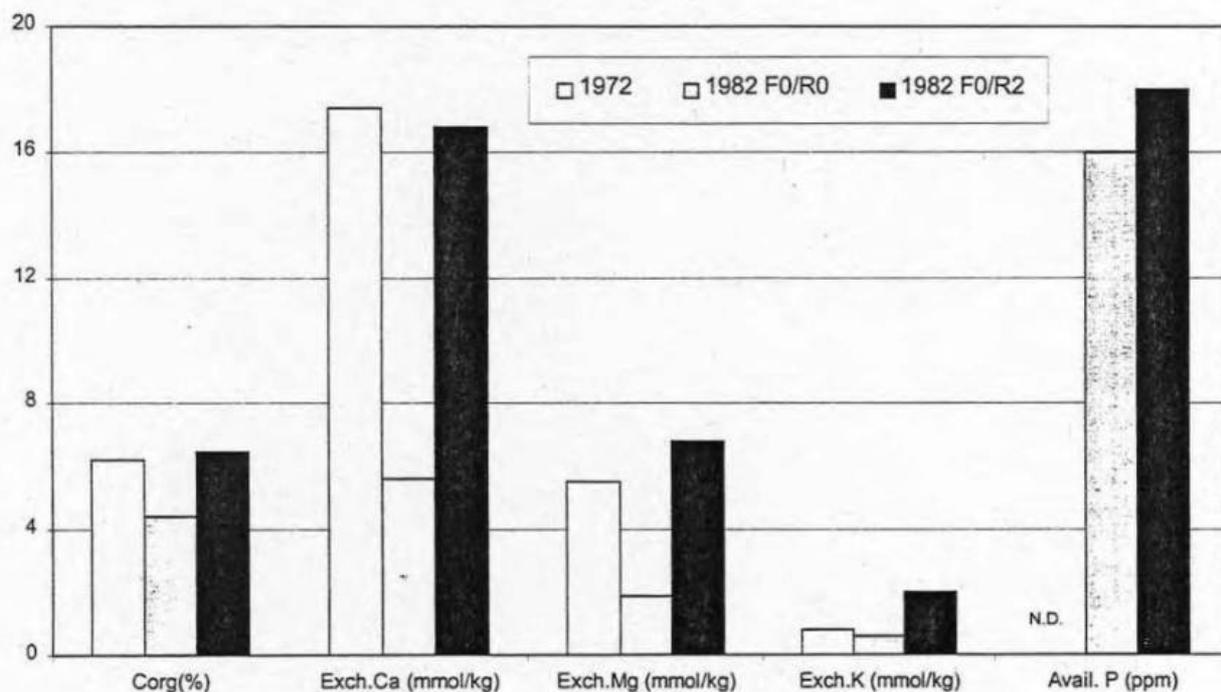


Figure 2: Evolution of soil chemical properties (0-30 cm) by regular addition of 10 t ha⁻¹a⁻¹ of fallow residues (F0/R2) over a ten years period compared to the control without organic matter input (F0/R0) on a Ferrali-Haplic Acrisol under subhumid tropical conditions

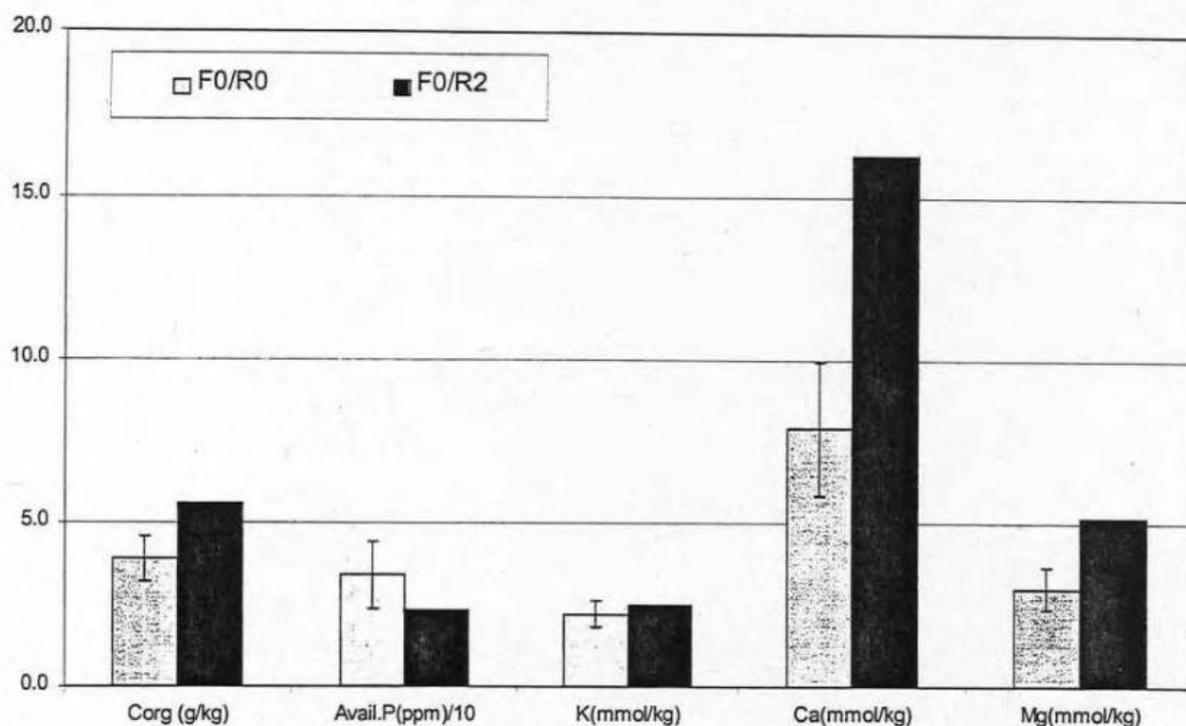


Figure 3: Topsoil nutrient status (0-10 cm) after eight years of uniform application of mineral fertilizer and fallow residues in former plots with (F0/R2) and without (F0/R0) fallow residue application. (Error bars: LSD0.05).

Table 1: Nutrient concentration (g kg^{-1}) in cotton leaf blades (N, P, S) and petioles (K) at flowering (sufficiency level from Bergmann and Neubert, 1976)

	1975			1976			
	N	P	K	N	P	K	S
F0/R0	3.83	0.30	1.78	3.90	0.31	1.77	0.39
F0/R1	4.15	0.27	1.47	4.05	0.30	2.42	0.37
F0/R2	3.98	0.34	6.25	4.48	0.37	6.11	0.39
F1/R0	4.82	0.34	1.68	5.25	0.31	1.64	0.36
F1/R1	4.64	0.35	2.52	5.30	0.32	3.18	0.32
F1/R2	4.81	0.38	6.49	5.05	0.38	5.95	0.39
Sufficiency	> 4.50	> 0.40	> 2.00	> 4.50	> 0.40	> 2.00	> 0.30

Response of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br) hybrids to integrated nutrient management in semi-arid tropical environment

R.Singh, D.P.Singh and O.P.S.Verma
Department of Agronomy, CCS Haryana Agricultural University,
Hisar-125 004, India

ABSTRACT

The field experiments were conducted with three pearl millet hybrids (viz. HHB-50, HHB-60, HHB-67) under twelve fertility levels viz. control, bio-fertilizer (*Azotobacter chroococcum*), 5 t FYM ha⁻¹, 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹, 40 kg N ha⁻¹, 40 kg N + biofertilizer ha⁻¹, 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹, 80 Kg N ha⁻¹, 80 kg N + 5 t FYM ha⁻¹, 120 Kg N ha⁻¹, 120 kg N + 5 t FYM ha⁻¹, 160 kg N ha⁻¹) during monsoon seasons at the research farm of the CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India. The results of this investigation revealed that the genotypes HHB-50 and HHB-60 were significantly higher yielder than the HHB-67. In general, an increased levels of fertilizer application improved yield contributing characters, seed and stover yields. However, yield advantages varied significantly under low, medium and high fertility levels. In terms of seed yield, the application of 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ was significantly better than 40 kg N ha⁻¹. At medium level of fertility, the 80 kg N + 5 t FYM ha⁻¹ was as good as 120 kg N ha⁻¹ and at higher level of nitrogen application, the 120 kg N + 5 t FYM ha⁻¹ was statistically at par with 160 Kg N ha⁻¹. It was interesting to note that the yield was almost 1.5 fold with 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ and two fold with 40 kg N ha⁻¹ + biofertilizer or more than two fold with 40 kg N ha⁻¹ + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ over control (no fertilizer). But it required 80 kg ha⁻¹ extra nitrogen application (120 kg N + 5 t FYM ha⁻¹) to get just 50% of additional yield advantage over 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹. Also, the application of 5 t FYM + biofertilizer with or without 40 kg N ha⁻¹ maintained higher nitrogen use efficiency. In conclusion, the pear millet crop with improved hybrids like HHB-50 and HHB-60 could be benefitted most with the application of 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ in fragile water deficit environments of India and other tropical countries.

INTRODUCTION

Pearl millet is the sixth most important cereal crop of the world. India and Africa together accounts for 93.2 per cent of the total pearl millet production. In India, it is grown on about 9.5 million hectare with a productivity of 527 kg ha⁻¹. The cultivation of high yielding short duration hybrids under adequate supply of nutrients and water could produce spectacular higher grain yield (3-4 t/ha) of pearl millet. However, the major proportion of area under pearlmillet is rainfed and owned by resource poor farmers. Moreover, the agrochemical based modern intensive agriculture has created numerous problems like nutrient imbalance, deterioration of soil health and environmental pollution even in favourable irrigated environment. Thus, an integrated nutrient management system through judicious use of inorganic, organic and biofertilizers can play a crucial role in maintaining good soil health, balanced nutrient supply and higher quality production of pearl millet (Verma, 1996; Tilak and Singh, 1996).

Application of FYM in pearl millet crop is the oldest and most widely acceptable practice of nutrient replenishment in India (Verma, 1996). In addition to the supply of available nutrients directly, the use of FYM also mobilizes the other unavailable nutrients present in soil system (Ruhel and Shukla, 1979). Pearl millet crop could be benefitted even with low doses of 5 t (Kumar *et al* 1993; Verma, 1996) and 10 t FYM ha⁻¹ (Maliwal *et al*, 1985) on light textured soils. Also in recent years, biofertilizers have been recognized as an important and cost effective component of integrated management approach to plant nutrient supply (Tilak, 1991). The inoculation of seeds of pearl millet with *Azotobacter chroococcum* (Mac 68) resulted in significant higher seed yield of pearl millet in the presence of FYM (Laura *et al*, 1994; Verma, 1996). In pearl millet- wheat system, the substitution of 25 to 50% nitrogen of recommended NPK with FYM resulted in marginal to significant yield benefits in both the crops (Hooda *et al*, 1991; Hegde and Dwivedi, 1993). However, the information on the response of pearl millet hybrids to graded levels of nitrogen in combination of FYM and bio-fertilizers is still inadequate. This paper is, therefore, directed to report and discuss the response of pearl millet hybrids to varied levels of integrated nutrient management system in semi-arid tropical environment of Indian sub-continent.

MATERIALS AND METHODS

The field experiments were conducted during the monsoon seasons of 1993 and 1994 at the Research Farm of CCS Haryana Agricultural University, Hisar (29° 10' N latitude, 75° 46' E longitude, 215 m altitude), India. Hisar has a typical semi-arid climate with maximum temperatures fluctuating around 45°C during dry summer and temperature below freezing point in winter. The average annual rainfall is around 400 mm, most of which is received from South-West monsoon during July, August and September. The crop of pearl millet received 214 mm and 266 mm rainfall during the growing season of 1993 and 1994. The experiments were conducted on sandy loam soil of medium fertility (0.30 & 0.30 % organic carbon, 180 & 184, 18 & 19, 401 & 412 kg ha⁻¹ available nitrogen, phosphorus and potassium, respectively during two seasons) and slightly alkaline in reaction (pH = 8.0). Soil of the experimental plot retained respectively about 18.2% and 8.2% moisture at 0.03 Mpa and 1.5 M Pa tensions with mean bulk density of 1.40 g cm⁻³.

The experiments were laid out in split plot design by keeping three pearl millet hybrids (HHB-50, HHB-60, HHB-67) in main plots and 12 fertility levels [Control (T1), Biofertilizer (*Azotobacter chroococcum*) (T2), 5 t FYM ha⁻¹ (T3), 5 t FYM +Biofertilizer ha⁻¹ (T4), 40 kg N ha⁻¹ (T5), 40 kg N +Biofertilizer ha⁻¹ (T6), 40 kg N +5 t FYM +Biofertilizer ha⁻¹ (T7), 80 kg N ha⁻¹ (T8), 80 kg N+ 5 t FYM ha⁻¹ (T9), 120 kg N ha⁻¹ (T10), 120 kg N +5 t FYM ha⁻¹ (T11), 160 kg N ha⁻¹ (T12)] in sub-plots (4.05 m x 5.0 m) with four replication. On oven dry basis, the

FYM used in this study contained 0.60 and 0.67 % nitrogen, 0.21 and 0.24 % phosphorus and 0.64 and 0.70 % potassium during 1993 and 1994, respectively.

The crop was sown on August 4, 1993 and July 28, 1994 during two seasons, respectively by using 5 kg seed rates ha⁻¹ at row to row distance of 0.45 m. The recommended doses of phosphorus (25 kg P₂O₅ ha⁻¹) and zinc sulphate (25 kg ha⁻¹) were applied uniformly at the time of seed bed preparation to the whole experimental plot. Half of the N as per treatment was applied at the time of sowing and the remaining half was top dressed at the time of first irrigation. The whole dose of FYM @ 5 t ha⁻¹ was applied 20 days before seeding as per treatment. Biofertilizer was applied at the time of sowing by treating the seeds with *Azotobacter chroococcum* a few hours before sowing. Only one uniform irrigation was applied during the fourth week after sowing to the whole crop. In order to maintain uniform plant population within the rows thinning/gap filling (by transplanting) was done at the time of irrigation to maintain about 600,000 plants ha⁻¹. Other agronomic practices, measurements of growth and yield parameters and analyses of soil and plant samples and statistical analysis of the results were carried out as per standard procedures (Singh, 1997).

RESULTS AND DISCUSSION

The grain yield during 1994 crop season was higher by 6.8% than in 1993 (Table 1). This might be due better and well distribution of rainfall in 1994 (266 mm) than in 1993 (214 mm season). Among the pearl millet hybrids, the HHB-50 produced 11.6 % higher grain yield over HHB-67. However, the differences in grain yield between HHB-50 and HHB-60 were statistically at par. This might be due to significantly more number of ear heads and number of grains per ear head in HHB-50 and HHB-60 than HHB-67 (Table 1).

The grain and stover yield increased with the doses of fertilizer application. The increased levels of fertilizers improved nutrient supply, leaf area index and several yield attributing characters in pearl millet (Singh, 1997 : Table 1). This fact was reflected in very high significant positive association recorded of grain yield to leaf area index ($R^2 = 0.94, 0.94$), number of earheads per plant ($R^2 = 0.94, 0.97$) and number of grains per earhead ($R^2 = 0.94, 0.85$) during two seasons (Singh, 1997). The response of grain yield to different fertility levels varied markedly in pearl millet (Table 1). At low fertility levels, the increase in grain yield was significant upto 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ (T7) over its preceding lower levels, except between control (T1) and biofertilizer (T2). This suggested that some stimulating dose of FYM or other nutrient was required to improve the efficiency of biofertilizer. On an average, the biofertilizer increased the grain yield of pearl millet by 4.9 % and 5.4 % in 1993 and 1994, respectively. In comparison to control, the grain yield of pearl millet was almost 1.5 folds with 5 t

FYM + biofertilizer ha⁻¹ and 2 folds with 40 kg N + biofertilizer ha⁻¹. The application of 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹ (T7) brought further significant improvement in grain yield over 40 kg N ha⁻¹ (T5), and such yield benefits were statistically at par with 80 kg N ha⁻¹ (T8). However, it required 80 kg extra nitrogen (120 Kg N + 5 t FYM ha⁻¹) to get just 50% of additional yield benefits over 40 kg N + 5 t FYM + biofertilizer ha⁻¹. These results clearly suggest the synergistic effects of biofertilizers, FYM and chemical fertilizer as an example of integrated nutrient supply system and corroborate the findings of Tilak (1991), Thomas (1993) and Singh (1994).

The beneficial effects of FYM were visible at all levels of chemical nitrogen application. This was evident from the non-significant differences in grain yield between T7 and T8, T9 and T10 and T11 and T12 treatments (Table 1). The application of 5 t FYM was substituting about 40 kg of chemical nitrogen both at medium (80 kg N ha⁻¹) and high fertility (120 kg N ha⁻¹) levels in pearl millet. Similar beneficial effects of organic manures have been reported by other workers in pearl millet and other field crops (Ruhel and Shukla, 1979; Nambiar and Abrol, 1989; Hooda *et al.*, 1991).

There were significant positive interactional effects between genotypes and fertility levels, particularly at low fertility levels (T1- T6). The nitrogen use efficiency was also relatively high under low fertilizer input systems (i.e. T4 (18.2 to 21.8 kg ha⁻¹), T5 (21.2 to 22.8 kg ha⁻¹), T6 (25.4 to 27.1 kg ha⁻¹ and T7 (16.5 to 17.4 kg ha⁻¹) in pearl millet (Singh, 1997). The pearl millet is mostly grown by resource poor farmers in water deficit environments by using local cultivars with no or little fertilizer application. However, the farmers in these areas are maintaining large number of livestock population. Therefore, in such fragile environments, the cultivation of pearl millet hybrids HHB 50 and HHB 60 with the application of FYM + bio-fertilizer alone or alongwith 40 kg N ha⁻¹ should be encouraged to sustain livestock and human population from the dual purpose crop like pearl millet.

References

- Hedge, D.M. and Dwivedi, B.S. 1993. Integrated nutrient supply and management as a strategy to meet nutrient demand. *Fertilizer News*. 38 : 49-59.
- Hooda, I.S; Faroda, A.S. Mundra, M.C. and Gupta, S.C. 1991. Nutrient management in Pearl millet-wheat cropping system. *Haryana J.Agron.* 7 : 140-145.
- Kumar, R.; Singh, S. and Singh, D.P.1993. Pearl millet intercropping as influenced by different sources of fertilizers under rainfed conditions. *Haryana agric. Univ. J.Res.* 23: 191 - 197.
- Laura, R.D; Raj, M; Sangwan, P.S. and Bagga, R.K 1994. Effect of inorganic, organic and biofertilizer on pearl millet yields in dryland areas. *Crop Res.* 8 : 499-503
- Maliwal, P.L.; Manohar, S.S. and Dhaka, S.S. 1985. Response of pearl millet (*Pennisetum americanum* Linn) to different levels of phosphorus, zinc. and farm yard manure. *Indian J. Agron.* 30: 314-317.
- Nambiar, K.K.M. and Abrol, I.P. 1989. Long term fertilizer experiments in India. *Fert.News* 34 :11-20 & 26.

- Ruhal, D.S. and Shukla, U.C. 1979. Effect of continuous application of farm yard manure and nitrogen on organic carbon and available N, P and K content in soil. Indian J. agric. Chem. 12: 11-18.
- Singh, D. 1994. Biofertilizers: An important component of integrated nutrient system. Indian Farming 11: 10-13.
- Singh, R. 1997. Response of pearl millet genotypes to integrated nutrient management. Ph.D. thesis, Department of Agronomy, CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India.
- Thomas, J. 1993. Biofertilizers: Prospects and Problems. Fert. News. 38 : 63-65
- Tilak, K.B.V.R. 1991. Bacterial fertilizers. Technical Bulletin, ICAR New Delhi: 66
- Tilak, K.B. V. R. and Singh, G. 1996. Integrated nutrient management in sustainable agriculture. Fert. News. 41: 29-35.
- Verma, O.P.S. 1996. Integrated nutrient management in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under rainfed conditions. Indian J. Agron. 41 : 58-60

Table 1: Effects of hybrids and fertility levels on Grain yield, Stover yield and yield components of pearl millet during 1993 and 1994 seasons

Treatments	Grain yield (kg/ha)		Stover yield (kg/ha)		No. of grains/earhead		No. of earheads/plant		1000-grain wt (g)	
	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994	1993	1994
Seasons/hybrids										
HHB-50	2265	2411	5835	6714	2210	2501	1.74	1.89	6.87	6.98
HHB-60	2173	2313	5739	6529	2127	2419	1.73	1.86	7.03	7.14
HHB-67	2009	2170	5085	5408	1658	1865	1.60	1.71	7.99	8.12
SEm±	35	40	109	121	26	33	0.03	0.04	0.21	0.26
CD at 5%	121	139	376	420	92	114	0.11	0.14	0.76	0.90
Nutrients/ ha										
T ₁ (Control)	1192	1289	3084	3453	1204	1410	1.02	1.10	6.68	6.70
T ₂ (Biofertilizer)	1251	1358	3276	3665	1252	1481	1.06	1.13	6.71	6.75
T ₃ (5t FYM)	1561	1635	3737	4172	1503	2076	1.19	1.31	6.92	6.99
T ₄ (5t FYM +Bio)	1811	1903	4965	5338	1816	2170	1.31	1.43	6.99	7.11
T ₅ (40 Kg N)	2077	2151	5442	5986	2073	2265	1.42	1.55	7.08	7.23
T ₆ (40 Kg N +Bio)	2264	2361	5881	6561	2134	2341	1.58	1.74	7.26	7.39
T ₇ (40 Kg N + 5tFYM + Bio)	2383	2546	6247	7110	2246	2432	1.85	1.97	7.41	7.57
T ₈ (80 Kg N)	2406	2596	6303	7245	2251	2466	1.87	2.00	7.43	7.61
T ₉ (80 Kg N + 5 t FYM)	2612	2781	6722	7522	2310	2551	2.16	2.29	7.70	7.76
T ₁₀ (120 kg N)	2651	2840	6815	7601	2342	2578	2.19	2.31	7.72	7.82
T ₁₁ (120 kg N + 5 t FYM)	2793	3031	7067	7946	2421	2671	2.28	2.47	7.83	7.99
T ₁₂ (160 kg N)	2805	3087	7098	8010	2433	2700	2.30	2.51	7.85	8.03
SEm±	38	43	72	77	19	30	0.03	0.04	0.03	0.04
CD at 5%	105	120	201	216	53	83	0.08	0.11	0.08	0.10

Verarbeitungsfähigkeit des Erntegutes aus dem Dauerversuch

„Ewiger Roggenbau“ in Halle/Saale

Böttcher, H.¹; Weipert, D.²; Garz, J.³

¹ Institut für Tierernährung und Vorratshaltung, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06108 Halle, Emil-Abderhalden-Str. 26,

² Bundesanstalt für Getreide-, Kartoffel- und Fettforschung, 32756 Detmold, Schützenberg 12
³ 06120 Halle (Saale), Zechenhausstr. 4a.

Die steigenden Anforderungen an die Qualität und Verarbeitungsfähigkeit der Ernteprodukte machen es erforderlich, auch bei Dauerversuchen diese Probleme stärker zu berücksichtigen. Das gilt auch für den 1878 von JULIUS KÜHN angelegten Versuch mit Winterroggen, den „Ewigen Roggenbau“, über den bisher vorrangig zur Entwicklung der Erträge und der Bodeneigenschaft bei langjährig differenzierter Düngung berichtet worden ist. Erste Ergebnisse zur Qualität und Verarbeitungsfähigkeit des Erntegutes aus diesem Versuch sind, speziell zu Abteilung C, von den Autoren dieses Beitrages 1997 vorgestellt worden. Mit dieser Arbeit sollen diese Fragen unter Einbeziehung von Abteilung B (Fruchtwechsel) erweitert analysiert werden.

Versuchsbeschreibung

Standort: Lehr- und Versuchsstation der Landwirtschaftlichen Fakultät Halle, Julius Kühn-Str. Parabraunerde-Tschernosem auf Sandlöß im mitteldeutschen Trockengebiet

Untersuchungsjahre: 1993 (Niederschlag Mai - Juni 184 mm)
1995 (Niederschlag Mai - Juni 124 mm)

Prüffaktoren:

- Düngung:** I St I organische Düngung: 120 dt/ha Stallmist (= 60 kg N/ha)
II PK keine N-Düngung, nur P- und K-Gaben
III NPK NPK Volldüngung (40 kg N/ha)
IV NPK + St bis 1990 ausschließlich mineral. N-Düngung, ab 1991 Kombination von Var. I + III
V ungedüngt: seit 1878 ohne Zufuhr von N, P und K
VI St II bis 1952 Stallmist, ab 1953 ungedüngt

Fruchtwechsel: Abteilung C kontinuierlicher Winterroggenanbau seit 1878
Abteilung B bis 1961 ebenfalls kontinuierlicher Winterroggenanbau, danach Einführung des Fruchtwechsels mit der Kartoffel bei gleicher Düngermenge

Sorte: „Amando“: mittel- bis hochertragreich (AS 6), pentosanreich (AS 7).

Zur Qualitätsbestimmung wurden die Standard-Methoden für Getreide-, Mehl- und Backprodukte herangezogen.

Ergebnisse

Die **Kornerträge** (Abb. 1) zeigen auf den ungedüngten Parzellen (Var. V) im Mittel beider Versuchsjahre als Folge des im Laufe von 115 Jahren eingetretenen Nährstoffmangels einen signifikanten und drastischen Rückgang im Vergleich zur mineralischen Volldüngung (Var. III) um 48 bzw. 40 %. Für die Variante II (ohne N-Zufuhr) bzw. Var. VI (seit 1953 keine Düngung mehr) war dieser Rückgang etwas geringer. Dies trifft gleichermaßen für die Parzellen der Abteilung C (Roggenselbstfolge) als auch für die Abteilung B (Fruchtwechsel) zu. Jedoch liegen die Ertragszahlen beim Fruchtwechsel in den Jahren 1993/1995 im Durchschnitt aller Varianten um 9,4 dt/ha höher (Abb. 1). Das gilt für jede der 6 Düngungsvarianten. Die Ursache für dieses Verhalten ist in der unterschiedlichen Nutzungsweise der beiden im Fruchtwechsel stehenden Pflanzen zu suchen. Beim Winterroggen werden bei der Ernte die Getreidekörner und das Stroh mit einem beachtlichen Gehalt an Stickstoff u. a. Nährstoffen entnommen. Bei den Kartoffeln stirbt in der Regel das Kraut vor der Ernte ab und verbleibt auf den Parzellen, so daß nur die Kartoffelknollen mit insgesamt geringeren Nährstoffmengen entnommen werden. So steht den Winterroggenpflanzen nach Kartoffeln (Abt. B) insgesamt eine höhere N-Menge zur Verfügung als beim Roggen in Selbstfolge. Beim Fruchtwechsel waren an den Roggenpflanzen außerdem weniger Fußkrankheiten (*Cercospora* spp) zu beobachten.

Hohe **hl-Gewichte**, die allgemein als Maß für ein gut entwickeltes und dickbauchiges Getreidekorn angesehen werden, zeigten in diesen Versuchen überraschenderweise keine Unterschiede (Abb. 1) zwischen den Düngungsvarianten und zwischen den Abteilungen ohne und mit Fruchtwechsel. Auch das **Tausendkorngewicht** (Tab. 1) läßt in den Meßwerten keine Differenzen erkennen. Beide Parameter legen die Vermutung nahe, daß das Erntegut der ungedüngten Parzellen (Var. V, II und VI) keine Qualitätsunterschiede im Vergleich zum vollgedüngten aufweist, trotz der bestehenden großen Ertragsunterschiede.

Die **Mahleigenschaften**, gemessen an der Ausbeute an Schrot- und Roggenmehl der Type 997 sowie der Kornhärte sind nur schwach und nicht signifikant beeinflusst worden, wobei zumindest die Fruchtwechselvariante in der Regel höhere Mehlausbeuten aufweist (Tab. 1).

Ebenso führen die abgestufte Düngung und der Fruchtwechsel nicht zu gesicherten Abweichungen bei den **Inhaltsstoffen** des Mehles. Beim **Proteingehalt** (Tab. 1) variieren die Mittelwerte der einzelnen Varianten etwas, vor allem unter dem Einfluß der Stallmistgaben; doch zwischen den von Var. III (NPK) und V (ungedüngt) betragen die Unterschiede nur absolut 0,35 % auf Abt. C und 0,20 % auf Abt. B.

Der Gehalt an den für das Backverhalten des Roggens wichtigen **Pentosanen** (Tab. 1) liegt im Mittel insgesamt bei 9,18 und 9,10 %, davon sind etwa 2,30 % (absolut) bzw. ein Anteil von 25 % vom

Gesamtpentosangehalt wasserlöslich. Auch die **Fallzahl** weist für Roggen sehr hohe Mittelwerte von 242 bzw. 250 s auf. Ebenso zeigt das **Verkleisterungsverhalten** der Stärke (Viskosität und Temperatur im Verkleisterungsmaximum der Amylogramme) keine Differenzen. Diese Daten zeugen jedoch von einer äußerst niedrigen Aktivität der α -Amylase.

Eine hohe Aussagekraft kommt letztendlich den **Backeigenschaften** des gewonnenen Mehles zu. Die Teigausbeute zeigt zwar eine signifikante Abnahme unter Bedingungen des Fruchtwechsels um 1 g Teig/100 g Mehl (Tab. 1). Sie ist jedoch produktionstechnisch unbedeutend. Die Volumenausbeute fällt für alle Varianten des Versuches als Sorteneigenschaft (Sorte „Amando“) mit sehr hohen Werten auf und zeigt im Backversuch nur minimale Schwankungen bei insgesamt hohen Mittelwerten von 317 bzw. 314 ml/100 g Mehl für Abt. C und B (Abb. 1). Die Porenlockerung und -gleichmäßigkeit und vor allem die gute Krumenelastizität aller Brote (hohe Fallzahlen) unterstreichen das gute Backverhalten der Mehle.

Die Ursache dafür, daß der Nährstoffmangel ohne Folgen für die innere und verarbeitungstechnologische Qualität blieb, wird in der Fähigkeit der Roggenpflanzen gesehen, bei anhaltend durchgängig kontinuierlich schwacher Nährstoffversorgung die Anzahl der zur Ausbildung kommenden Reproduktionsorgane (Karyopsen) so zu verringern, daß den sich entwickelnden Keimlingen ausreichend Nährstoffe im Endosperm zur Verfügung stehen (Böttcher et al., 1997).

Diese Ergebnisse sind vor allem für extensiv und ökologisch wirtschaftende Betriebe und gleichermaßen für die Verarbeitungsindustrie von großer Bedeutung.

Tabelle 1 Einfluß unterschiedlicher Düngung im Ewigen Roggenbau auf die verschiedenen Qualitätsmerkmale und Backeigenschaften (Mittelwerte von 2 Jahren)

Variante	Beschreibung der Düngung	Tausendkorn-gewicht g		Mehlausbeute Type 997 %		Proteingehalt %		Pentosangehalt gesamt %		Teigausbeute g je 100g Mehl	
		ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel	ohne Fruchtwechsel	mit Fruchtwechsel
I	St I	29,9	29,4	83,6	84,1	9,05	8,45	9,44	9,20	178	176
II	PK	30,0	30,4	81,1	84,8	7,85	7,95	9,35	9,19	177	175
III	NPK	29,3	29,5	81,4	83,8	8,25	7,25	8,98	9,34	176	176
IV	NPK + St	28,9	28,4	82,2	83,6	9,20	8,65	9,33	8,85	177	176
V	Unge-düngt	27,8	28,5	82,1	84,0	8,00	7,95	8,65	9,14	176	175
VI	St II	29,5	28,5	84,7	82,0	7,85	7,65	9,34	8,91	175	174
\bar{x}	Mittelw.	29,2	29,1	82,5	83,7	8,37	8,07	9,18	9,10	176	175*
GD _{5%}	Düngung Frucht-w.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
			n.s.		n.s.		n.s.		n.s.		sign.

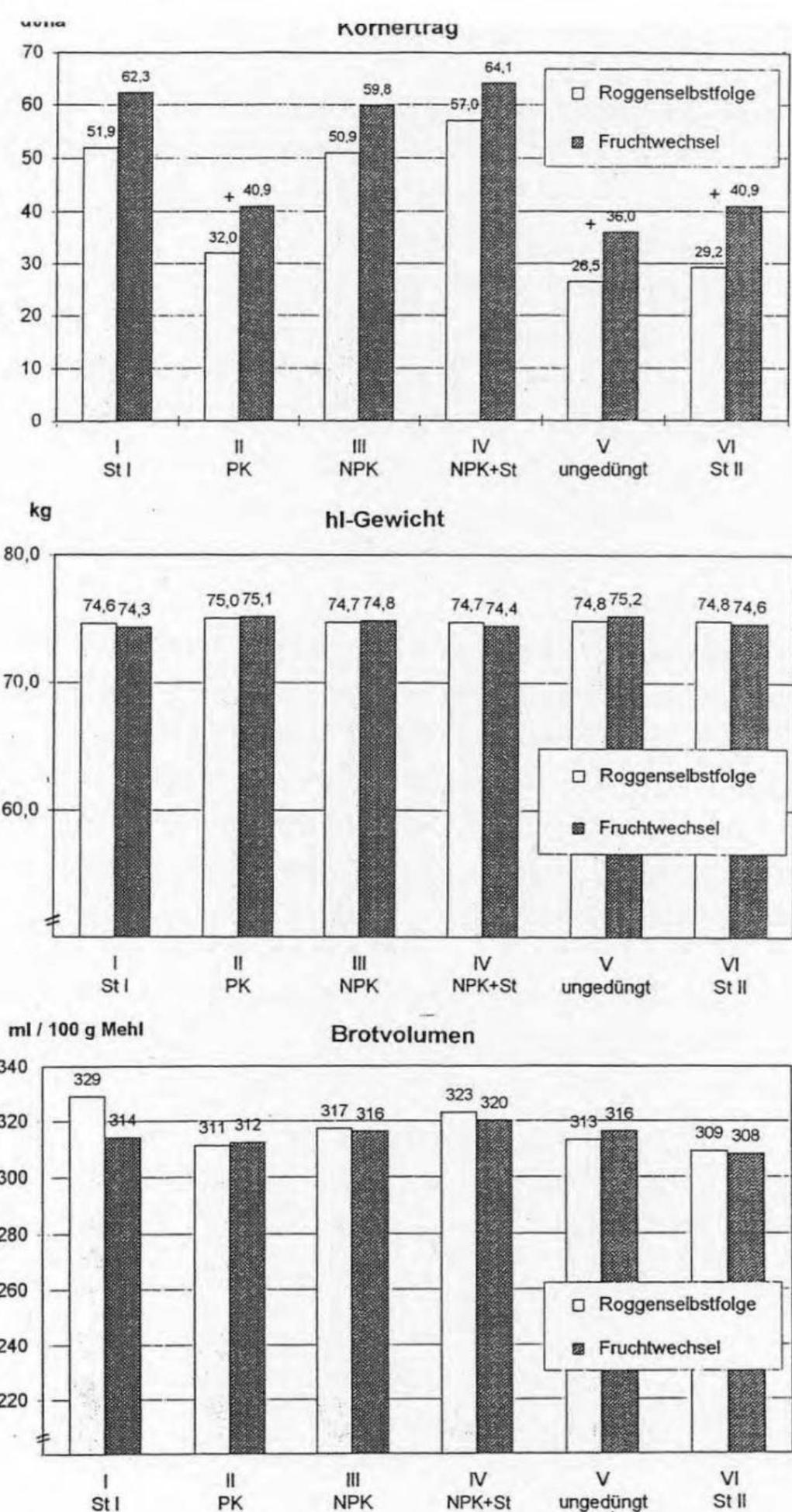


Abb. 1 Einfluß von unterschiedlicher Düngung und Fruchtwechsel im Ewigen Roggenbau auf den Kornertrag, hl-Gewicht und Brotvolumen

Statistische Auswertung des Dauerversuches „Ewiger Roggenbau“

Dörfel, H. und Warnstorff, K.
Landwirtschaftliche Fakultät
AG Biometrie und Agrarinformatik
06099 Halle / Saale

1. Dauerfeldversuche aus biometrischer Sicht

Ein Dauerfeldversuch ist ein Versuch über einen längeren Zeitraum, mit gleichen Prüfgliedern, auf gleicher Versuchsfläche (unveränderte Lage der Parzellen) in Versuchsanlagen mit eingeschränkter bzw. ohne Randomisation

Zu Dauerversuchen gehören Dauerdüngungsversuche (in Monokultur bzw. mit einer Fruchtfolge über die Jahre), Fruchtfolgeversuche , Versuche zur Prüfung von Anbausystemen und Versuche mit einer mehrjährigen Versuchsfrucht (z.B. Versuche im Obstbau).

Eine Veränderung der Prüfglieder in Dauerversuchen führt zu Schwierigkeiten in der Beurteilung der Langzeitwirkung. Die unveränderte Lage der Versuchsparzellen über einen längeren Zeitraum führt zur Abhängigkeit der Parzellenergebnisse über die Jahre. Mit Hilfe der Methode „repeated measurement“ und Autokorrelation kann diese Abhängigkeit analysiert und bei der Auswertung berücksichtigt werden.

2. Statistische Auswertungen des Versuchs „Ewiger Roggenbau“

Der „Ewige Roggenbau“ ist ein Dauerversuch ohne Wiederholungen in 6 Varianten (U, PK; N, NPK, STM1, STM2). Erläuterung der Varianten im Beitrag - Der Versuch „Ewiger Roggenbau“ (L. Schmidt, W. Merbach und J. Garz, 1999). Da 1990 eine wesentliche Veränderung der Düngung vorgenommen wurde, ist von den Autorinnen eine Auswertung der Erträge nur bis 1989 erfolgt.

Möglichkeiten der statistischen Auswertung sind:

2.1 grafische Darstellungen der Prüfgliedererträge über die Jahre (Abb. 1 für NPK) und deren gleichartige Entwicklungen (Abb.2 für NPK und U)

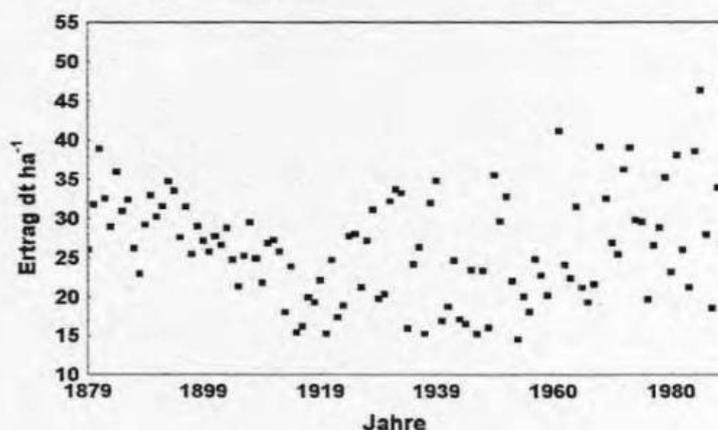


Abbildung 1: Erträge des Prüfgebietes NPK über die Jahre (1879-1989)

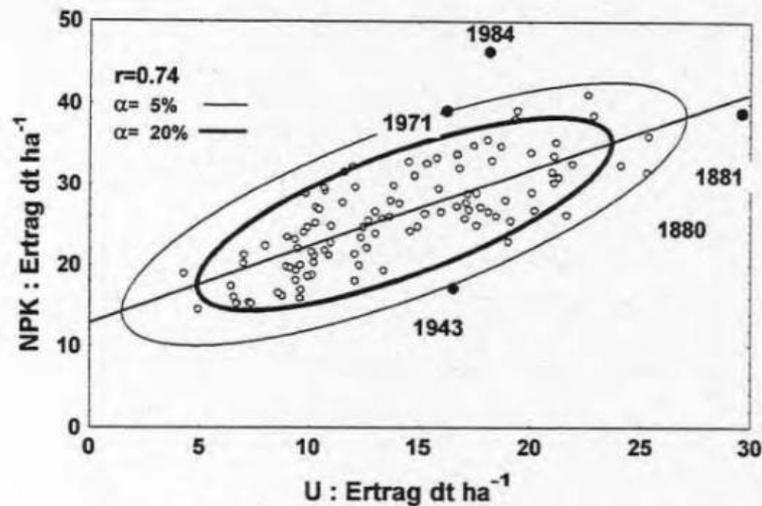


Abbildung 2: Gleichartige Entwicklungen der Prüfgliederträge für NPK und U (1879-1989)

2.2 Rangzahlanalyse (Tab. 1)

Mit Hilfe der Rangzahlanalyse kann die Rangfolge der Prüfglieder hinsichtlich des mittleren Niveaus ermittelt werden

Tabelle 1: Absolute Häufigkeiten der Rangzahlen für 5 Prüfglieder des Versuches „Ewiger Roggenbau“ der Jahre 1879-1989 (n=110)

Prüfglied	Rangzahl (1= kleinstes Prüfgliedmittel im Jahr)					Rangmittel	Median
	1	2	3	4	5		
U	87	22	1			1.2	1
PK	21	55	31	3		2.1	2
N	2	32	56	14	6	2.9	3
NPK			7	63	40	4.3	4
STM1		1	15	30	64	4.4	5

Die Rangvarianzanalyse (Friedman-Test) ergibt mit $\chi^2 = 336.18$, $p = 0.0000$, $FG = 4$ signifikante Prüfgliedunterschiede.

2.3 Trendanalysen

2.3.1 Trendanalyse mit Hilfe gleitender Mittel bzw. gewichteter gleitender Mittel

(Lokal angepasste funktionale APproximation: LOAP) (Abb.3).

Als Gewichtsfunktion im Verfahren LOAP wird hier die Gaußsche Glockenkurve (Dichtefunktion der Normalverteilung) verwendet. Dieses Approximationsverfahren ist abhängig vom Glättungsparameter g und dem Polynomgrad p der Funktion für den lokalen Bereich (SCHMERLING und PEIL, 1985)

2.3.2 Trendanalyse mit Hilfe der linearen Regression mit Bruchpunkt (Abb. 3, Tab.2).

Das Verfahren "Regression mit Bruchpunkt" kann als Spezialfall einer Spline-Regression (stückweise Linearisierung mit einem oder mehreren Knoten; SEBER, 1989) betrachtet werden.

Die Erträge der Prüfglieder vom "Ewigen Roggenbau" nehmen zunächst linear ab, mit Veränderung des Saatgutes ab 1922 steigen diese wieder an. Die lineare Abnahme der Erträge bis 1921 ist erklärbar, weil das Saatgut immer von der entsprechenden Prüfgliederparzelle gewonnen wurde.

Tabelle 2: Statistische Maßzahlen der Regression mit Bruchpunkt im Versuch „Ewiger Roggenbau“ (n=110;1879-1989)

$$\hat{y} = (a_1 + b_1 t) * (t \leq 1921) + (a_2 + b_2 t) * (t > 1921)$$

Prüfglieder	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	B%	S _R
U	23.84	-0.3242	7.12	0.0704	45.7	3.91
N	31.74	-0.3933	11.16	0.0951	38.5	5.39
NPK	33.56	-0.3259	17.35	0.1142	21.8	5.98
STM1	29.11	-0.1752	17.09	0.1472	17.6	6.62

In den Erträgen des Prüfgliedes PK ist ein zweiter Bruchpunkt nach dem Brachejahr 1959 zu erkennen.

$$\hat{y} = (a_1 + b_1 t) * (t \leq 1921) + (a_2 + b_2 t) * (1921 < t \leq 1958) + (a_3 + b_3 t) * (t \geq 1960)$$

Prüfglied	a ₁	b ₁	a ₂	b ₂	a ₃	b ₃	B%	S _R
PK	24.22	-0.2978	25.56	-0.1818	31.98	-0.1260	37.1	4.59

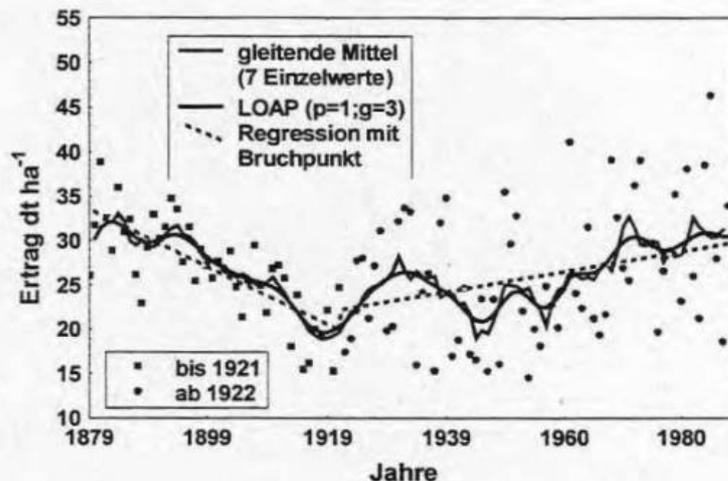


Abbildung 3: Trendanalyse für das Prüfglied NPK (1879-1989)

2.4 Komponentenmodell nach LEZOVIC.

Das Komponentenmodell wurde von LEZOVIC in seiner Dissertation (1998) entwickelt.

Die vereinfachte Darstellung des Modells lautet:

Prüfmerkmal = Trend + Witterung + Rest

$$y = \hat{y}_{LOAP} + f(X) + e$$

Geschätzt wird die Trendkomponente durch LOAP und die Witterungskomponente durch die Regressionsfunktion $f(X)$, wobei X die Einflußgrößen je Monat (mittlere Temperatur, Niederschlagssummen, Sonnenscheindauer) sind.

Bedeutsame Witterungsfaktoren ermittelte LEZOVIC (1998) über Korrelationsschätzungen dieser Faktoren mit den Erträgen der einzelnen Prüfglieder in 93 Jahren. LEZOVIC benutzte dazu Witterungsdaten bis 1995, diese waren erst ab 1901 verfügbar. Die Witterungsdaten ab Monat Juli wurden mit den Erträgen des Folgejahres korreliert. Die gefundenen bedeutsamen Witterungsfaktoren erklären die Abweichungen der Jahreserträge vom Trend (DÖRFEL und LEZOVIC, 1997). Die Additivität der Modellkomponenten ist dadurch belegt, daß der Regressionskoeffizient für die Trendkomponente, geschätzt durch LOAP, annähernd 1 ist. Die Bestimmtheitsmaße der geschätzten Modellfunktion liegen zwischen 60 und 70% , die Witterungskomponente erklärt davon etwa die Hälfte (Abb. 4 für NPK).

$n=93$ $B=63,86\%$ ($B_{Witt}=33,7\%$) $s_R=5,14$

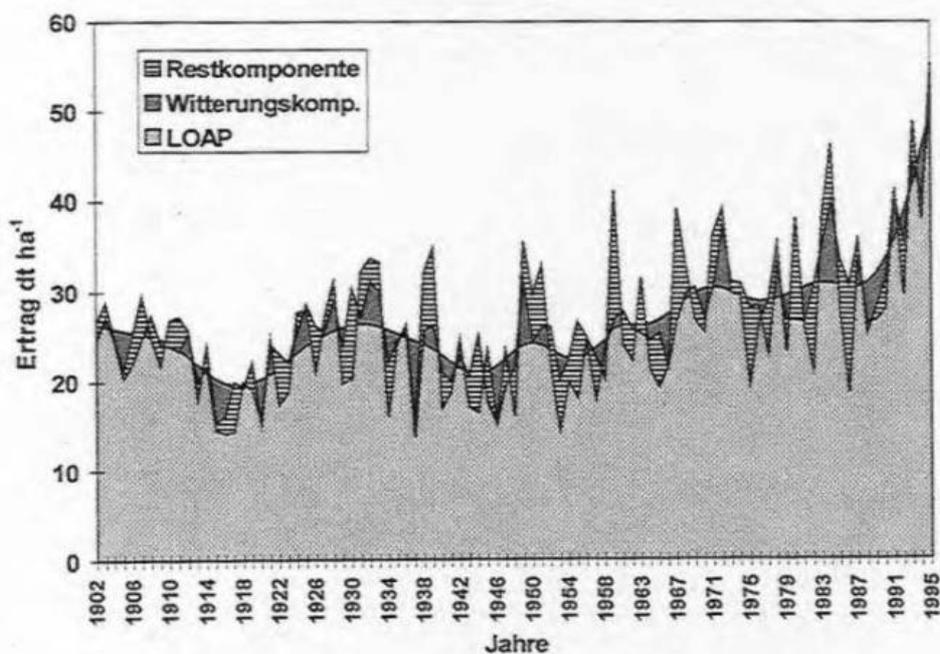


Abbildung 4: Komponentenmodell nach LEZOVIC für das Prüfglied NPK (1902-1995)

(Die verwendete Literatur ist bei den Autoren einzusehen.)

Ausgewählte Ergebnisse des Moskauer Dauerfeldversuches im Blick auf den russischen Ackerbau

Kirjushin, B. D.¹⁾; Ellmer, F.²⁾

¹⁾Lehrstuhl Ackerbau und Versuchsmethodik
der Landwirtschaftlichen Timirjasev-Akademie Moskau
Timirjazevskaja uliza 49, 127550 Moskva/RUS

²⁾Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin
Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin/D

1. EINLEITUNG

Der Dauerfeldversuch der Landwirtschaftlichen Timirjasev-Akademie Moskau gehört zu den ältesten statischen Feldexperimenten Europas. Er wurde im Jahre 1912 von Prof. A. G. Dojarenko angelegt. Im Kontext zu den weiteren europäischen Dauerfeldversuchen weist er einige Besonderheiten auf, die für die internationale Forschungskooperation von hohem Interesse sind. Das betrifft einerseits die Standortbedingungen. Im nördlichen Stadtgebiet von Moskau gelegen, repräsentiert der Standort die Bedingungen der russischen Nichtschwarzerdezone. Mit 4,1 °C Jahresdurchschnittstemperatur und einer mittleren Niederschlagshöhe von 620 mm unterscheidet sich auf dem versauerungs- und verdichtungsgeneigten Rasenpodsolboden (FAO-Klassifikation Podsoluvisol) der Humus- und Nährstoffhaushalt deutlich von mitteleuropäischen Bedingungen. Die zweite Besonderheit ist in der Versuchsanlage selbst begründet. In Anlehnung an die klassischen Dauerdüngungsversuche von Rothamsted, Halle und Bad Lauchstädt sind 10 Varianten der mineralisch-organischen Düngung vorhanden. Darüber hinaus werden aber fünf Fruchtarten und eine Schwarzbrache in Monokultur und Fruchtfolge geprüft. Somit bietet dieser Versuch eine breite Arbeitsbasis für vielfältige acker- und pflanzenbauliche Fragestellungen.

2. VERSUCHSBESCHREIBUNG

Der Feldversuch besteht aus zwei Großteilstücken, die in Fruchtfolge bzw. Monokultur bewirtschaftet werden. Die sechsfeldrige Fruchtfolge besteht aus folgenden Feldern:

Schwarzbrache – Winterroggen – Kartoffel – Gerste mit Klee grasuntersaat – Klee – Lein. Auf dem benachbarten Großteilstück stehen die gleichen Fruchtarten incl. Brache in dauernder Monokultur.

Die organisch-mineralische Düngung ist 11fach wie folgt abgestuft:

1) N, 2) P, 3) K, 4) ungedüngt, 5) NP, 6) NK, 7) PK, 8) NPK + Stallmist, 9) NPK, 10) Stallmist, 11) ungedüngt.

Die Parzellen aller Düngungsvarianten sind in jeweils zwei Hälften geteilt, in denen die Wirkung der Kalkung geprüft wird. Einer dauernd ungekalkten Reihe steht die gekalkte gegenüber, welche

einmal in sechs Jahren in Abhängigkeit vom aktuellen pH-Wert mit 1,5 bis 4 t/ha CaMgCO₃ versorgt wird (ausführliche Beschreibung in Kirjushin 1997).

3. AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Aus dem Versuch liegen langjährig erarbeitete, umfangreiche Resultate vor. Daraus werden hier ausgewählte Aspekte dargestellt, die für die Bodennutzung auf Rasenpodsolböden von Interesse sind.

3.1. Humusgehalt, Phosphorgehalt und Bodenazidität

Im Jahr 1994 sind im 83. Versuchsjahr bodenchemische Zustandsgrößen analysiert worden, um den neueren Humus-, Nährstoff- und Aziditätsstatus zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigen, daß die Humus- und Nährstoffgehalte sowohl von der mineralischen und organischen Düngung, als auch von der Kalkung und von der Fruchtfolge beeinflusst wurden (Tab. 1).

Tabelle 1: Kohlenstoff-, Stickstoff- und Phosphorgehalte sowie pH-Werte des Bodens in der Krume (1994)

Parameter	Anbausystem	Düngungsvarianten				
		ohne	N	NPK	NPK +Stallmist	NPK +Stallmist+Kalk
C _t (%)	Monokultur	0,68	0,89	0,96	1,15	1,39
N _t (mg/100 g)	Kartoffeln	55,60	66,80	72,20	82,20	86,60
P (mg/100 g)		2,10	4,00	7,80	10,20	19,20
pH-Wert		5,30	4,60	5,10	5,20	6,30
C _t (%)		1,03	1,22	1,05	1,27	1,35
N _t (mg/100 g)	Fruchtfolge	70,80	96,60	78,40	92,40	94,40
P (mg/100 g)		2,40	2,50	5,50	9,20	12,80
pH-Wert		4,20	4,20	4,60	5,30	6,10

Bei dauernder Kartoffelmonokultur variierten die Gesamtkohlenstoffgehalte um 104 % zwischen der ungedüngten Kontrolle und der organisch-mineralischen Volldüngung mit Kalk, wobei steigende Düngung zu stark steigenden Gehalten führte. Diese Differenzen sind deutlich größer als in ähnlichen Versuchen unter mitteleuropäischen Standortverhältnissen. In den vergleichbaren Prüfgliedern des Thyrower Nährstoffmangelversuches beträgt die Differenz zwischen der ungedüngten Kontrolle und der Variante „NPK + Stallmist + Kalk“ lediglich 80 % (Ellmer et al., 1997). Das deutet darauf hin, daß auf dem feinerdereichen Standort mit 25 % abschlämmbaren Teilchen und bei der temperaturbedingt geringeren Mineralisationsrate die Humusdynamik anders verläuft und infolge von organischer Düngung eine stärkere C-Akkumulation zustande kommt. In der sechsfeldrigen Fruchtfolge lagen die Kohlenstoffgehalte um 10 bis 50 % höher als in der

fortgesetzten Kartoffelmonokultur. Die Kalkung wirkte sich hier aber nicht fördernd auf den C_r -Gehalt aus. Die Gesamtstickstoffgehalte waren weniger stark als die Kohlenstoffgehalte abgestuft, folgten aber erwartungsgemäß der gleichen Rangfolge.

Noch stärker als der Kohlenstoff reagierte der P-Gehalt auf die Düngung. In der ungedüngten Kontrolle und auch bei ausschließlicher N-Düngung sind die P-Gehalte des Bodens auf 2 bis 4 mg/100 g zurückgegangen. In der Reihe mit Mineraldüngung, Stallmist und Kalk lagen sie um das sechs- bis achtfache darüber und erreichten mit 13 bis 19 mg/100 g hohe Werte. Diese weite Spanne ist für mitteleuropäische Bodenverhältnisse ebenso untypisch wie die der Kohlenstoffgehalte. So differieren die P-Gehalte im o. g. Dauerversuch in Thyrow lediglich um das zweifache (Ellmer et al., 1999).

Die pH-Werte waren im Gegensatz zum Humus- und P-Gehalt ausschließlich durch die Kalkung bestimmt. Kalkmangel bewirkte eine Zunahme der Bodenazidität um 1 bis 2 Einheiten, die aber weitgehend unabhängig von der mineralisch-organischen Düngung und dem Anbausystem war.

3.2. Entwicklung der Ackerkrume

Die Ergebnisse des Versuches zeigen, daß mit der Art und Weise der Bodennutzung nicht nur der Krumenboden, sondern auch der Unterboden beeinflusst wird. Bei einer Bodenbearbeitungstiefe von 20cm fanden in der Schicht von 20 bis 40 cm Bodentiefe bedeutsame Veränderungen statt. Dies zeigt ein Vergleich mit den Verhältnissen unter einer am Versuchsrand gelegenen Dauergrünbrache (Abb. 1)

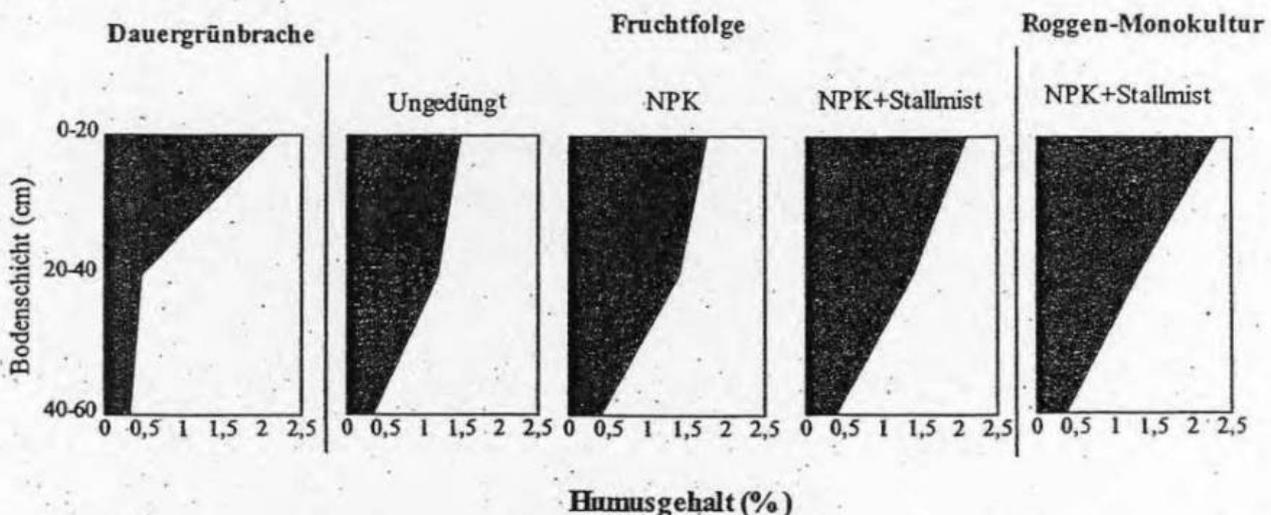


Abbildung 1: Verteilung der Humusgehalte (%) in 0 bis 60 cm Bodentiefe unter Dauergrünbrache und bei ackerbaulicher Nutzung

Durch den Pflanzenbau ist bei konventioneller Bodenbearbeitung von 20 cm die darunterliegende Bodenschicht mit Humus und Nährstoffen angereichert worden. Ständige Grünbrache hatte

hingegen niedrigere Gehalte in der Unterkrume zur Folge. Hieraus kann abgeleitet werden, daß reduzierte Bodenbearbeitungstiefe keine nachteiligen Folgen für die Bodenfruchtbarkeit des Rasenpodsolbodens haben wird.

3.3. Ertragsentwicklung bei differenzierter Düngung

Nach 60 Jahren differenzierter Düngung wurde im Jahre 1973 auf einer Hälfte des Fruchtfolge-Teilstücks die Düngung geändert. Hierbei sind die bis dahin verschieden gedüngten Varianten auf eine einheitliche NPK-Düngung umgestellt worden, um zu prüfen, wie sich die Bodenfruchtbarkeit und die Ertragsfähigkeit entwickelt (Tab. 2).

Tabelle 2: Entwicklung der Realtiverträge nach Veränderung von Düngungsvarianten

Varianten	Relative mittlere Erträge in der Fruchtfolge (%) ¹⁾		
	Unverändert seit 1912 1973-1996	Einheitliche NPK-Düngung seit 1973 1973-1978	1991-1996
ungedüngt	100	100	100
Kalk ²⁾	100	135	99
NPK+Kalk	204	145	102
NPK+Stallmist	210	167	117
NPK+Stallmist+Kalk	215	167	119

1) außer Lein; 2) Kalkung seit 1949

Bereits in den ersten fünf Jahren nach Umstellung hat sich die Differenz in der Ertragsfähigkeit deutlich um 40 % verringert. Nach 20 Jahren war ein weiterer Ausgleich zu beobachten, so daß zwischen der vorher langjährig ungedüngten Variante und dem bestversorgten organisch-mineralisch gedüngtem Prüfglied nur noch 19 % Ertragsdifferenz verblieben. Es ist zu erwarten, daß sich die Unterschiede im Verlauf der nächsten Jahre ausgleichen. Damit wäre nachgewiesen, daß etwa drei Jahrzehnte vergehen, bis sich bewirtschaftungsbedingte Fließgleichgewichte im Boden einstellen. Dies entspricht auch den Ergebnissen des Thyrower Nährstoffmangelversuches (Peschke, 1997).

4. LITERATUR

- Ellmer, F.; Baumecker, M.; Schnieder, E.: Langfristige Entwicklung des Humusgehaltes in Dauerfeldversuchen am Standort Thyrow.- Mitt. Deutsche Bodenkdl. Ges.- 84 (1997).- S. 397-400
- Ellmer, F.; Baumecker, M.; Schweitzer, K.: Soil Organic Matter and Nutrient Balances in the Nutrient Deficiency Experiment Thyrow (Germany) after 60 Years.- Advances of Polish Acad. of Agric. Sci. - (1999), in print
- Kirjushin, B. D.: Der Statische Feldversuch an der Timirjasev-Akademie Moskau – Ergebnisse aus langjährigen Untersuchungen.- Arch. Acker-Pfl.Boden., 42 (1997), 235-245
- Peschke, H.: 60 Jahre Statische Versuche in Thyrow - Bedeutung, Ergebnisse und Ausblick. Arch. Acker-Pfl.Boden., 42 (1997), 169-179

Methanoxidation im Boden unter dem Einfluß langjähriger N-Düngung im "Ewigen Roggenbau" in Halle und in Dauerversuchen in Rothamsted

Hütsch, B. W.

Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Universität, Südanlage 6, D-35390 Giessen

Einleitung

Methan ist ein wichtiges Treibhausgas und trägt zu etwa 20 % zur globalen Erwärmung bei (Bouwman, 1990). Die atmosphärische CH_4 -Konzentration steigt derzeit relativ stark an (etwa 1 % pro Jahr), was durch eine Zunahme in den Emissionen und durch einen Rückgang im CH_4 -Abbau verursacht wird. Die einzige bis jetzt bekannte biologische CH_4 -Senke ist der Boden, der bis zu 15 % am Gesamt- CH_4 -Abbau beteiligt ist (Born et al., 1990). Die im Boden stattfindende mikrobiologische CH_4 -Oxidation kann durch vielfältige Faktoren beeinträchtigt werden. Welchen Effekt hat z.B. langjährige mineralische oder organische N-Düngung auf die CH_4 -Oxidation? - Zur Beantwortung dieser Frage sind Dauerversuche hervorragend geeignet, da sie über viele Jahrzehnte gleichbleibend gedüngt wurden und zudem über eine Kontrollvariante ohne N-Düngung verfügen, die zum Vergleich eine hohe Aussagekraft besitzt. Durch solche Untersuchungen ist es möglich, die Folgen unterschiedlicher Düngungs- und Bewirtschaftungsverfahren für den Anstieg in den atmosphärischen Konzentrationen wichtiger Treibhausgase abzuschätzen und die Bedeutung für Klimaveränderungen zu beurteilen.

Material & Methoden

Für die Methanmessungen wurden folgende Dauerfeldversuche herangezogen:

"Broadbalk Wheat Experiment" in Rothamsted, schluffiger Lehm, 28 % Ton im Oberboden, Winterweizendaueranbau seit 1843, Mineral-N-Varianten (mit PK): 0, 48, 96, 144 kg N ha⁻¹ a⁻¹ als NH_4NO_3 , Stallmistvariante: 35 t ha⁻¹ a⁻¹.

"Park Grass Experiment" in Rothamsted, schluffiger Lehm, 1858 Anlage von Düngungsparzellen: N_0 (ohne N), 96 kg N ha⁻¹ a⁻¹ entweder als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ oder als NaNO_3 , Unterteilung dieser Parzellen in 4 Sektionen mit unterschiedlichen Kalkgaben.

"Ewiger Roggenbau" in Halle, lehmiger Sand, 8 % Ton im Oberboden, Winterroggendaueranbau seit 1878, Varianten: U (ungedüngt), PK (24 kg P, 75 kg K ha⁻¹ a⁻¹) NPK (PK + 40 (60) kg N ha⁻¹ a⁻¹), Stallmist (12 t ha⁻¹ a⁻¹ (äquiv. 60 N)).

Aus den genannten Standorten und Varianten wurden intakte Bodensäulen entnommen (0 - 12 cm Tiefe, Ø 6.4 cm) und in Laborinkubationen CH_4 -Oxidationsraten bestimmt. Zusätzlich wurden

anhand der Proben vom "Ewigen Roggenbau" die Zellzahlen Methan-oxidierender (methanotropher) Bakterien ermittelt. Dazu wurde die "most probable number"-Technik (MPN-Methode) angewendet (Rowe et al., 1977), wobei die Bakterien mit gezielter Substratzugabe (20 Vol.% CH₄) in einer 4wöchigen Inkubation selektiv angereichert werden (Bender & Conrad, 1992).

Ergebnisse & Diskussion

"Broadbalk Wheat Experiment": Durch Autoklavierung konnte gezeigt werden, daß die Aufnahme von CH₄ in den Boden tatsächlich durch mikrobiologische Umsetzungsprozesse hervorgerufen wird (Hütsch et al., 1993). Langjährige mineralische N-Düngung wirkte sich stark hemmend auf den CH₄-Abbau aus, wobei mit steigender Düngermenge die CH₄-Oxidationsrate sukzessive abnahm (Abb. 1). Die beobachteten Effekte waren unabhängig von der aktuellen Konzentration an anorganischem N im Boden und können nicht als das Resultat von Rest-N aus der letzten Applikation angesehen werden. Vielmehr zeigt sich hier sehr deutlich ein Langzeiteffekt der Mineral-N-Düngung. Die Zufuhr vergleichbarer N-Mengen in Form von Stallmist hatte dagegen einen weit weniger hemmenden Effekt auf die CH₄-Oxidation (Abb. 1).

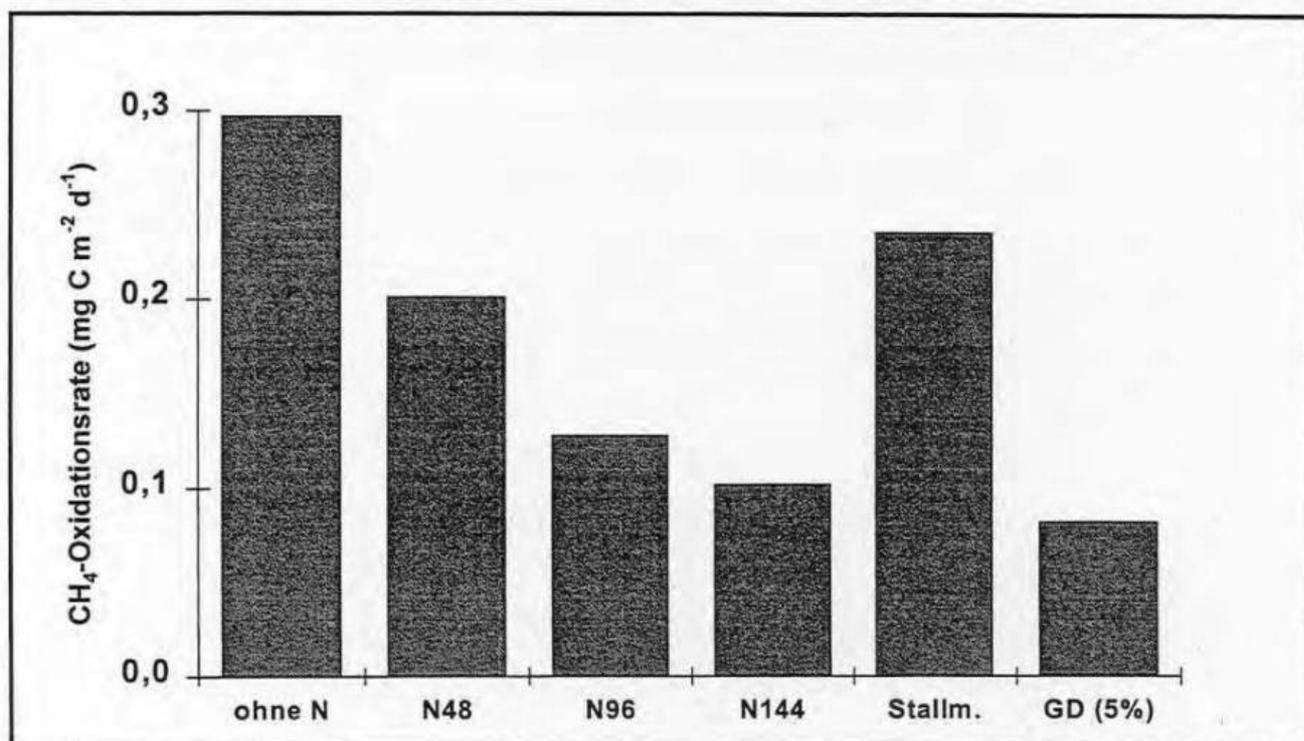


Abb. 1: Vergleich der Langzeiteffekte von Mineral-N- und Stallmistdüngung auf die CH₄-Oxidationsraten in Varianten des "Broadbalk Wheat Experiments"; GD = Grenzdifferenz

Anhand des "Park Grass Experiments" konnten die Langzeiteffekte von NH₄⁺ oder NO₃⁻ auf die CH₄-Oxidation getestet werden. Jährliche Applikation von (NH₄)₂SO₄ über 130 Jahre hemmte die CH₄-Oxidation vollständig, auch wenn durch regelmäßige Kalkung der pH-Wert bei etwa 6

gehalten wurde (Tab. 1, Kalkungsstufe A). Im Gegensatz dazu verursachte langjährige Düngung mit NaNO_3 keine Abnahme in der CH_4 -Oxidation verglichen mit der ungedüngten Variante bei demselben pH-Wert. Es lagen somit sehr markante Unterschiede im Einfluß von NH_4^+ und NO_3^- auf die CH_4 -Oxidation vor (Hütsch et al., 1994).

Tab. 1: CH_4 -Oxidationsraten ($\text{mg C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) intakter Bodensäulen und pH-Werte in Varianten des "Park Grass Experiments"; $\text{GD}_{5\%} = 0.20$ für die Oxidationsraten

N-Düngungsvarianten	Kalkungsstufen			
	A	B	C	D
	CH ₄ -Oxidationsraten			
N ₀ (ohne N)	1.45	0.75	-0.04	-0.03
N96 als NH ₄ ⁺	-0.01	0.02	-0.03	-0.01
N96 als NO ₃ ⁻	1.51	1.15	1.53	1.25
	pH-Werte			
N ₀ (ohne N)	6.3	5.6	5.1	4.8
N96 als NH ₄ ⁺	6.2	4.9	4.8	3.7
N96 als NO ₃ ⁻	6.4	6.2	5.7	5.9

Worauf beruht nun die hemmende Wirkung der langjährigen NH_4^+ -Düngung? - Vermutlich ist es aufgrund wiederholter N-Düngung zu einer Verschiebung in der mikrobiellen Population gekommen. Die Ammonium-Oxidierer, die ähnliche Nischen im Boden bewohnen wie die Methanoxidierer, besaßen dadurch gute Wachstumsbedingungen und haben wahrscheinlich die methanotrophen Bakterien zurückgedrängt. Diese Reduktion in der aktiven Population methanotropher Bakterien könnte sich dann in den verminderten CH_4 -Oxidationsraten äußern.

Um diese Hypothese zu testen, wurden in Varianten des "Ewigen Roggenbaus" die CH_4 -Oxidationsraten ermittelt und die Anzahl methanotropher Bakterien nach der MPN-Methode bestimmt.

Auch beim "Ewigen Roggenbau" zeigte sich eine deutliche Hemmung der CH_4 -Oxidation durch langjährige Mineral-N-Düngung (Abb. 2, Vgl. PK mit NPK; Hütsch, 1996). Die bei weitem höchste Zellzahl methanotropher Bakterien wurde in der ungedüngten Variante festgestellt, gefolgt von den Varianten NPK, "Stallmist" und PK. Es bestand eine Gegenläufigkeit der Zellzahlen und der CH_4 -Oxidationsraten. Varianten mit hohen Oxidationsraten zeichneten sich durch niedrige Zellzahlen aus und umgekehrt. Die MPN-Methode war somit nicht in der Lage, die aktive Population methanotropher Bakterien in diesen Bodenproben zu erfassen. Zur Erforschung der Ursachen für Langzeiteffekte der N-Düngung auf die CH_4 -Oxidation müssen daher andere Methoden eingesetzt und getestet werden (z.B. PCR-Technik).

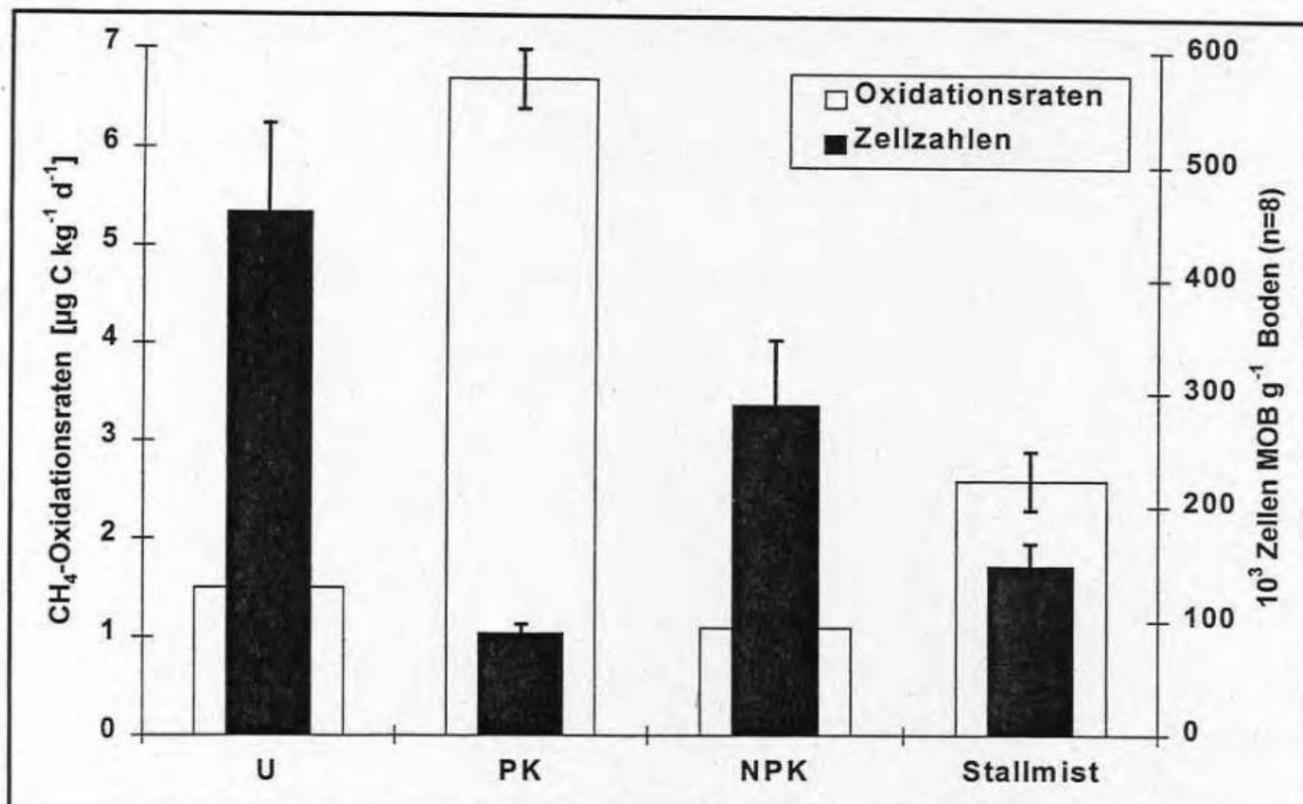


Abb. 2: CH₄-Oxidationsraten und Zellzahlen methanotropher Bakterien (MOB) in Varianten des "Ewigen Roggenbaues"

Schlußfolgerung

Nitrat zeigte keinen Einfluß auf die CH₄-Oxidation. Ammonium ist dagegen ein starker Hemmstoff für die methanotrophen Bakterien, und die langjährige Applikation hat dazu beigetragen, daß die Funktion des Bodens als CH₄-Senke abgenommen hat. Dies ist als eine Ursache für den in den letzten Jahrzehnten beobachteten Anstieg der atmosphärischen CH₄-Konzentration anzusehen.

Literatur

- Bender M, Conrad R (1992) Kinetics of CH₄ oxidation in oxic soils exposed to ambient air or high CH₄ mixing ratios. *FEMS Microbiology Ecology* 101: 261-270
- Born M, Dörr H, Levin I (1990) Methane consumption in aerated soils of the temperate zone. *Tellus* 42B: 2-8
- Bouwman AF (1990) *Soils and the Greenhouse Effect*. Wiley, Chichester
- Hütsch BW, Webster CP, Powlson DS (1993) Long-term effects of nitrogen fertilization on methane oxidation in soil of the Broadbalk Wheat Experiment. *Soil Biol Biochem* 25, 1307-1315.
- Hütsch BW, Webster CP, Powlson DS (1994) Methane oxidation as affected by land use, soil pH and nitrogen fertilization. *Soil Biol Biochem* 26, 1613-1622.
- Hütsch BW (1996) Methane oxidation in soils of two long-term fertilization experiments in Germany. *Soil Biol. Biochem.* 28, 773-782.
- Rowe R, Todd R, Waide J (1997) Microtechnique for Most-Probable-Number analysis. *Appl Environ Microbiol* 33: 675-680

Einfluß langjährig differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf Kornertrag und Backqualität von Winterweizen

Erekul, O.; Ellmer, F. und Köhn, W.

Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin
Albrecht-Thaer-Weg 05, 14195 Berlin

1. Einleitung

Die Arbeitsgemeinschaft Bodenfruchtbarkeit in der Internationalen Bodenkundlichen Gesellschaft (ISSS) führt seit 1984 die Versuchsserie **“Internationale Organische Stickstoffdauerdüngungsversuche - IOSDV”** durch. Damit wird vergleichend an 15 europäischen Standorten der Einfluß differenzierter organischer und mineralischer Stickstoffdüngung auf die Bodenfruchtbarkeit sowie Ertrag und Qualität von Getreide und Blattfrüchten geprüft. Am Standort Berlin-Dahlem wurden 1997 und 1998 in der vierten Fruchtfolgerotation die Ertrags- und Qualitätsbildung von Winterweizen der Sorte *Ares* (B) in verschiedenen Düngungssystemen untersucht.

2. Material und Methoden

2.1. Standort

Berlin-Dahlem liegt 52° 28" nördlicher Breite und 13° 18" östlicher Länge 51 m über NN. Im langjährigen Mittel beträgt die Niederschlagshöhe 545 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur 9,3 °C und die relative Luftfeuchte 75 %. Die Bodenformen sind Parabraunerden und Sandkeilbraunerden der FAO-Klassifikation *Albic Luvisol*. Die Bodenart des Ap-Horizontes ist mittelschluffiger Sand (72,8 % Sand, 22,9 % Schluff und 4,3 % Ton), der bei mittleren P- und K-Gehalten vergleichsweise humusarm ist. Der pH-Wert von 5,4 ist typisch für die Bodenart.

2.2. Feldversuch

Der Feldversuch besteht aus einer dreifeldrigen Fruchtfolge mit Kartoffeln (*Granola*), Winterweizen (*Ares*) und Sommergerste (*Baronesse*). Jede Fruchtart weist drei Stufen der organischen und vier Stufen der mineralischen N-Düngung auf (Tab. 1).

Tabelle 1: Organisch-mineralische Düngung im IOSDV Berlin-Dahlem

Düngung	Kartoffeln	Winterweizen	Sommergerste
Organische Düngung [dt FM ha ⁻¹]	a) ohne ¹⁾ b) Stallmist ²⁾ c) Stroh ³⁾ und Gründüngung ⁴⁾	a) ohne ¹⁾ b) ohne c) Rübenblatt ⁵⁾	a) ohne ¹⁾ b) ohne c) Stroh ³⁾
Mineral. N-Düngung [kg ha ⁻¹]	0, 60, 100, 150	0, 60, 110, 160	0, 40, 80, 120

¹⁾ nur in Kombination mit der niedrigsten und höchsten N-Düngungsstufe

²⁾ 300 dt ha⁻¹ FM

³⁾ 60 dt ha⁻¹ TM + 60 kg ha⁻¹ N-Ausgleich

⁴⁾ Ölrettich nach Aufwuchs

⁵⁾ 250 dt ha⁻¹ FM

3. Ergebnisse

3.1. Entwicklung des Blattflächenindexes

Die organisch-mineralische Düngung und die Jahreswitterung hatten starken quantitativen Einfluß auf die Entwicklung des Blattflächenindexes von Winterweizen (Abb. 1). Die qualitative Reaktion des Weizens auf die gestaffelte N-Düngung war allerdings in beiden Jahren identisch.

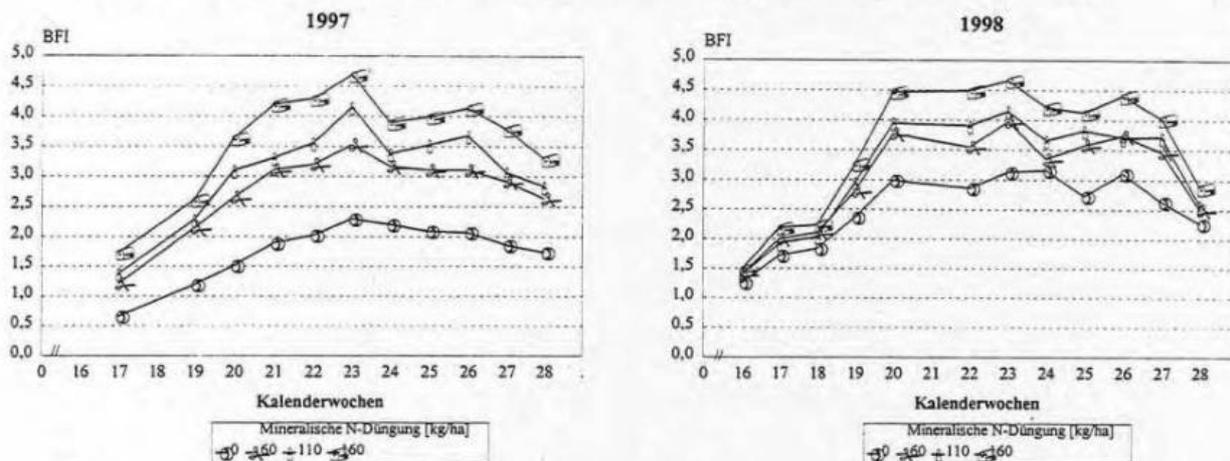


Abbildung 1: Entwicklung der Blattflächenindizes von Winterweizen bei unterschiedlicher mineralischer N-Düngung in der Versuchsreihe mit Stroh-, Grün- und Rübenblattdüngung

Mit Beginn der Messungen zum Zeitpunkt des Schossens (BBCH 30-31) erreichte die Assimilationsfläche sowohl 1997 wie auch 1998 in allen Düngungsvarianten innerhalb von sechs bzw. sieben Wochen ihr Maximum. Die höchsten Blattflächenindizes wurden in beiden Jahren zum gleichen Zeitpunkt in der 23. Kalenderwoche kurz nach dem Ährenschieben bzw. während der Blüte (31.05.-06.06.) erreicht. Steigende mineralische Stickstoffdüngung hat den Blattflächenindex stets gefördert. Der größte, fast immer statistisch gesicherte Zuwachs an Blattfläche trat jeweils bei Düngung mit 60 kg ha^{-1} Mineral-N im Vergleich zu „ohne mineralische N-Düngung“ auf. Zwischen dem Verlauf des Blattflächenindexes sowie der Ertragshöhe und -struktur bestanden teilweise enge Beziehungen (Welles & Norman, 1991). So deuten z.B. hohe Blattflächenindizes während der Kornbildungsphase im Jahr 1998 auf gute Assimilationsvoraussetzungen hin, die zu hohen Tausendkorngewichten ($> 51 \text{ g}$) führten.

3.2. Kornertrag und Ertragsstruktur

Zwischen den Jahren wichen die Winterweizen-Kornerträge bis auf die Düngungsvariante Stroh-/Grün-/Rübenblattdüngung nur geringfügig voneinander ab (Abb. 2). In Abhängigkeit von der organisch-mineralischen Düngung wurden in beiden Jahren zwischen $27,9$ und $63,4 \text{ dt ha}^{-1}$ erreicht. Mit 60 kg ha^{-1} N wurde der größte Ertragszuwachs im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle erreicht. Bereits mit dieser Aufwandmenge wurden Kornerträge im Höchstertragsbereich erzielt. Höhere

N-Mengen hatten nur noch geringe Ertragszunahmen zur Folge. In Kombination mit Stroh-, Grün- und Rübenblattdüngung wirkten im Jahr 1997 160 kg ha⁻¹ Mineral-N ertragsdepressiv. Die größten Mehrerträge durch die organische Düngung wurden bei unterlassener mineralischer N-Düngung erzielt (Köhn & Limberg, 1996).

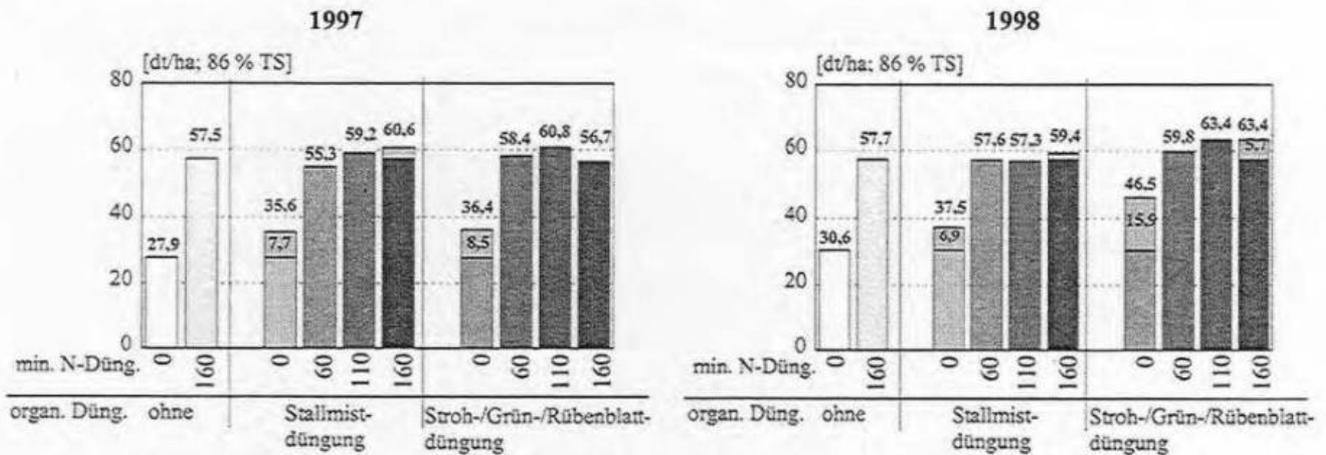


Abbildung 2: Kornertrag von Winterweizen in verschiedenen Düngungssystemen

Die Ergebnisse der Ertragsanalyse (ohne Darstellung) unterschieden sich in beiden Jahren deutlich. 1997 waren die Bestandesdichten im Versuchsmittel um 12,6 % höher als 1998. Demgegenüber übertrafen die Einzelährengewichte des Jahres 1998 infolge höherer Kornzahlen je Ähre und Tausendkornengewichte diejenigen des Vorjahres um 17,1 %. Hierdurch konnten die geringeren Bestandesdichten im Vergleich zum Vorjahr kompensiert und insbesondere im Düngungssystem Stroh-/Grün-/Rübenblattdüngung sogar höhere Kornerträge erzielt werden.

Am deutlichsten positiv auf das steigende N-Angebot reagierte die Bestandesdichte, besonders im Jahr 1997. Bei der Kornzahl je Ähre und dem Tausendkorngewicht blieben die Unterschiede zwischen den Stufen 60 bis 160 kg ha⁻¹ N relativ gering. N-Gaben über 110 kg ha⁻¹ führten häufig zu einer Verminderung bei diesen beiden Ertragskomponenten. Die Effekte der organischen Düngung waren besonders bei fehlender Mineral-N-Düngung offensichtlich.

3.3. Backqualität

Von den Qualitätsparametern lagen 1997 im Mittel der Düngungsvarianten die Proteingehalte geringfügig höher als 1998 (Tab. 3).

Während die Feuchtglutengehalte und Sedimentationswerte bis auf wenige Ausnahmen in beiden Jahren annähernd gleich waren, zeigten sich die Fallzahlen primär von der Jahreswitterung beeinflusst und wiesen erwartungsgemäß keinen gerichteten Düngungseinfluß auf. Sie erreichten in beiden Jahren in allen Düngungsvarianten gute Werte.

Die Rohproteingehalte im Mehl (Typ 405) nahmen mit steigender N-Düngung bis zur höchsten Gabe von 160 kg ha⁻¹, also auch im ertragsdepressiven Bereich zu (Lopez-Bellido *et al.*, 1998). Qualitätsweizen konnte mit der Brotweizensorte *Ares* nur mit der höchsten N-Gabe erzeugt werden. Ähnlich waren die Befunde auch beim Feuchtglutengehalt und Sedimentationswert. Die organische Düngung hatte bei diesen Parametern zusätzlich positive Effekte.

Tabelle 3: Backqualität von Winterweizen in verschiedenen Düngungssystemen

Düngungs- system	Proteingehalt im Mehl [%]		Feuchtgluten- gehalt [86 % TS]		Sedimentations- wert [ml]		Fallzahl [s]	
	1997	1998	1997	1998	1997	1998	1997	1998
ohne organische Düng.								
0 kg ha ⁻¹ N	8,6	6,8	17,9	12,7	18	12	262	188
160 kg ha ⁻¹ N	11,7	10,9	27,3	26,4	35	36	286	244
Stallmistdüngung								
0 kg ha ⁻¹ N	8,0	6,9	16,6	15,9	20	13	265	220
60 kg ha ⁻¹ N	8,3	7,8	16,2	18,1	22	22	274	218
110 kg ha ⁻¹ N	9,8	10,0	23,0	25,0	30	33	312	210
160 kg ha ⁻¹ N	11,5	11,6	28,4	28,2	35	37	290	256
Stroh-/ Grün-/ Rübenblattdüngung								
0 kg ha ⁻¹ N	8,0	7,8	16,5	17,0	20	19	287	226
60 kg ha ⁻¹ N	8,9	8,8	18,9	20,2	24	26	300	219
110 kg ha ⁻¹ N	10,8	10,2	26,1	25,2	32	34	295	238
160 kg ha ⁻¹ N	12,3	10,9	30,5	27,6	37	38	307	256

4. Zusammenfassung

Die organisch-mineralische Düngung hatte starken, von der Jahreswitterung modifizierten Einfluß auf die Ertrags- und Qualitätsbildung von Winterweizen. Zwischen Blattflächenindex und Ertragsstruktur und -höhe konnten z.T. enge Zusammenhänge festgestellt werden. Im Mittel der Jahre wurden mit 60 kg ha⁻¹ N-Düngung Erträge im Höchstertragsbereich erzielt. Höhere N-Düngermengen waren weitaus weniger effektiv. Die Anforderungen für Qualitätsweizen wurden bei der B-Weizensorte *Ares* erst mit 160 kg ha⁻¹ Mineral-N-Düngung erreicht.

5. Literatur

- Welles J.M., J.M. Norman, 1991: Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture. In: *Agronomy Journal*, Vol. 83, p. 818-825
- Köhn, W., P. Limberg, 1996: Der Internationale Organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem nach drei Rotationen. In: *Archiv Acker und Pflanzenbau* 40, S. 75-95
- Lopez-Bellido, L., M. Fuentes, J.E. Castillo, F.J. Lopez-Garrido, 1998: Effects of tillage, crop rotation and nitrogen fertilization on wheat-grain quality grown under rainfed Mediterranean conditions. In: *Field Crops Research* 57, p. 265-276

Ausgewählte Aspekte des Stickstoffhaushaltes eines schluffigen Sandbodens in Abhängigkeit von organischer und mineralischer Düngung

Peschke, H.; Mollenhauer, St. und Köhn, W.

Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Invalidenstrasse 42, D-10115 Berlin

Einleitung

Der Internationale Organische Stickstoffdauerdüngungsversuch Berlin-Dahlem ist Teil einer europaweiten Serie von den zur Zeit noch 14 vergleichbaren Feldexperimenten. Der Dahlemer Versuch wurde 1986 auf schluffigem Sand mit der Fruchtfolge Kartoffeln - Winterweizen - Sommergerste (alle drei Fruchtarten jährlich parallel angebaut) angelegt. Prüffaktoren sind die organische und mineralische Düngung.

Prüf- glied	Düngung	Zwischenernte				Haupternte (kg N/ha)			
		1.	2.	3.	4.	0	60	110	160
1.	ohne Düngung	0				0			
2.	Mineral- düngung	160							160
3.	Stall- mist	0				0			
4.	Mineraldünger und Stallmist	110						110	
5.	Stroh, Gründung, Rübenblatt	0				0			
6.	Mineraldünger, Stroh, Gründung, Rübenblatt	110						110	

Abb. 1: Anordnung der Mikroparzellen

Methodik

Der Versuch ist als Spaltanlage mit eingeschränkter Randomisation angeordnet. In den drei Wiederholungen des Weizens wurden in den Jahren 1994 bis 1996 jeweils Mikroparzellen in den in Abb. 1 ausgewählten Prüfgliedern eingebaut, und zwar für Zwischenernten düngungskonform zur Großparzelle und für die Haupternte in jeder Großparzelle alle Düngungsstufen des Gesamtversuches. Die N-Düngung erfolgte mit ¹⁵N-markiertem Ammoniumsulfat. Die ¹⁵N-Häufigkeit in den Boden- und Pflanzenproben wurde emissionsspektrometrisch mit dem ¹⁵N-Analysensystem NOI 6 PC (FAN Fischer Analysen Instrumente Leipzig) festgestellt.

Ergebnisse

Mit Hilfe der ¹⁵N-Tracertechnik ist es möglich, das N-Angebot im Boden und den N-Entzug der Pflanze nach der N-Herkunft, dem bodenbürtigen und dem Düngerstickstoff, zu unterscheiden. Am

Beispiel des Versuchsjahres 1994 wird gezeigt, dass der Mineraldünger-N (Kopfdüngung) neben der pflanzlichen N-Aufnahme in einem erheblichen Teil mikrobiell immobilisiert wurde. Dagegen wird parallel bei verminderter Aufnahme in den ersten 8 Wochen zusätzlich organisch gebundener Bodenstickstoff mineralisiert (Abb. 2).

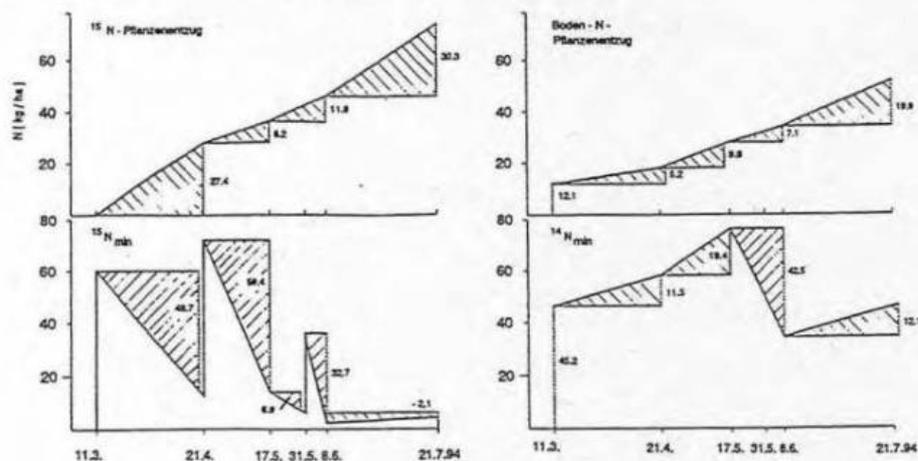


Abb. 2: Veränderungen im N_{min} -Gehalt und im N-Pflanzenentzug

Die Korn- und Stroherträge zur Haupternte lassen sich mit hohen Bestimmtheitsmaßen in Abhängigkeit von der N-Düngergabe darstellen. Gegenüber der Norm-Düngung der Grossparzelle bringt jeder einjährige Eingriff, d.h. Erhöhung der N-Düngermenge, einen Ertragsanstieg und die Minderung der N-Gabe einen Ertragsabfall (Abb. 3).

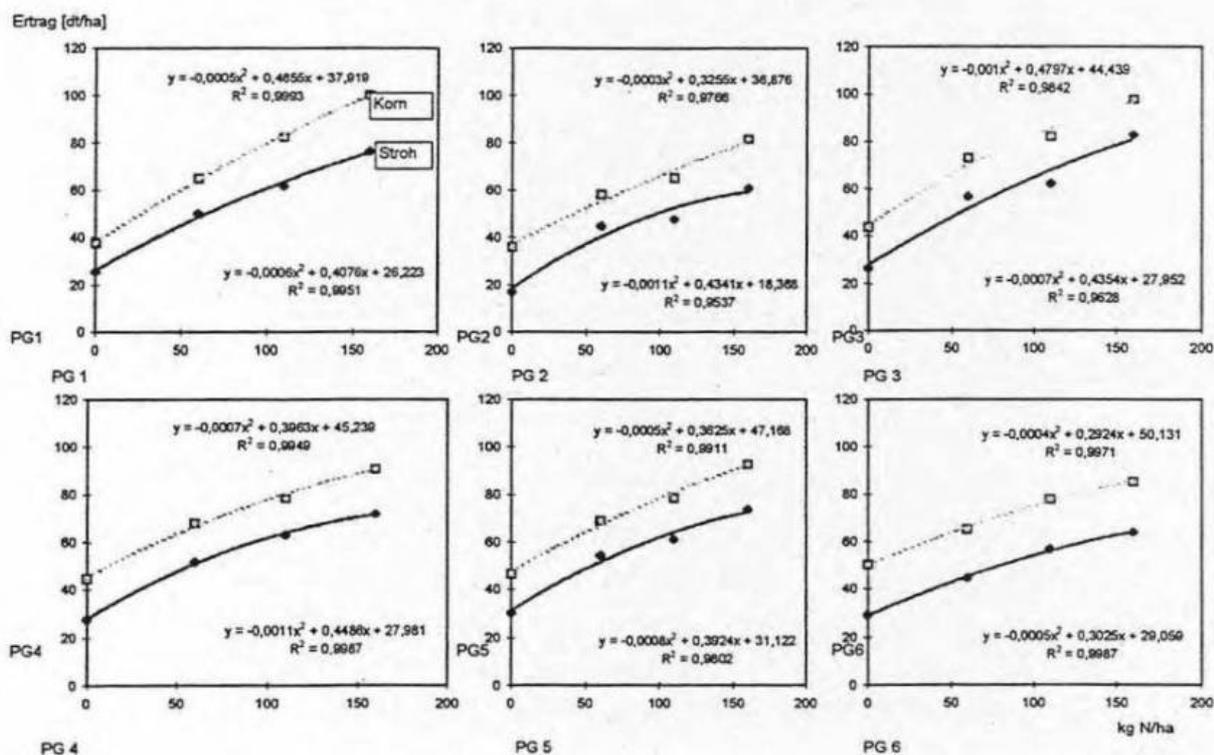


Abb. 3: N-Produktionsfunktion Ertrag 1994

Der düngerbürtige N-Entzug vorgenannter N-Produktionsfunktionen des Winterweizens korrespondiert eindeutig mit dem Aufwand des Mineraldüngers. Die Aufnahme des aus dem Boden stammenden Stickstoffs ist dagegen auch von bodenökologischen Rahmenbedingungen bestimmt.

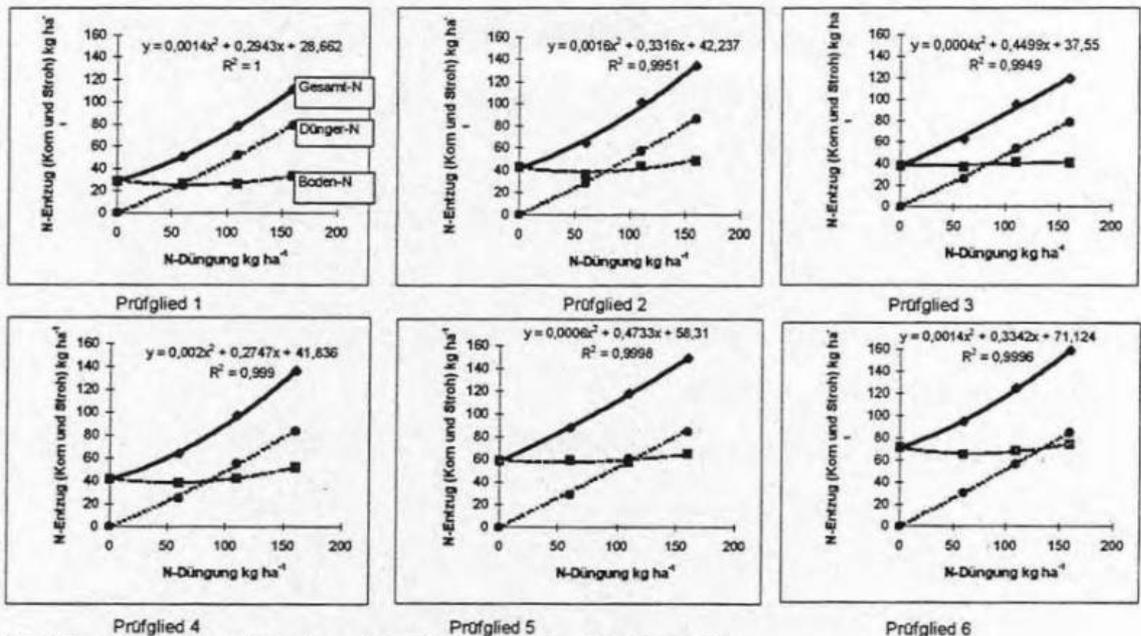


Abb. 4: Produktionsfunktionen des boden- und düngerbürtigen N im pflanzlichen Entzug 1995

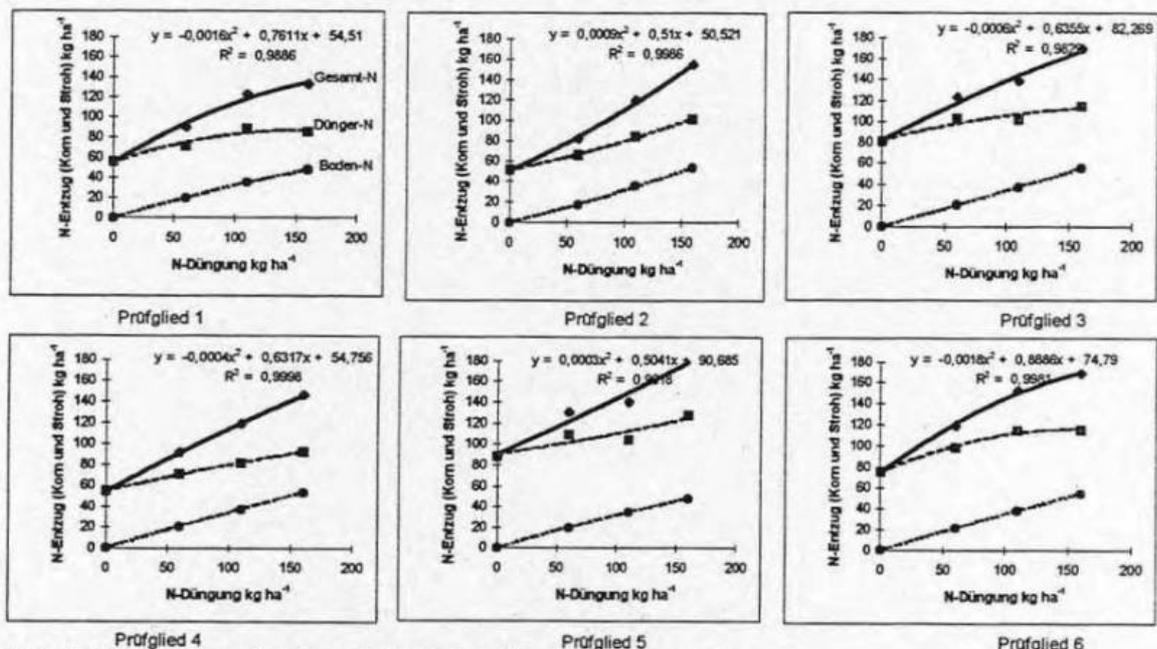


Abb. 5: Produktionsfunktionen des boden- und düngerbürtigen N im pflanzlichen Entzug 1996

So war 1995 die Boden-N-Aufnahme unabhängig von der N-Staffelung und dem Anstieg des N-Entzuges parallel zur Dünger-N-Aufnahme. Anders im Folgejahr: steigender Mineraldüngereinsatz führte zu einer beachtlichen Extramobilisierung (Abb. 4 und 5). Die zahlenmäßige Auswirkung auf der Basis des Kornertrages macht bei der Düngestufe 160 kg/ha gegenüber dem ungedüngten Prüfglied eine Steigerung auf 150 bis 240 % aus.

Schlußfolgerungen

- Dauerfeldversuche sind hervorragend geeignet, durch kurzzeitig eingebaute Experimente vertiefende Informationen zu gewinnen.
- Mit Hilfe des ^{15}N -Tracereinsatzes sind über die planmäßigen Routineuntersuchungen hinaus weitere zusätzliche Erkenntnisse zu ermitteln.
- Durch die Separierung nach Boden- und Dünger-N-Herkunft ist die N-Dynamik im Boden und die N-Verfügbarkeit für die Aufnahme durch die Pflanze besser zu beschreiben. Schließlich kann die N-Quelle im Ernte-N-Entzug exakt bestimmt werden.
- Aus den z.T. erheblichen Unterschieden von Jahr zu Jahr leitet sich weiterer Forschungsbedarf ab.

Literatur

- Peschke, H.; Limberg, P. und Köhn, W. (1995): Untersuchungsprogramm zur Stickstoffdynamik im Boden sowie Stickstoffverwertung und Ertragsbildung von Winterweizen im IOSDV Berlin-Dahlem nach 3 Fruchtfolgerotationen. Mitt. der Intern. Arbeitsgemeinschaft für Bodenfruchtbarkeit der Intern. Bodenkundl. Gesellschaft, Tartu (Estland), 23 – 27
- Peschke, H.; Mollenhauer, S.; Köhn, W. und Limberg, P. (1997): Entwicklung von Bodenkennwerten im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch Berlin-Dahlem nach drei Fruchtfolgerotationen. Arch. Acker- Pf. Boden. 42, 3 – 10
- Oberdoerster, U.; Peschke, H. und Mollenhauer, S. (1997): Einfluß mineralischer und organischer N-Düngung auf bodenmikrobiologische Parameter im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem. Arch. Acker- Pf. Boden. 42, 11 – 19
- Peschke, H. und Mollenhauer, S. (1996): Untersuchungen mit ^{15}N im Dauerdüngungsfeldversuch. Isotopes Environ. Health Stud. 32, 159 – 165
- Peschke, H. und Mollenhauer, S. (1998): N_{an} -Gehalt im Boden, mineralische N-Düngung und N-Entzug von Winterweizen im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Berlin-Dahlem. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161, 1 - 7

Wirkungen langjährig differenzierter Fruchtfolge und Düngung auf Humushaushalt und Getreideertrag

M. Baumecker, M.; Ellmer, F.; Steffin, U.

Institut für Pflanzenbauwissenschaften der Humboldt-Universität zu Berlin

Albrecht-Thaer-Weg 05, 14195 Berlin

1. Einleitung

Seit 1976 wird am Standort Thyrow (Land Brandenburg, Landkreis Teltow-Fläming) in einem Feldversuch der Frage nachgegangen, wie steigende Getreideanteile in der Fruchtfolge bis hin zu reiner Getreidefolge die Bodenfruchtbarkeit und insbesondere den C_{org} -Gehalt beeinflussen und damit die Ertragsfähigkeit eines schwach schluffigen Sandbodens verändern. Darüber hinaus soll die Frage beantwortet werden, ob fortgesetzte Strohdüngung in Verbindung mit differenzierter Mineral-N-Düngung hierauf modifizierend wirkt (Köhn 1998).

2. Standort

Der Standort Thyrow liegt im Gebiet der mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen, im Bereich der Nuthe-Notte-Niederung, die sich südlich an die Teltower Platte anschließt. Die am Standort vorherrschenden grundwasserfernen Sand- bis anlehmigen Sandböden sind aus rostfarbenen Waldböden entstanden. Mit rund 5 % Anteilen von Ton und Feinschluff sind sie feinanteilarm und wenig fruchtbar (Tab. 1).

Tabelle 1: Bodenphysikalische und bodenchemische Parameter

Parameter	Maßeinheit	Mittlere Werte
Sand	%	83,1
Schluff	%	14,2
Ton	%	2,7
nutzbare Feldkapazität	mm dm ⁻¹	11,3
C_{org}	mg 100 g ⁻¹	520,0
N_t	mg 100 g ⁻¹	40,0
P	mg 100 g ⁻¹	9,8
K	mg 100 g ⁻¹	8,8
pH-Wert		5,0

Vorherrschende Bodenformen sind Tieflehm-Fahlerden, die mit Braun- und Rosterden vergesellschaftet sind. Die Böden wurden bei der Reichsbodenschätzung mit S4D 25/23, S1 4D 28/26 und S1 4D 33/31 bewertet. Infolge der ackerbaulichen Nutzung entstand ein bis zu 25 cm mächtiger

A-Horizont. Der B-Horizont besteht größtenteils aus dichtgelagerten Sanden, die mehr oder minder von Lehmschichten durchzogen werden.

Für den Pflanzenbau bietet der zur Versauerung neigende Boden insbesondere aufgrund mangelhafter Wasserspeicherfähigkeit und geringen Humusgehalten nur unvollkommene Voraussetzungen. Mit 496 mm Niederschlag im langjährigen Mittel (1961 - 1990) und einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7 °C ist der Standort dem brandenburgischen Übergangsklima zuzuordnen.

3. Feldversuch

Der Versuch ist eine dreifaktorielle Blockanlage in zweifacher Wiederholung. Die Fruchtarten der jeweils vierfeldrigen Fruchtfolgen stehen im jährlichen Wechsel und werden in zwei Stufen der Strohdüngung sowie in vier Stufen der mineralischen N-Düngung geprüft (Tab.2).

Tabelle 2: Prüffaktoren und Faktorstufen

Prüffaktor A: Fruchtfolge			Prüffaktor B: Strohdüngung		Prüffaktor C: Mineral-N-Düngung			
a1	a2	a3	b1	b2	c1	c2	c3	c4
50 % Getreide	75 % Getreide	100 % Getreide						
Futterrüben	Futterrüben	Wintergerste *)	ohne	mit	Blattfrüchte (kg ha ⁻¹)			
Sommergerste	Sommergerste	Sommergerste			60	120	180	240
Winterroggen	Winterroggen	Winterroggen			Getreide (kg ha ⁻¹)			
Silomais	Winterroggen	Hafer			40	80	120	160

*) nachfolgend Sommerzwischenfrucht Ölrettich zur Gründüngung (80 kg ha⁻¹ N)

Die Strohdüngung wird in Höhe des anfallenden Strohertrages nach Sommergerste und Winterroggen (2. und 3. Rotationsjahr) ohne N-Ausgleichsdüngung gegeben. Das Stroh der weiteren Anbaujahre wird verworfen.

4. Ergebnisse

4.1. Organische Bodensubstanz

Die Entwicklung des Gehaltes an organischer Bodensubstanz wird durch jährliche naßchemische Bestimmung der C_{org}-Werte untersucht. Diese Gehalte haben sich im Verlauf von 25 Jahren in der Rangfolge der Prüffaktoren (1) Fruchtfolge, (2) Strohdüngung und (3) Mineral-N-Düngung stark differenziert. Bei 50 % Getreide in der Fruchtfolge ist der C_{org}-Gehalt um durchschnittlich 25 % und bei 75 % Getreide um 20 % gesunken. Ausschließlicher Getreideanbau hat demgegenüber eine weitgehende Stabilisierung der ursprünglichen C_{org}-Gehalte bewirkt. Durch zweimalige Strohdüngung in vier Jahren hat der C_{org}-Gehalt um 4 bis 12 % zugenommen. Mineral-N-Zusatzdüngung von 150 kg ha⁻¹ (c1 : c4) wirkte sich auf den C_{org}-Gehalt hingegen nur gering aus (0 bis 8 %). Insgesamt

haben sich im Verlauf von 25 Jahren zwischen der Fruchtfolge mit 50 % Getreideanteil und der reinen Getreidefolge somit Differenzen im C_{org} -Gehalt von bis zu durchschnittlich $190 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$ eingestellt (Abb. 1). Diese sind nahezu unabhängig von der Stroh- und Mineral-N-Düngung und entsprechen etwa denen, die in benachbarten Dauerversuchen (Nährstoffmangelversuch, Bodenfruchtbarkeitsversuch) durch langjährige Stallmistdüngung im Vergleich zur ausschließlichen Mineraldüngung nachgewiesen werden (Peschke, 1997; Ellmer et al., 1997)

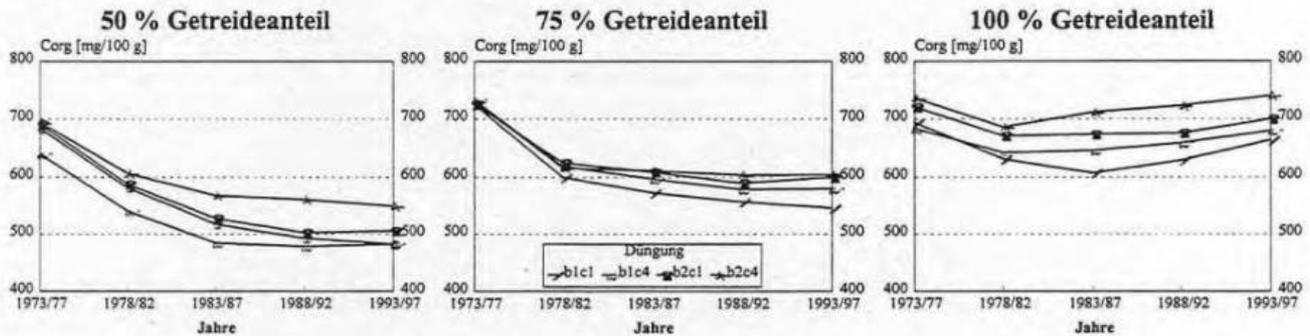


Abbildung 1: Entwicklung der C_{org} -Gehalte ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) in Abhängigkeit von Getreideanteil, Strohdüngung und Mineral-N-Düngung (1973 - 1997)

4.2. Getreideertrag

Die Entwicklung der Getreideerträge wird für Sommergerste und Winterroggen dargestellt (Abb. 2). Strohdüngung und damit verbundene höhere Humusgehalte sind der Fruchtfolgewirkung deutlich nachgeordnet. Demgegenüber zeigte sich im Winterroggenertrag bei steigendem Getreideanteil in der Fruchtfolge die bekannte größere Toleranz. Auf höhere Humusgehalte infolge von Strohdüngung reagierte er jedoch nicht. Die Ertragsoptima wurden bei Sommergerste mit 80 kg ha^{-1} und bei Winterroggen mit 120 kg ha^{-1} N-Düngung erreicht.

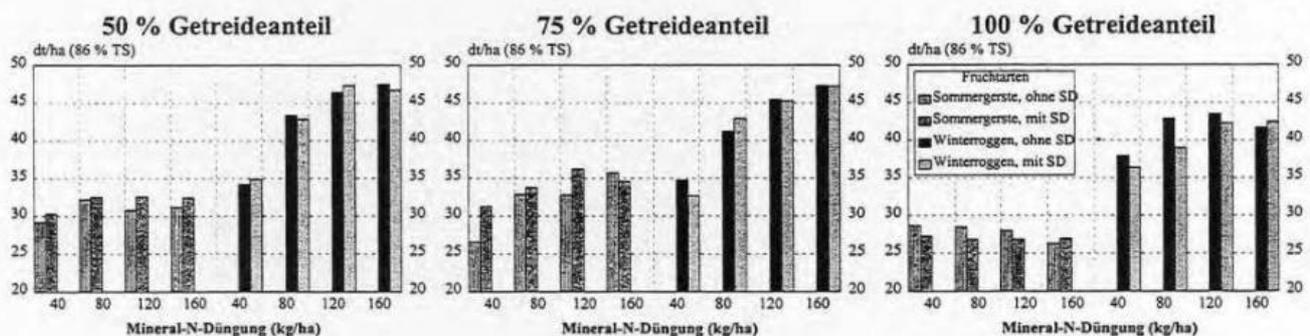


Abbildung 2: Sommergersten- und Winterroggenerträge (dt ha^{-1}) bei unterschiedlichen Getreideanteilen in der Fruchtfolge (1973 - 1998)

Der Sommergerstenertrag hing primär von der Fruchtfolge ab, wobei die höchsten Erträge in der Folge mit 75 % Getreideanteil erreicht wurden. Reine Getreidefolge nach Wintergerstenvorfrucht

fürte hingegen zu 20 % Minderertrag. Auffallend sind die bei 75 % Getreideanteil in der Fruchtfolge gestiegenen Sommergerstenerträge auch im Vergleich zu 50 %. Als Ursache kann hier der höhere Gehalt an organischer Bodensubstanz angesehen werden. Allerdings folgte der Ertrag in den Varianten mit 100 % Getreide nicht diesem Trend. Die höheren Humusgehalte waren hier offensichtlich aufgrund von Fruchtfolgeeffekten nicht ertragswirksam.

5. Schlussfolgerungen

Aus den 25jährigen Versuchsergebnissen zum Einfluß von Fruchtfolge, Strohdüngung und Mineral-N-Düngung auf Humushaushalt und Getreideertrag eines schwach schluffigen Sandbodens können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- In reinen Getreidefruchtfolgen wird der Humusgehalt bei regelmäßiger Strohdüngung (alle zwei Jahre) auf hohem Niveau erhalten. Hackfruchtanteile von 25 % bzw. 50 % führen demgegenüber zu deutlichem Humusabbau.
- Sommergerste reagiert in ausschließlicher Getreidefolge im Vergleich zu Fruchtwechsel mit 50 % Getreideanteil mit Ertragsminderung von 20 %. Winterroggen toleriert hingegen hohe Getreidekonzentration weitgehend.
- Mineralische N-Düngung von mehr als 80 kg ha⁻¹ zu Sommergerste sowie mehr als 120 kg ha⁻¹ zu Winterroggen ist unter den gegebenen Standortbedingungen nicht ertragswirksam.

6. Literatur

- Ellmer, F.; Baumecker, M.; Schnieder, E.: Langfristige Entwicklung des Humusgehaltes in Dauerfeldversuchen am Standort Thyrow. Mitt. Deutsche Bodenkdl. Ges.- 84 (1997).- S. 397-400
- Köhn, W. [Hrsg.] (1998): Versuchsführer 1998.- Versuchsstation. Institut für Pflanzenbauwissenschaften. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin, S. 134-150
- Peschke, H. [Hrsg.] (1997): Einfluß der Bodennutzung auf die langfristige Entwicklung von Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit sandiger Böden.- Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät Heft 7, Humboldt-Universität zu Berlin., S. 90-134
- Peschke, H.; Ellmer, F.; Baumecker, M.: Einfluß langjährig differenzierter Düngung auf Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit sandiger Böden - Ergebnisse aus Dauerversuchen. Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung. 39 (1998).- S. 157-161

Soil fertility in a long-term fertilizer trial with different tillage systems

Hoffmann, S.; Kismányoky, T.; Balázs, J.

Pannon University of Agricultural Sciences Georgikon Faculty

Department of Plant Production, H-8360 Keszthely, Festetics Str. 7, Hungary

Introduction

In the Hungarian soil tillage practice conservation tillage is not yet wide-spread, which can be mainly explained by unfavourable climate characteristics and lack of appropriate machinery.

Conservation tillage practises as reduced or no-till are favoured owing to their potential to have a better water storage, reduce wind- and water erosion, decrease energy input, but they often supply less available-N (Eck and Jones, 1992; Rhoton et al., 1993). The reduced N-supply capacity often results - especially on fine textured soils -, in smaller yields as compared to conventional tillage practises (Dick et al., 1991).

Material and methods

In Keszthely/Hungary (46°47' N; 17°15' E; 112m above SL), a long-term field experiment with different soil tillage systems and NPK fertilization is carried out since 1972 in a randomised split-plot design with four replications. Soil type of the experiment is a well drained Eutric Cambisol (clay content 27 %; humus content 1.8 %; C/N: 10.2; pH H₂O 7.1). Long-term annual mean values of precipitation and temperature are 700 mm and 10.8 °C, respectively.

Tillage systems are as follows: 1. conventional (fall mouldboard ploughing + secondary tillage); 2. reduced (fall disc - harrowing + secondary tillage); 3. no-till. (with chemical weed control).

Maize and winter wheat alternate each other in two years rotation (maize - maize, w.wheat - w.wheat). Fertilizer treatments consist of different doses of N and P and constant K. In the course of time the rate of fertilizer treatments were modified. The weighted mean N rates for the whole period of experiment are as follows: N₀, N₁₄₀, N₂₁₀, N₂₈₀ and N₀, N₁₁₀, N₁₅₅, N₁₉₀ for maize and w. wheat respectively. This N rates are N₀, N₁₂₅, N₁₈₀ and N₂₃₅ on average of maize and wheat.

Soil samples were taken in 30 cm increments, a depth of 300 cm, 5 soil cores from each plot 34 mm in diameter. Soil samples were dried and ground to pass a 2 mm sieve. Duplicate samples were extracted using 1 % KCl and analysed for nitrate-N by steam distillation. Soil organic content was determined by Tyurin method.

Results and discussion

The long-term soil fertility is expressed in terms of grain yields on the nil plots and on the plots with optimum fertilization respectively (Fig. 1, 2 and 3, 4).

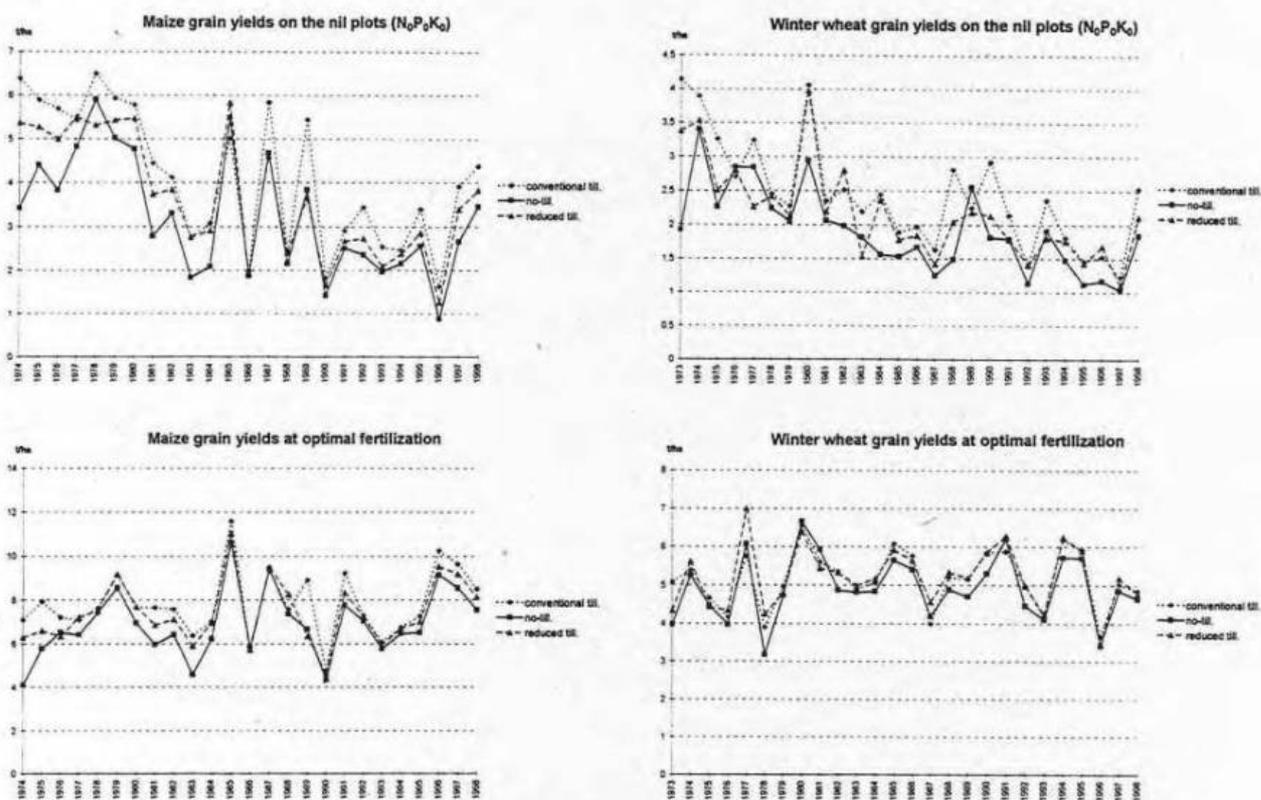


Figure 1. The long-term soil fertility of the experiment

It is apparent that in the course of years without any NPK fertilization grain yields of maize and w. wheat decreased significantly and reached a minimum level which was modified however by the actual climatic conditions. The analogous yield level of optimum NPK fertilization at maize showed a growing tendency (probably genetical progress) while at wheat it remained mostly constant.

Grain yield of winter wheat was influenced by the method of soil tillage to a lesser extent than the yield of maize (Figure 2.).

The greatest yield differences were found without any fertilization, however the growing N-doses and P and K fertilization reduced or partly covered up the effect of tillage. Maize grain yields with the mouldboard plow in average of the N-fertilized treatments significantly outyielded 12.3 % and 4.2 % no-till and reduced-tillage, respectively. In Hungary Birkás et al. (1997) report about a 14 % yield loss of direct drilling against fall ploughing, too.

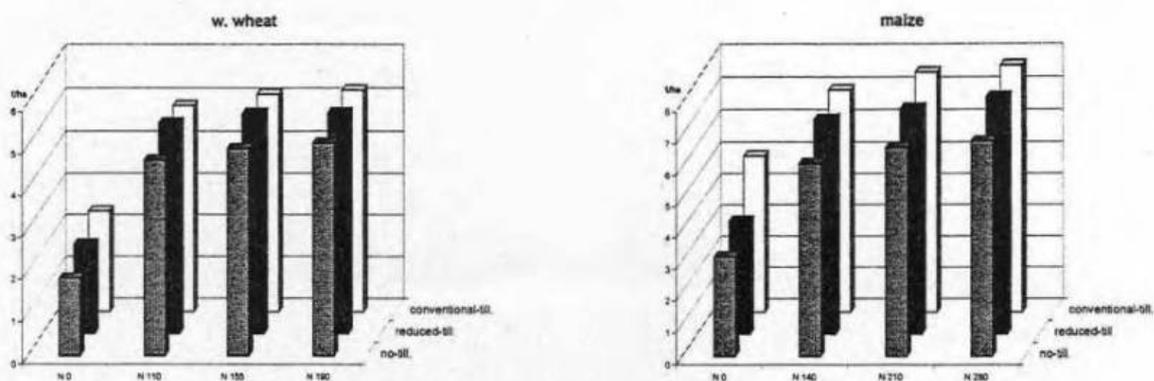


Fig. 2. Average grain yields of w. wheat and maize (1973 - 1996, t ha-1).

At w. wheat the conventional tillage without N-fertilization resulted also the highest grain yields and no-till. the lowest. With N-fertilization on the other hand reduced tillage slightly but not significantly exceeded conventional-tillage (2.2 %) and exceeded significantly no-till (5.5 %). Crop rotation had a positive effect, namely in the years w.wheat followed maize or maize followed w.wheat the yields were higher than following themselves.

At maize in average of all treatments the favourable crop sequence (w.wheat - maize) resulted in 15 % yield surplus significantly. At w.wheat the same effect of favourable crop sequence (maize - w.wheat) was smaller, it resulted only in a significant 7.3 % yield surplus.

Organic carbon content of soil is presented as a function of time and a function of N fertilization (Fig. 3.).

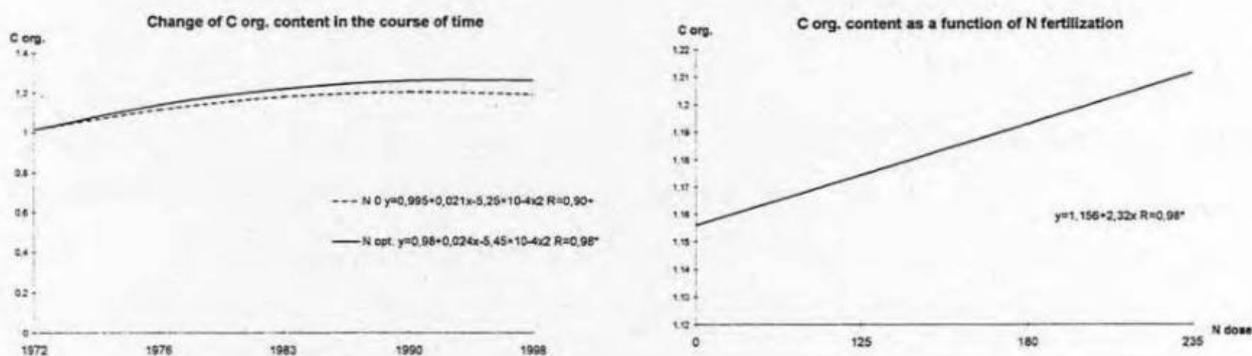


Fig. 3. Corg content as a function of time and N-fertilization

It can be ascertained, that in the course of years C_{org} -content of soil slightly increased not only on the optimum fertilized plots but on the N_0 , P_0 , K_0 plots too. N-fertilization alone showed only a smaller effect on the C_{org} -content of soil against nil plots.

The intensity of soil tillage had an influence on soil organic material too. Namely there was a little positive effect of reduced- and no-till also detectable against fall-ploughing (Fig. 4.).

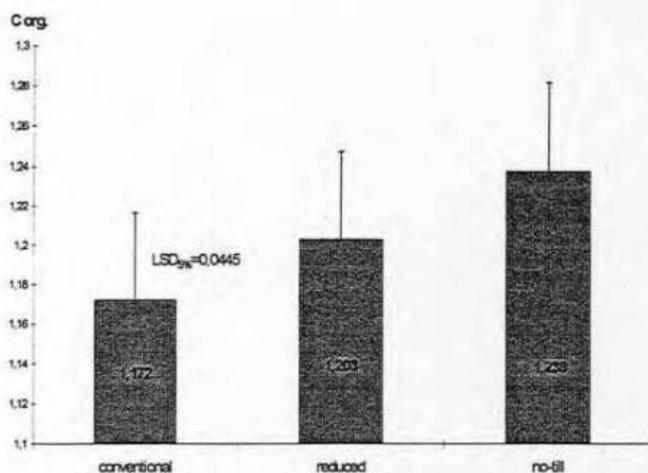


Fig. 4. C org content as a function of soil tillage system

nitrate infiltration which is probably due to the sandy texture of the subsoil under 0.8 - 0.9 m.

The results show that it is not possible to find remarkable differences between the nitrate-N reserves in the soil profiles according to the method of soil tillage. However there were no differences in the vertical distribution either. That assumes a high possibility of a relative quick nitrate N infiltration which is probably due to the sandy texture of the subsoil under 0.8 - 0.9 m.

Acknowledgements

The investigations were supported by the Hungarian Scientific Research Foundation (OTKA No T 019 709 and T 30768)

References

- BIRKÁS M.; NYÁRAI F., SZALAI T., 1997. Experiments with direct drilling in Hungary - Impacts on soil condition, weed infestation and crop yields. Proceedings 14th ISTRO Conference July 27 - Aug. 1, 1997. Pulawy, Poland. Bibliotheca Fragmenta Agronomica. Tom 2A 79-82
- DICK, W.A., EDWARDS, W.M., STEHOUWER, R.C., ECKERT, D. J., 1992. Maize yield and nitrogen uptake after established no-tillage fields are plowed. *Soil & Till. Res.* 24: 1-10
- ECK, H.V., JONES, O.R., 1992. Soil nitrogen status as affected by tillage, *Crops and crop sequences.* *Agron. Journ.* Vol. 84 Jul-Aug. 660-668
- RHOTON, F.E., BRUCE, R.R., BUEHRING, N.W., ELKINS, G.B., LANGDALE, C.W., TYLER, D.D., 1993. Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. *Soil & Till. Res.* 28: 51-61

Einfluß unterschiedlicher organischer und mineralischer Düngung auf Ertrag und Boden im IOSDV-Versuch Keszthely

Balázs, J.; Hoffmann, S.; Kismányoky, T.

Pannon University of Agricultural Sciences Georgikon Faculty, Keszthely
Institute of Agronomy, Department of Plant Production

1. Einleitung

Die Landwirtschaft steht heute unter dem Druck, die bisherigen N-Düngermengen im Interesse des Umweltschutzes zu reduzieren, aber möglichst gleichzeitig das Ertragsniveau und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und zu erhöhen. Zur Klärung der Frage der Wirkung verschiedener N-Düngerarten und -mengen auf die Bodenfruchtbarkeit bieten Dauerfeldversuche eine sehr gute Möglichkeit (Németh, 1996).

Im Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) mit der Fruchtfolge: Mais – Winterweizen - Wintergerste haben wir nach 9 bzw. 12 Versuchsjahren die Wirkung verschiedener Formen der organischen Düngung in Kombination mit mineralischer N-Düngung auf den Ertrag sowie auf den C_{org} - und N_{min} -Gehalt im Boden geprüft.

2. Material und Methoden

Der Versuchstandort liegt in West-Ungarn auf einer auf sandigem Löß ausgebildeten Braunerde (Eutric Cambisol) mit geringen Humus- und Phosphorgehalten und mittleren Kaliummengen. Der pH-Wert ist neutral, die Wasserkapazität mittel. Der IOSDV wurde 1984 in Keszthely mit 3 Stufen organischer Düngung und 5 Stufen mineralischer N-Düngung (Winterweizen: N 0, N 50, N 100, N 150, N 200; Mais: N 0, N 70, N 140, N 210, N 280; Wintergerste: N 0, N 40, N 80, N 120, N 160;) in der Fruchtfolge: Mais - Winterweizen - Wintergerste angelegt (Hoffmann et al., 1997).

3. Ergebnisse

3.1. Die Erträge

Im Durchschnitt von 12 Jahren zeigt die organische Düngung ohne Mineralstickstoffdüngung die größten Unterschiede zwischen den Korerträgen. In den N 0-Parzellen ist nach 4 Rotationen noch keine Ertragsminderung festzustellen (Abb. 1). Besonders positiv wirkt der Stalldung, die Strohdüngung mit Zwischenfrucht zeigt eine etwas geringere Wirkung. Nach der Mineral-N-Stufe N₁ ist jedoch kein deutlicher Vorteil der organischen Düngung mehr zu erkennen.

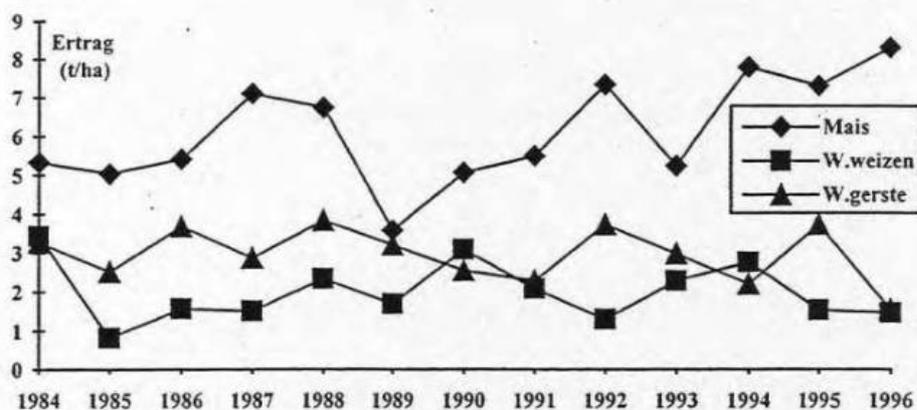


Abbildung 1: Die Erträge der N 0 Parzellen

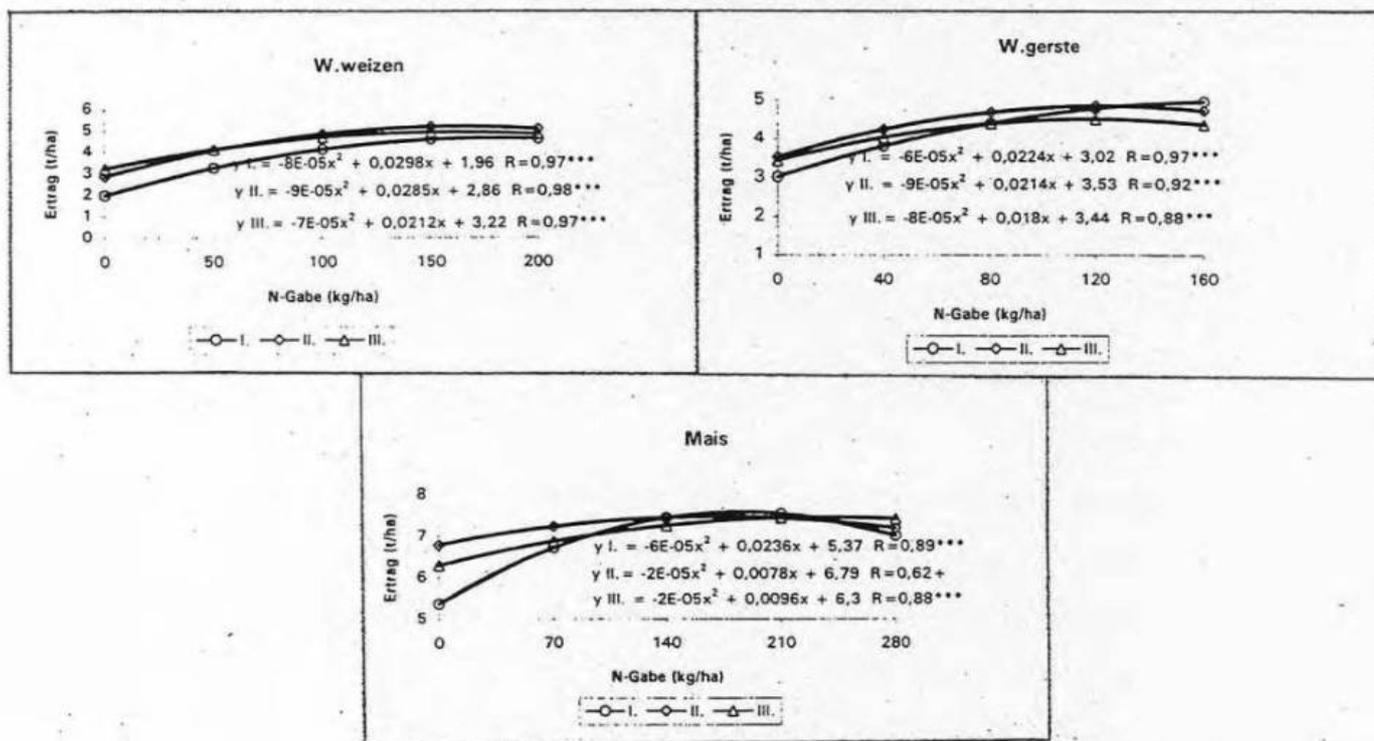


Abbildung 2: Korerträge (t/ha) im IOSDV Keszthely

In dieser Publikation sind die Mittelwerte der Gesamterträge der drei Versuchspflanzen als quadratische Funktion in *Abbildung 2* graphisch dargestellt. Die sehr positive Wirkung von

Stalldüngung und Strohdüngung bei Mais wird nur bei niedrigen N-Stufen deutlich, aber die Ertragskurven zeigen keinen großen Ertragszuwachs. Der quadratische Zusammenhang zwischen Stallmistdüngung und Kornertrag ist sehr schwach und auch bei Stroh + Gründüngung gering. Die Ergebnisse lassen die N-Zufuhr jeweils mit der organischen Düngung erkennen. Bei Winterweizen ist eine deutliche Nachwirkung von Stalldüngung ersichtlich. Die Wirkung der organischen Düngung ergibt bei allen N-Stufen einen Mehrertrag der mineralischen N-Düngung. Bei Wintergerste wirkt das Weizenstroh der Vorfrucht weniger günstig und führt zu einem Minderertrag. Die Nachwirkung von Stallmist ist noch erkennbar (Hoffmann et al., 1999a).

3.2. N-Bilanz und N-Ausnutzung

Die N-Ausnutzung in den unterschiedlichen Düngungsvarianten läßt sich aus den Stickstoffbilanzen ableiten. In allen drei Systemen erreichen die Erträge einen Optimalbereich, in dem die vereinfachten N-Bilanzen mehr oder weniger positiv sind. Im Bereich des Ertragsoptimums betragen die N-Bilanzenwerte 13 - 54 kg N/ha.a. Bei "Stroh- und Gründüngung mit N-Ausgleich" liegen die N-Bilanzwerte schon zwischen 70 - 120 kg N/ha.a., die schon eine größere N-Verlagerung in das Grundwasser verursachen können. Diese positiven N-Bilanzen unterscheiden sich erheblich von den Bilanzwerten anderer Autoren (v. Boguslawski, 1995; Lang et al., 1995; Köhn et al., 1997; Pfefferkorn und Körschens, 1995), bei denen die N-Bilanzen auch bei hohen N-Gaben negativ geblieben waren.

Unter Berücksichtigung der Ertragsleistung und der Bodenfruchtbarkeit erscheint das System Stalldüngung in Kombination mit Mineral-N am günstigsten. Es vermindert den Bedarf an mineralischen N-Dünger. Im Vergleich zu den anderen Varianten ergibt sich eine relativ gute N-Ausnutzung.

Die N-Ausnutzung der organischen Dünger errechnet sich unter Berücksichtigung der N-Ausnutzung der entsprechenden N-Stufen "ohne organische Düngung". Alle Ausnutzungsquotienten sind relativ niedrig, etwa die Hälfte im Vergleich zu den Angaben von Lang et al., (1995). Extrem niedrig ist die N-Ausnutzung der Strohdüngung mit N-Ausgleich bei N₃ und N₄.

Die erste N-Stufe hebt die Ausnutzung des Stalldüngung-N von 29 % auf 37 %, danach folgt eine Verminderung. Es kann angenommen werden, daß die erste N-Stufe die Wirksamkeit des relativ stickstoffarmen Stallmistes noch verbessert. Bei Stroh + Zwischenfrucht ist ein entsprechender Düngereffekt nicht zu finden. Im Mittel aller N-Varianten ist die Ausnutzung von Stallmist-N rd. 10 % höher als bei Stroh. Die durchschnittliche Ausnutzung der mineralischen N-Düngung in den Varianten "ohne organische Düngung" und in den Varianten mit Stalldüngung ist fast gleich, in den

Varianten mit Strohdüngung ist die N-Ausnutzung jedoch schwächer. Die beste Ausnutzungsrate findet man bei N₁ mit Stalldung.

Hohe Einträge haben mit Strohdüngung bei den höchsten N-Stufen eine Nitratanreicherung und eine sich abwärts bewegende NO₃-Konzentrationspitze bewirkt, die vermutlich zu einer Belastung des Grundwassers führen wird. Die Ergebnisse zeigen, daß bei einer N-Gabe über etwa 150 kg/ha eine weitere N-Gabe als Ausgleichdüngung für Strohabbau überflüssig ist und zu Auswaschungen führen kann. Der Stalldung hat, auch bei höheren N-Stufen, keine ausgeprägte Nitratkonzentration im Unterboden verursacht (Hoffmann u. Kismányoky, 1996).

3.3. Organischer Kohlenstoff (C_{org})

Der Gehalt an C_{org} veränderte sich signifikant durch Stalldung- und auch durch Strohdüngung, während die alleinige mineralische N-Düngung unter den gegebenen Bedingungen keine Veränderung verursacht hat. Stalldung hat den C_{org}-Gehalt im Vergleich zur ausschließlichen Mineraldüngung um 0,12 % signifikant gesteigert. Die kombinierte Wirkung von Strohdüngung mit N-Ausgleich und Zwischenfrucht hat den C_{org}-Gehalt in geringerem Maße, aber dennoch signifikant angehoben. Diese Tendenzen sind ähnlich, aber in absoluten Werten größer als die entsprechenden Beobachtungen von Dietz et al. (1996). Dieser Anstieg war auf Grund der stark positiven N-Bilanzen zu erwarten (Hoffmann et al., 1998, 1999 b).

Danksagung

Unser Dank gilt der Ungarischen Wissenschaftlichen Forschungsförderung (OTKA No. T30768 und T019709, KGI 1-0207/98) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Untersuchungen.

Literatur

Boguslawski, E von: Das Zusammenwirken der mineralischen Düngung mit verschiedenen Formen der organischen Düngung. *J. Agronomy & Crop Science* 174, pp. 41-51 (1995); **Hoffmann, S. - Kismányoky, T.:** Effect of soil tillage and N-fertilization on the distribution of nitrate in the soil profile in a long-term wheat-maize biculture. In: *Fertilizers and Environment. Proceedings of the Internat. Symp. Salamanca, Spain.* Ed.: C. Rodriguez - Barrueco. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London pp. 227-239. (1996); **Hoffmann, S; Kismányoky, T; Balázs, J:** Der Internationale Organische Stickstoffdauerdüngungsversuch (IOSDV) Keszthely nach 12 Versuchsjahren. *Arch. Acker-Pfl. Boden.*, Vol. 41 pp. 123-132 (1997); **Hoffmann, S; Kismányoky, T; Balázs, J:** Ertragsleistung, N-Bilanz und N-Ausnutzung in Abhängigkeit von organischer und mineralischer N-Düngung. *Arch. Acker-Pfl. Boden.*, Vol. 44 pp. 81-92 (1999a); **Hoffmann, S; Kismányoky, T; Balázs, J:** Einfluss langjähriger organischer und mineralischer N-Düngung auf Gehalt an C_{org} und N-Verlagerung. *Arch. Acker-Pfl. Boden.*, Vol. 44 pp. 69-79 (1999b); **Köhn, W; Peschke, H; Limberg, P:** Internationaler Organischer Stickstoffdauerdüngungsversuch in: Einfluß der Bodennutzung auf die langfristige Entwicklung von Bodenfruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit sandiger Böden. Dauerversuche an der Humboldt-Universität zu Berlin. *Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät.* Heft 7 pp. 75-90. (1997); **Lang, H; Dressel, J; Bleiholder, H:** Langzeitwirkung der Stickstoffdüngung IOSDV-Standort Limburgerhof (Deutschland) in der Reihe 'Internationale Organische Stickstoffdauerversuche' *Arch. Acker-Pfl. Boden;* Vol. 39, pp. 429-448 (1995); **Németh, T.:** Talajaink szervesanyagtartalma és nitrogénforgalma MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete Budapest pp. 223-249. (1996).; **Pfefferkorn, A; Körschens, M:** Der Internationale Organische Stickstoffdauerversuch (IOSDV) Bad Lauchstädt nach 16 Jahren. *Arch. Acker-Pfl. Boden;* Vol. 39. pp. 413-429 (1995)

Dynamik des Nährstoffgehaltes im Boden in Abhängigkeit vom Düngungsniveau

Bosak, V.

Weißrussisches Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrochemie,
Kazinezstraße 62, 220108 Minsk, Belarus

Einleitung und Problemstellung

Kaligehalt und Phosphorgehalt im Boden sowie Humusgehalt und pH-Wert sind die wichtigen Bestandteile der Bodenfruchtbarkeit. Die größte Wirkung auf den Nährstoffgehalt im Boden haben die Dünger. Der Einfluß der Düngung auf die Veränderung der agrochemischen Eigenschaften des Bodens kann man nur in den Dauerdüngungsversuchen untersuchen (Debreczeni et al., 1997; Körschens, 1997; Pfefferkorn, 1997). Das Ziel der Untersuchung bestand darin, den Einfluß des Düngungsniveaus auf die Bodenfruchtbarkeit und Produktivität der Agrarpflanzen in der Fruchtfolge in einem Dauerdüngungsversuch festzustellen.

Material und Methoden

Die Untersuchungen zum Einfluß der Düngung auf das Nährstoffregime des Bodens wurden im Jahre 1967 in der Nähe von Minsk (Belarus) angelegt. Der Boden wird als Lehmfahlerde auf Lößlehm (Ap-Al-BtC-C) bezeichnet.

In einer Kartoffel – Gerste – Hafer – Futterrüben – Sommerweizen – Flachs - Fruchtfolge wurden die folgenden Varianten angelegt: 1) ohne Dünger; 2) Kalkung; 3) Stalldung; 4) Kalkung + Stalldung; 5) NPK; 6) NPK+Kalkung; 7) NPK+Stalldung; 8) NPK+Kalkung+Stalldung. Die Mineraldünger wurden in Form des Superphosphats, Kaliumchlorids und Ammonsalpeters vor der Saat und als Kopfdünger angewendet (Kartoffel – $N_{120}P_{90}K_{160}$, Gerste – $N_{90+30}P_{70}K_{120}$, Hafer – $N_{90+30}P_{50}K_{90}$, Futterrüben – $N_{120+60}P_{90}K_{150}$, Sommerweizen – $N_{90+30}P_{90}K_{160}$, Flachs – $N_{30}P_{70}K_{100}$). Die organischen Dünger wurden in Form des Strohrindermistes zu Kartoffeln (60 t ha^{-1}) und zu Futterrüben (40 t ha^{-1}) gegeben.

Alle Varianten wurden in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Pflanzenanbaumaßnahmen (Bodenvorbereitung, Düngung, Saat, Pflanzenschutz) wurden nach den allgemeinen Regeln durchgeführt.

Vor und nach der Fruchtfolgerotation (1991 und 1997) wurden die Bodenproben in den Ap- und Al-Horizonten entnommen. In den Bodenproben wurden folgende Parameter gemessen: Kaligehalt ($0,2 \text{ n HCl}$), Phosphorgehalt ($0,2 \text{ n HCl}$), pH_{KCl} , Humusgehalt (%).

Ergebnisse und Diskussion

Das Düngungssystem hat eine ungleiche Wirkung auf die Nährstoffdynamik in den Ap- und Al-Horizonten ausgeübt (Tab. 1, 2).

Tabelle 1: Einfluß der Düngung auf die Nährstoffdynamik im Ap-Horizont (Dung = 16,7 dt·ha⁻¹ Stallmist)

Variante	PH _{KCl}		P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹		K ₂ O, mg kg ⁻¹		Humus, %	
	1991	1997	1991	1997	1991	1997	1991	1997
Ohne Dünger	4,3	4,3	277	327	224	166	1,50	1,48
Dung	4,5	4,6	289	368	282	208	1,61	1,60
N ₁₁₅ P ₇₃ K ₁₂₃	4,3	4,2	290	370	258	190	1,44	1,55
NPK + Dung	4,3	4,4	284	381	266	219	1,57	1,72
Kalk	5,7	6,4	295	370	236	170	1,49	1,37
Kalk + Dung	5,8	6,4	300	409	266	218	1,52	1,46
NPK + Kalk	5,7	6,3	276	361	234	159	1,39	1,39
NPK+Dung+Kalk	5,7	6,4	294	433	262	230	1,66	1,70

Tabelle 2: Einfluß der Düngung auf die Nährstoffdynamik im Al-Horizont (Dung = 16,7 dt·ha⁻¹ Stallmist)

Variante	PH _{KCl}		P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹		K ₂ O, mg kg ⁻¹	
	1991	1997	1991	1997	1991	1997
Ohne Dünger	4,24	4,23	440	497	77	87
Dung	4,25	4,25	407	422	115	133
N ₁₁₅ P ₇₃ K ₁₂₃	4,20	4,21	390	465	66	69
NPK + Dung	4,26	4,31	395	440	67	82
Kalk	4,62	4,55	362	499	76	53
Kalk + Dung	4,47	4,50	388	440	96	87
NPK + Kalk	4,52	4,37	382	474	69	49
NPK+Dung+Kalk	4,63	4,55	428	484	72	80

Die Kalkung hat deutlich die Bodenversauerung im Ap-Horizont verringert.

Eine Abnahme des Humusgehaltes war in den Varianten ohne Dünger sowie mit Kalkdünger (Kalk; Dung + Kalk) zu beobachten. Die Anwendung der NPK-Dünger sowie ihre gemeinsame Anwendung mit dem Stalldung hat eine positive Wirkung auf den Humusgehalt gehabt.

Die Verringerung des mobilen Kaliums trat in allen Varianten auf, war aber bei der Volldüngung (NPK+Dung+Kalk) am kleinsten.

In unseren Untersuchungen wurde eine Steigerung des Phosphorgehaltes in allen Varianten beobachtet. Dabei war die Zunahme in den Varianten mit mineralischen und organischen Düngern höher. In den Varianten ohne Dünger war die Phosphorgehaltserhöhung vielleicht die Folge des Übergangs der schwerlöslichen Phosphate in mehr verfügbare Formen (Gesamtphosphor war 1045 bis 1119 mg kg⁻¹). Zur Zeit werden Laboruntersuchungen durchgeführt, um die detaillierte Fraktionszusammensetzung der Phosphate in den Ap- und Al-Horizonten festzustellen.

Die Düngeranwendung hat auch den Pflanzenertrag erhöht (Tab. 3). Die Kalkung hatte eine günstige Auswirkung auf den Ertrag von Getreide und Futterrüben. Der Ertrag von Kartoffeln und Flachs, die säureliebende Kulturpflanzen sind, war von der Bodenversauerung praktisch unabhängig. Die organischen und mineralischen Dünger haben den Ertrag von allen Kulturpflanzen gesteigert. Insgesamt für die Fruchtfolge war die Variante mit voller Düngung (N₁₁₅P₇₃K₁₂₃ + Kalkung + Stalldung, 16,7 t ha⁻¹) am besten. Der Gesamtertrag belief sich auf 83,8 dt ha⁻¹ GE.

Tabelle 3: Einfluß der Düngung auf die Pflanzenproduktivität (Dung = 16,7 dt·ha⁻¹ Stallmist)

Variante	Ertrag der Hauptproduktion, dt ha ⁻¹						Fruchtfolge, dt ha ⁻¹ GE
	Kartoffel	Gerste	Hafer	Futter- rüben	Sommer- weizen	Flachs	
Ohne Dünger	161	15,7	9,2	123	17,6	41,3	34,9
Dung	182	29,8	15,2	365	29,5	41,3	48,8
N ₁₁₅ P ₇₃ K ₁₂₃	187	41,3	36,2	194	42,0	49,4	60,3
NPK + Dung	210	57,3	44,2	620	50,3	54,6	79,3
Kalk	150	32,4	16,2	315	22,7	36,9	43,1
Kalk + Dung	178	41,3	20,0	430	29,6	41,3	53,5
NPK + Kalk	193	58,9	45,9	586	50,5	54,4	77,4
NPK+Kalk+Dung	206	62,7	46,2	724	52,6	53,9	83,8
CD ₀₅	10	3,2	3,0	15	2,7	3,4	1,8

Tabelle 4: Die Rolle der Faktoren in der Produktivität der Fruchtfolge

Faktoren	Ertrag, dt ha ⁻¹	%
Boden	34,9	42
Kalkung	8,2	10
Stalldung, 16,7 t ha ⁻¹	13,9	17
N ₁₁₅ P ₇₃ K ₁₂₃	25,4	31
Gesamtertrag von Faktoren, dt ha ⁻¹	82,4	100
Ertrag auf der optimalen Variante, dt ha ⁻¹	83,8	

Beim Pflanzenanbau hat der Boden die größte Wirkung auf die Produktivität der Fruchtfolge gehabt (Tab. 4). Der Boden hat 42 % des Pflanzenertrags sichergestellt. Der Anteil der Kalkung war 10 %, des Stallungs 17 %, der NPK-Dünger 31. %.

Zusammenfassung

In Weißrußland (Belarus) wurden Feldversuche auf einer Fahlerde durchgeführt, um den Einfluß des Düngungsniveaus auf die Bodenfruchtbarkeit sowie Produktivität der Agrarpflanzen in der Fruchtfolge in einem Dauerdüngungsversuch festzustellen.

Die zeitgleiche Anwendung von Mineraldüngern, Kalk und Stallung hat die günstigste Wirkung auf die wichtigen agrochemischen Bodeneigenschaften (Bodenazidität, Phosphorgehalt, Kaligehalt, Humusgehalt). Volldüngung hat auch die größte Produktivität der Getreide-Hackfrucht-Fruchtfolge sichergestellt (83,8 dt ha⁻¹ GE).

Literatur

- Debreczeni, K., Kismanyoky, T., Ragasits, J. (1997): Einheitliche Dauerdüngungs-Feldversuche in Ungarn. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 84, S. 409-412
- Körschens, M. (1997): Die wichtigsten Dauerversuche der Welt – Übersicht, Bedeutung, Ergebnisse. Internationale Tagung „Dauerfeldversuche als Forschungsbasis für nachhaltige Landwirtschaft“ am 10. u. 11. Juni in Berlin
- Pfefferkorn, A. (1997): Die Internationalen Organischen Stickstoffdauerdüngungsversuche (IOSDV) Europas. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 84, S. 433-436.

Nährstoffdynamik im Verlauf der Bodenbildung auf Lößsubstrat

Beschow, H.; Gransee, A. und Merbach, W.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Professur für Physiologie und Ernährung der Pflanzen, der Landwirtschaftlichen Fakultät der Martin-Luther- Universität Halle-Wittenberg, Adam-Kuckhoff-Str. 17 b, D-06108 Halle, Tel. 0345/5522421, Fax 0345/5527113, e-mail: beschow@landw.uni-halle.de

Einführung

1948 wurde von *Schmalfuß* (1966) ein Modellversuch in Halle/Saale angelegt, der vor allem die Bodenbildung in Abhängigkeit von Pflanzenbewuchs und der Höhe der Mineraldüngung für trockene Lößstandorte Mitteldeutschlands verfolgen sollte. Die Entstehung von Humus im Substrat ist dabei allein auf Ernte- und Wurzelrückstände der Pflanzen zurückzuführen. Ziel war es, Rekultivierungsmaßnahmen abgetragener Lößdeckschichten im Zusammenhang mit dem Braunkohlentagebau in ihrem zeitlichen Verlauf bei landwirtschaftlicher Nutzung einschätzen zu können. Nachfolgend werden wesentliche Ergebnisse zur Entwicklung der Verfügbarkeit wichtiger Nährstoffe, wie Stickstoff, Phosphor, Kalium und Calcium zusammengefaßt dargestellt.

Versuchsanlage und Methoden

Die Versuchsanlage wurde 1948 aus 48 glasierten Tonrohren von 1 m Länge und 40 cm Weite, die unten offen auf einer Bettung von grobem Kies stehen und senkrecht in den Boden eingelassen wurden, angelegt. Sie sind mit humusarmen Löß (0,19 % C_{org}) aus Etzdorf bei Halle gefüllt worden. Es besteht eine N-Reihe mit konstanter P-Düngung (35 kg P/ha) und eine P-Reihe mit konstanter N-Düngung (400 kg N/ha). Es existieren folgende Varianten in 6facher Wiederholung.

Varianten der N-Reihe: 0 kg N/ha = N0; 100 kg N/ha = N1; 200 kg N/ha = N2, 400 kg N/ha = N4

Varianten der P-Reihe: 0 kg P/ha = P0, 9 kg P/ha = P1, 17 kg P/ha = P2, 35 kg P/ha = P4

Die jährlich auf die Oberfläche der Zylinder (0,125 m²) berechnete Düngermenge wurde als NH₄NO₃, CaHPO₄ oder Ca(H₂PO₄)₂ sowie K₂SO₄ gegeben. Die heutigen Düngungsstufen gelten seit 1958, um signifikante Ertragsdifferenzen zu erzielen. Hauptsächlich Gramineen [Mais (17), Weidelgräser (13), Sommerweizen (5), Sommergerste (3) neben Pflanzenarten mit geringerer Häufigkeit Luzerne (5), Zuckerrüben (3), Ackerbohne (3) sowie anderen Kulturen (1 bis 2x)] wurden in unregelmäßiger Reihenfolge angebaut. In zeitlichen Abständen wurden Bodenproben aus dem Ober- (0 - 10 cm) und Unterboden (20 - 40 cm) mit Hilfe eines Rillenbohrers entnommen und unter anderem folgende Untersuchungen vorgenommen: N_{org}, N_{min}, Kalkgehalt, KAK_{pot}, Sequentielle P-Extraktion (*Tiessen et al.*, 1983), pflanzenverfügbares K und P.

Ergebnisse

N-Dynamik des Bodens

Stickstoff liegt im Oberboden zu mehr als 95 % in organischer Form vor. Das C/N-Verhältnis hat sich inzwischen auf 14 verengt und ähnelt Schwarzerden der Umgebung mit einem hohen Anteil an Biomasse. Tabelle 1 gibt die N_{\min} - und N_{org} -Gehalte des Bodens der N0- und N4-Variante im Oberboden wieder. Die N_{\min} -Gehalte haben sich absolut und relativ zu den N_{org} -Gehalten wesentlich erhöht. Die Akkumulation von N bei der Variante ohne N-Düngung (N0 P4) konnte neben geringfügigem Eintrag durch Leguminosenzwurzeln in den ersten Jahren nur durch atmosphärischen N-Eintrag verursacht worden sein, der im Durchschnitt mit 45,5 kg/ha a berechnet wurde. Eine N-Bilanz verdeutlichte sehr hohe Verluste bei N-Düngung (Beschow et al., 1999). Mehrere Ursachen wie Auswaschung, Verflüchtigung von NH_3 auf dem kalkreichen Substrat bzw. Denitrifikation werden vermutet, diese müßten jedoch präzisiert werden.

Tabelle 1: N-Gehalte des Bodens der Variante ohne N-Düngung (N0) und mit höchster N-Düngung (N4) im Oberboden (0 - 10 cm)

Variante	Jahr	N_{\min} [mg/100g B.] (rel.)	N_{\min} [kg/ha] ¹⁾	N_{org} [mg/100g B.](rel.)	N_{\min}/N_{org} [%]	
N0 (0 kg N/ha, 35 kg P/ha)	1958 ²⁾	0,30	(100)	2,6	49 (100)	0,6
	1968 ²⁾	0,44	(147)	3,8	83 (169)	0,5
	1979 ³⁾	2,48	(827)	21,3	86 (176)	2,9
	1997 ⁴⁾	4,67	(1557)	40,2	108 (220)	4,3
N4 (400 kg N/ha, 35 kg P/ha)	1958 ²⁾	0,88	(100)	7,6	67 (100)	1,3
	1968 ²⁾	0,59	(67)	5,1	106 (158)	0,6
	1979 ³⁾	2,67	(303)	22,9	112 (167)	2,4
	1997 ⁴⁾	4,04	(459)	34,7	147 (219)	2,7

¹⁾ 1 ha = 0,86 · 10⁶ kg Boden/ha (0 - 10 cm, Lagerungsdichte = 0,86 g/cm³)

²⁾ Extraktionsmittel: 1 % KCl, ³⁾ Extraktionsmittel: 0,0125 M CaCl₂,

⁴⁾ Extraktionsmittel: 1 N KCl

P-Dynamik des Bodens

Das Ausgangssubstrat Löß war sehr phosphatarm (1,27 mg P/100 g Boden nach der Keimpflanzenmethode nach Neubauer). In Tabelle 2 ist zu erkennen, daß der Gehalt an DL-löslichem Phosphat bei den gedüngten Varianten zunahm. Der Anstieg war umso größer, je weniger P durch die Pflanzen durch fehlende N-Düngung (Variante N0) und damit niedrigeren Erträgen entzogen wurde. Die Phosphatversorgung bei den am höchsten gedüngten Varianten N4/P4 näherte sich im Oberboden der Versorgungsstufe B nach Angaben der LUFA Sachsen-Anhalt.

Tabelle 2: Doppellactatlösliches (DL)-
Phosphat im Oberboden
[mg P/100 g Boden]

Jahr \ Variante	1979	1988	1996
P0	0,1	0,2	0,1
N4/P4	1,7	2,4	2,8
N0	6,9	7,3	8,2

Die P-Zufuhr bei der ungedüngten Variante P0 kann auf einer gewissen Phosphatmobilisierung der Wurzel, dem Samen-P und einer anfangs stärkeren Verunreinigung aus der Luft (Asche) beruhen. Tabelle 3 gibt an, welchen Einfluß die Düngung auf das Verhältnis der P-Fractionen ausübte. Bei der Variante ohne N-Düngung erfolgte die P-Anreicherung vor allem in den leicht löslichen Fraktionen 1 und 2, die wasserlösliches, labiles und

Tabelle 3: Phosphatbindung im Oberboden 1996 ohne N- (N0),
ohne P-(P0) und mit höchster Düngung (N4/P4),
Angaben in mg/100 g Boden und (*relativ*)

Aufschluß/ Extraktionsmittel	Fraktion	N0	P0	N4/P4
HCl/HNO ₃	Gesamt P	99,4 (100)	45,5 (100)	69,1 (100)
1. H ₂ O + Dowex 1x 8	wasserlösl./ labiles P	(16,7)	(2,2)	(8,0)
2. 0,5 M NaHCO ₃	labiles/mikrob. P	(13,3)	(2,6)	(9,7)
3. 0,1 M NaOH	Fe-/Al-Phosphate	(12,9)	(7,7)	(10,0)
4. 1,0 M H ₂ SO ₄	Apatite,...	(41,5)	(75,8)	(61,3)
5. HCl/HNO ₃	Rest- P	(7,5)	(13,6)	(11,3)

mikrobielles P enthalten und nicht als schwerlösliches Ca-Phosphat (Fraktion 4). Dagegen war der Anteil schwerlöslicher Verbindungen bei der Variante P0 aufgrund fehlender Zufuhr von mineralischem Phosphat und bei den Varianten mit höchster Düngung (N4/P4) aufgrund des Entzuges von pflanzenverfügbarem Phosphat höher und nahm im Verlauf der Bodenbildung zu.

Tabelle 4: Doppellactatlösliches (DL)-
Kalium im Oberboden
[mg K/100 g Boden]

Jahr \ Variante	1979	1988	1996
P0	10,5	18,1	28,4
N0	20,2	26,5	39,3
N4/P4	5,2	6,0	9,7

K-Dynamik des Bodens

Der Verlauf des DL-löslichen Kaliums während der Bodenbildung im Oberboden in Tabelle 4 zeigt, daß sich bei den Varianten ohne P- und N-Düngung durch fehlenden Pflanzenentzug ein sehr hoher Gehalt an pflanzenverfügbarem K eingestellt hat (Versorgungsstufe C für das Land Sachsen-Anhalt). Bei den am höchsten mit N und P gedüngten Varianten konnte inzwischen ein optimaler Gehalt erzielt werden.

Kalkgehalt und Kationenaustauschkapazität

Die Kalkgehalte sind von 17 % auf 10 – 13 % gesunken. Der pH-Wert blieb konstant bei 7,5. Die potentielle Austauschkapazität (KAK_{pot}) stieg aufgrund zunehmender Bildung organischer Bodensubstanz bei den ungedüngten und gedüngten Varianten auf $\bar{\varnothing}$ 135 mmol/kg Boden an.

Diskussion

Die Gehalte an pflanzenverfügbaren Makronährstoffen Stickstoff, Phosphor und Kalium haben sich bei den am höchsten gedüngten Varianten (400 kg N/ha, 35 kg P/ha, 166 kg K/ha) durch verbessertes Adsorptionsvermögen des Oberbodens (0 - 10 cm) infolge zunehmender Bildung organischer Bodensubstanz (1948: 0,18 % C_{org} und 1997: $\bar{\varnothing}$ über alle Varianten 1,8 % C_{org}) optimalen Versorgungsstufen angenähert. Die zunehmenden N_{min} -Werte sind neben dem Erreichen einer durch Düngung hervorgerufenen optimalen Versorgung offenbar auch auf gestiegene N-Mineralisierung bei einem C/N-Verhältnis im Boden von < 14 zurückzuführen (Klimanek und Schulz, 1997). Fehlende N-Mengen führten zu einer Speicherung von P, vor allem als labiles und mikrobiell gebundenes P, und nicht, wie bei diesem kalkreichen Substrat vermutet, zu Ca-Phosphat. Eine Verzögerung der P-Festlegung in schwerlösliche Verbindungen durch die organische Bodensubstanz ist nicht auszuschließen. Die Entkalkung kann auf Auswaschung, aber auch auf Bildung von Ca-Humaten beruhen. Eine Weiterentwicklung der entstandenen Schwarzerde bei andauerndem Kalkverlust eventuell zu Parabraunerde ist nicht auszuschließen und muß weiterhin verfolgt werden. Die Kationenaustauschkapazität wurde ebenfalls durch Anreicherung organischer Bodensubstanz erhöht und stieg auf Werte, die sich denen in Schwarzerden annähern. Insgesamt zeigt der Versuch, daß die Bodenbildung auf Löß analog zu landwirtschaftlich genutzten Rekultivierungsflächen voranschreitet und nach 50 Jahren die Nährstoffnachlieferung bei den gedüngten Varianten fruchtbaren Ackerböden der Umgebung entspricht.

Literaturverzeichnis

- Beschow, H., A. Gransee, W. Merbach (1999): Verlauf der Bodenbildung auf einem Lößsubstrat – Ertragsprofile und Stoffdynamik. Hochschultagung Landw. Fak. Univ. Halle, 16.-17.3.99, (im Druck)
- Klimanek, E.M., E. Schulz. (1997): C/N-Transformationsprozesse beim Umsatz von organischer Primärschubstanz (OPS) im Boden. Arch. Acker-, Pfl. Bodenk. 41, 513 - 525
- Schmalfuß, K.(1966): Zur Kenntnis der Bodenbildung. Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wiss. zu Leipzig, Bd.107, Heft 3, 1 - 13
- Tiessen, H., J. W. B. Stewart, J. Moir (1983): Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle-size-fractions during 60 - 90 years of cultivation. J. Soil Sci., 34, 815 - 823

Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen

- Aussagen zur Stickstoffdüngung im Winterweizenanbau -

Stock, H.-G.; Schuster, C. und Diepenbrock, W.

Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Ludwig-Wucherer-Straße 2, D-06099 Halle/Saale

Der Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen

Der Dauerversuch wurde 1957/58 von WICKE am Standort Leipzig - Seehausen, Freistaat Sachsen, angelegt. Bei dem Standort handelt es sich um die Bodenform Sandlößtieflerhm - Staugley, FAO-Klassifikation Gleyic Luvisol, Bodenschätzungsbeschreibung sL 4 LÖD 58/61. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur beträgt 9,1 °C, die mittlere Jahresniederschlagssumme 552 mm (1961...1990). Das Ziel des Versuches bestand darin, den Einfluß der Spezialisierung von Landwirtschaftsbetrieben hinsichtlich eines eingeschränkten Fruchtartenspektrums auf Ertrag und Bodenfruchtbarkeit zu untersuchen. Nach einer gewissen Umstellung 1970 wird der Versuch seitdem nahezu unverändert durchgeführt. Geprüft werden 5 Anbauverhältnisse, 5 Stufen mineralischer N- und 2 Stufen organischer Düngung (Tab.). Jede Pflanzenart wird jährlich angebaut. In vorliegendem Beitrag werden Ergebnisse zum Winterweizen aus dem Zeitraum 1971...1997 dargestellt, in dem zu 70 % (1976...1994) die gleiche Sorte "Alcedo" verwendet wurde.

Tabelle: Prüffaktoren im Fruchtfolgedüngungsversuch Seehausen

Prüffaktor A: Fruchtfolge

Feld-Nr.	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
1	Winterweizen	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln	Kartoffeln
2		Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen
3		Sommergerste	Zuckerrübe	Zuckerrübe	Zuckerrübe
4		Winterroggen	Sommergerste	Sommergerste	Luzerne
5		Winterroggen	Winterroggen	Klee gras	Luzerne
Ackerflächenverhältnis (%)					
Getreide	100	75	60	40	20
Hackfrucht	-	25	40	40	40
Futter	-	-	-	20	40

Prüffaktor B: Mineralische Stickstoffdüngung (kg/ha, in Klammer Zahl der Gaben)

Stufe	Niveau N-Düngung	Kartoffel	Zuckerrübe	Winterweizen	Winterroggen	Sommergerste
B 1	ohne	0	0	0	0	0
B 2	niedrig	50	80	60	50	20
B 3	mittel	100	160 (2)	90 (2)	75 (2)	40
B 4	hoch	150	240 (2)	120 (2)	100 (3)	150
B 5	sehr hoch	200	320 (2)	150 (3)	125 (3)	200

Prüffaktor C: organische Düngung (C 1 ohne, C 2 mit); (hier nicht betrachtet)

Ergebnisse zum Winterweizen

Fruchtfolgeeinfluß

Die Fruchtfolgegestaltung übte einen deutlichen Einfluß auf die Winterweizenerträge aus. Sie nahmen in folgender Reihenfolge ab: Fruchtfolge 5 > Fruchtfolge 4 > Fruchtfolge 2 > Fruchtfolge 3 > Monokultur. Die Fruchtfolgeunterschiede zeigten sich am deutlichsten in der Variante ohne Stickstoffdüngung (Abb. 1), in der die Mittelwerte für den Zeitraum 1971 bis 1997 in der genannten Reihenfolge 61,3 - 49,6 - 42,8 - 38,9 - 32,2 dt/ha betragen.

Stickstoffdüngungswirkung

Infolge der Wechselwirkung zwischen N-Düngung und Fruchtfolgegestaltung konnten die Winterweizenerträge durch differenzierte Düngung zum Teil einander angeglichen werden. Allerdings blieb der Weizen in Monokultur dem Weizen, der in den einzelnen Fruchtfolgen angebaut wurde, ertraglich deutlich unterlegen, und in der Fruchtfolge mit einem Feldfutteranteil von 40 % wurde selbst in der niedrigen N-Stufe der höchste Ertrag aller Fruchtfolgen erzielt.

Ökonomie und Ökologie

Spezifische Untersuchungen der Jahre 1991 bis 1993 zeigten, daß sich in den praxisnahen Fruchtfolgen 2 bis 4 ein mittleres N-Düngungsniveau von 80 bis 100 kg/ha sowohl ökonomisch (gemessen an der optimalen speziellen Intensität) als auch ökologisch (gemessen an den Nitratrestmengen im Boden nach der Ernte) als am günstigsten erwies (Abb. 3). Nur für die Erzielung von Elite-Qualität waren höhere N-Mengen erforderlich (SPECHT 1995).

Energetische Betrachtung

Obwohl Energieertrag und Energiegewinn mit der Stickstoffdüngung bis zu den höchsten N-Stufen anstiegen, sind aus energetischer Sicht in den Fruchtfolgen 1 bis 4 N-Gaben über 60 bis 90 kg/ha und in der Fruchtfolge 5 jegliche N-Gaben negativ zu bewerten, da Energieintensität (Abb. 4) und Output/Input-Verhältnis oberhalb dieser Werte einen deutlich ungünstigen Verlauf nahmen (DRATH 1998).

Literatur

- Drath, D.; 1998: Energiebilanzierung in einem langjährigen Fruchtfolgedüngungsversuch in der Leipziger Tieflandsbucht. Univ. Halle-Wittenberg. Dipl.-Arbeit.
- Specht, M.; 1995: Auswirkungen verringerter Aufwandmengen an Stickstoff auf Ertragshöhe, Ertragsstruktur und Qualität von Backweizen, Braugerste und Brotroggen unter Berücksichtigung der Bodennitratgehalte und der optimalen speziellen Intensität. Univ. Halle-Wittenberg. Diss.

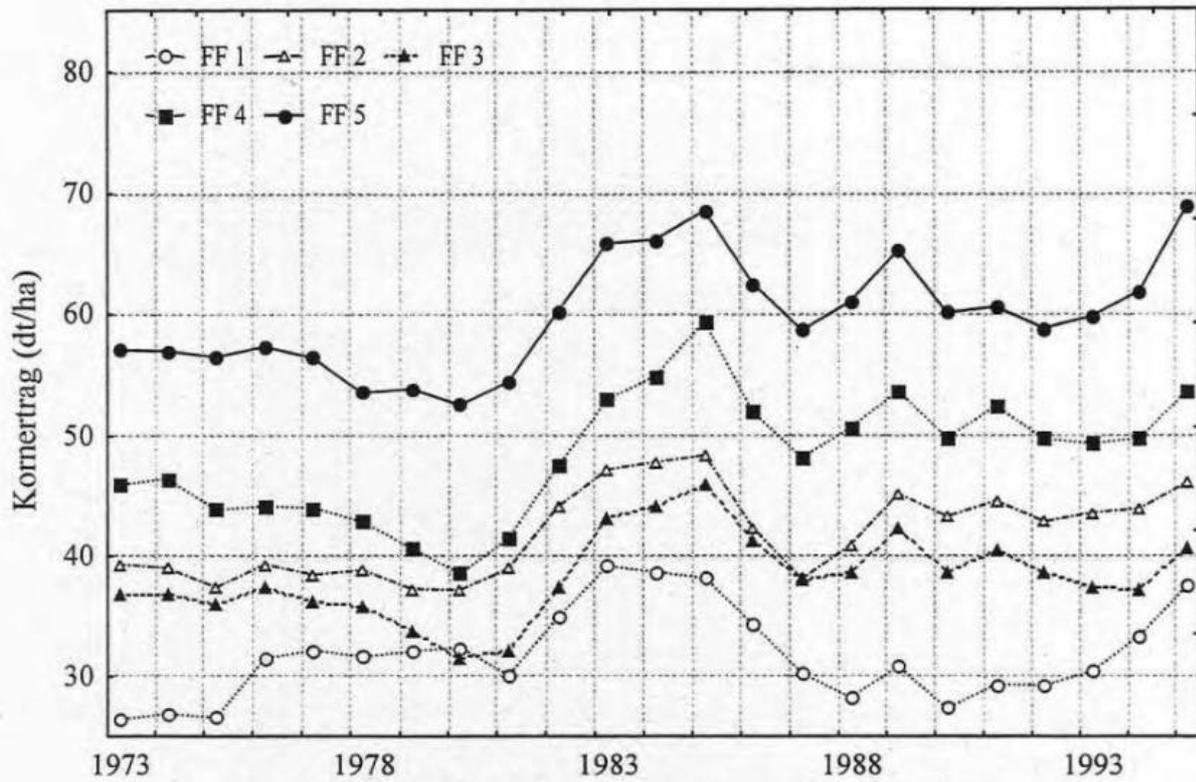


Abb. 1: Kornerträge von Winterweizen ohne N-Düngung (dt/ha, fünfjährige gleitende Mittel)

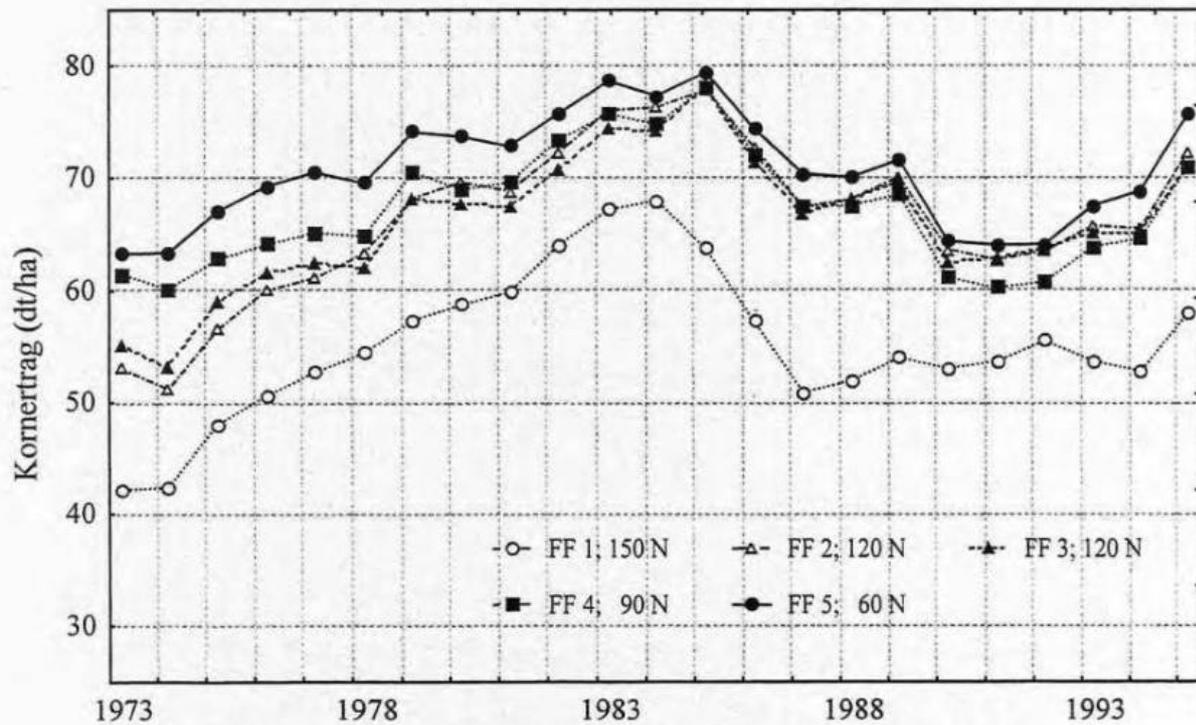


Abb. 2: Kornerträge von Winterweizen mit verschiedener N-Düngung (dt/ha, fünfjährige gleitende Mittel)

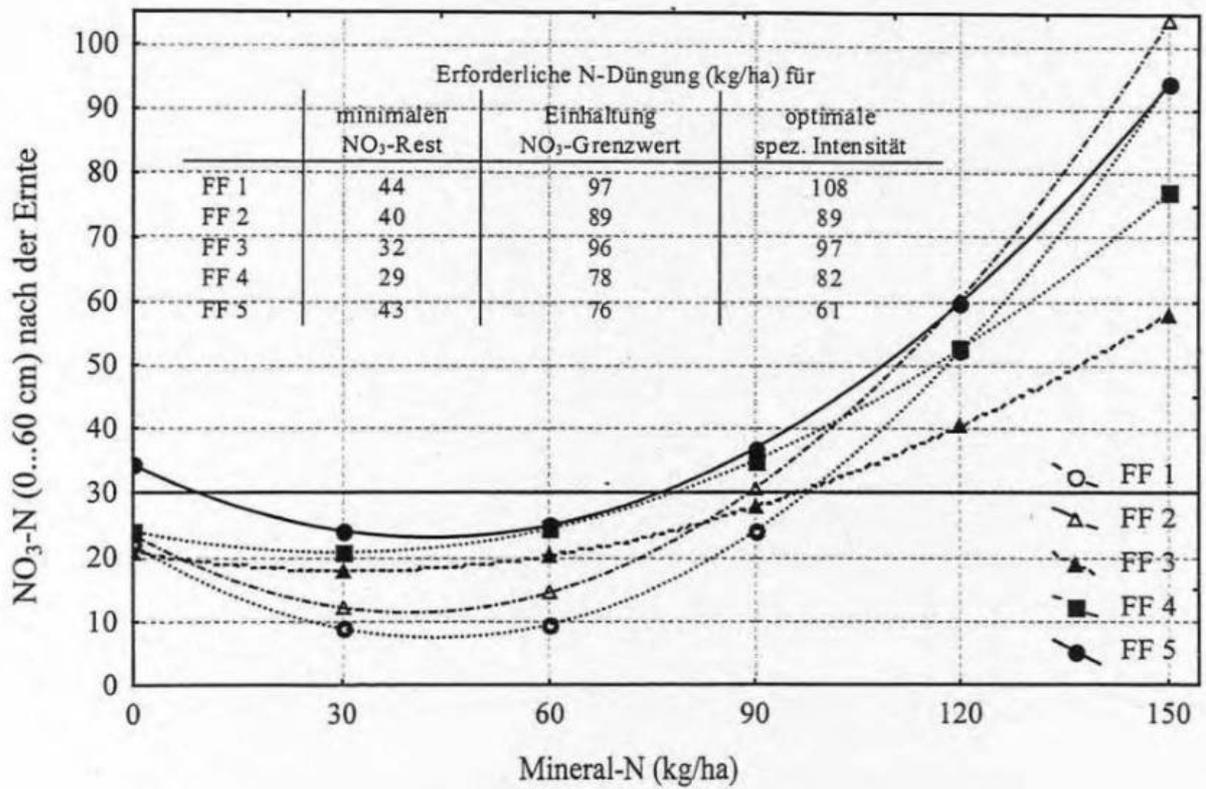


Abb. 3: Nitratgehalt im Boden nach der Ernte von Winterweizen 1992

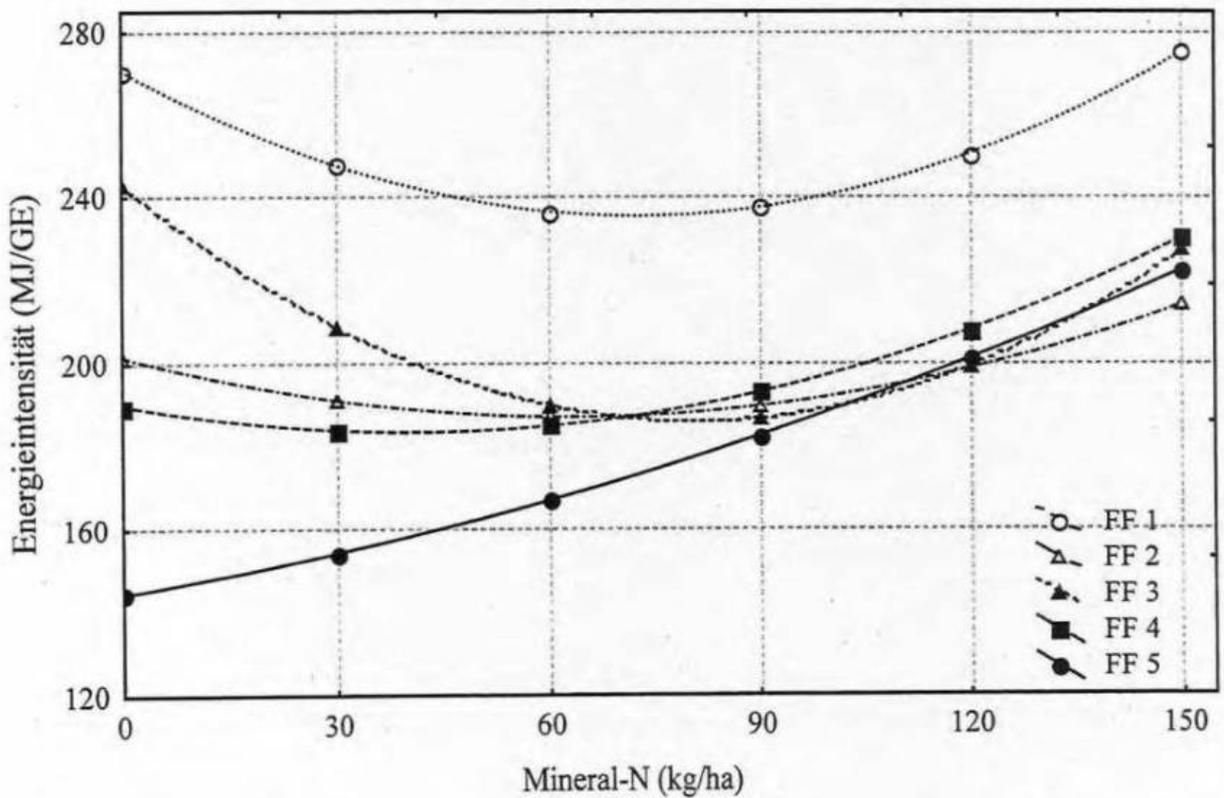


Abb. 4: Energieintensität bei Winterweizen inkl. Nebenprodukt (1995...1997)

Effect of continuous fodder based crop-sequences and fertilization on crop yields, nutrient uptake and soil fertility status

Sheoran, R. S.; Lodhi, G. P. and Pahuja, S. K.

Forage Research Section, Department of Plant Breeding,
CCS Haryana Agricultural University
Hisar-125 004, India

Abstract

A field experiment was conducted at CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India from 1991 - 1992 to 1993 - 1994 continuously to study the effect of fodder based crop-sequences on the yield, nutrient uptake and fertility status of the soil after the harvest, over the years. The treatments comprised of six cropping sequences *viz.*, sorghum-wheat, sorghum-Egyptian clover, cowpea-wheat, cowpea-oat, pearl millet-chickpea and sorghum-chickpea in rainy and winter seasons with optimum (100 % recommended dose of N and P) and sub-optimum (75 % of the recommended dose of N and P) levels of fertilizers. Among the different crop-sequences, sorghum-Egyptian clover was found best followed by cowpea-oat for fodder production. Maximum grain and straw were produced under cowpea-wheat crop-sequences. Application of optimum dose of N and P gave higher fodder/grain yield than sub-optimum level of the fertilizers. The uptake of nitrogen and phosphorus in plant/grain was higher with the recommended dose of N and P than its lower level (75 % of recommended dose of N and P). Fertility status of the soil in terms of available nitrogen and phosphorus did not change much over the years in continuous fodder based cropping sequences.

Introduction

Food and fodder production can be substantially increased with judicious use of fertilizers as nutrient supply is a key factor, being the global crisis of energy. The scope of increasing both food and fodder production by bringing more area under plough, being extremely limited. Hence, appropriate and judicious fertilizer application under different multiple crop-sequences is the need of the hour to sustain the soil fertility. To meet food grain and fodder requirements of livestock, forage-food cropping system would be an ideal strategy. Besides, food crop farming, cultivation of forage crops to support expanding dairy industry has an increased scope. One of the alternatives to economise on the use of fertilizer is to incorporate a combination of legume-cereals in the crop-sequences. The objective of this study is to identify the suitable crop-sequences and their optimum fertilizer requirement under semi-arid conditions.

Materials and methods

The field experiment was conducted at Forage Research Farm of CCS Haryana Agricultural University, Hisar (India) during the rainy and winter season from 1991 - 1992 to 1993 - 1994 continuously to study the effect of fodder based crop-sequences and fertilizer application on yield, nutrient uptake and fertility status of the soil. The soil of the experimental field was sandy loam in texture with pH 7.6, low in available nitrogen (180.4 kg/ha), phosphorus (11.2 kg/ha), rich in potash (304.0 kg/ha) and low in organic carbon (0.31 %). The experiment was laid out in randomised block design with three replications, keeping the lay out undisturbed through out the course of experimentation. The treatments comprised of six cropping sequences viz., sorghum (fodder) - wheat (grain), sorghum (fodder)-Egyptian clover (fodder), cowpea(fodder)-wheat (grain), cowpea(fodder)-oat(fodder), pearl millet (fodder) - chickpea (grain) and sorghum (fodder)-chickpea (grain) in rainy and winter seasons and two fertilizer management practices viz., 100 per cent recommended dose of N and P and 75 per cent recommended dose of N and P to each crop comprising 12 different treatment combinations.

Phosphorus in the form of single super phosphate was drilled before the sowing, whereas nitrogen through urea was applied in two equal splits, one at the time of sowing and the remaining at one month after sowing to cereal crops only as per treatments. Line sowing was used except Egyptian clover, which was broadcasted in standing water. Crops were irrigated as and when required. Fodder crops, viz., sorghum (*Sorghum bicolor* L.), pearl millet (*Pennisetum americanum* L.), cowpea (*Vigna unguiculata*) and oat (*Avena sativa* L.) were harvested at 50 per cent flowering whereas Egyptian clover (*Trifolium alexandrinum* L.) was harvested at an interval of 30 days after first cut and in total four cuts were taken. The food/grain crops were harvested at physiological maturity stage. A sample of green fodder of 500 g and grain & straw samples were taken from each plot at the time of harvesting for nutrient uptake studies and soil samples were taken for soil fertility status.

Results and discussion

Yield

Data presented in Table 1 indicates that significantly higher green fodder was produced by pearl millet in pearl millet-cowpea sequence than sorghum and cowpea with both the levels of fertilizers, however, higher dry matter yield was produced by sorghum as compared to pearl millet and cowpea. More green fodder was produced with pearl millet due to its high tillering

capacity and growth. Non-significant difference in green fodder yield of sorghum in sorghum based crop rotations was observed at same level of fertilizer application. Cowpea produced the lowest forage yield. Application of 100 per cent recommended dose of nitrogen and phosphorus produced significantly higher forage yield than 75 per cent recommended dose of fertilizers. The similar results were also reported by Sarkar *et al.* (1989), Niranjana and Arya (1992) and Patil *et al.* (1997). During winter season, Egyptian clover gave higher fodder yield than oat. Grain and straw yield of wheat was found to be higher in cowpea-wheat rotation as compared to sorghum-wheat crop-sequence. Maximum grain and straw yield of chickpea was recorded in pearl millet-chickpea rotation as compared to sorghum-chickpea rotation.

Nutrient uptake

During rainy season, highest nitrogen uptake was recorded in pearl millet-chickpea crop sequence followed by cowpea-wheat crop-sequence (Table 2). On the other hand maximum nitrogen was removed by sorghum-Egyptian clover crop rotation during winter season. Minimum nitrogen uptake was noticed in sorghum-chickpea rotation. The highest phosphorus uptake was recorded in cowpea-oat and pearl millet-chickpea crop-sequences during rainy and winter seasons, respectively. Application of 100 per cent recommended dose of nitrogen and phosphorus resulted in higher removal of these nutrients in comparison to 75 per cent recommended dose of nitrogen and phosphorus.

Soil fertility status

Different crop rotations had no significant effect on available nitrogen and phosphorus in soil after the harvest of crops (Table 3). However, available nitrogen and phosphorus in soil was slightly higher than the initial status in sorghum-Egyptian clover and cowpea-wheat rotations, respectively.

References

- Niranjana, K.P. and Arya, R.L. 1992. Response of organic and inorganic sources of nitrogen on fodder sorghum (*Sorghum bicolor*) - gram cropping sequence under dryland conditions. *Indian J. Agron.* **37** : 549-551.
- Patil, S.K.; Desale, J.S.; Khot, R.B. and Pisal, A.A. 1997. Studies on fodder based cropping systems with fertilizer management for high productivity. *Forage Res.* **22** : 215-220.
- Sarkar, A.K.; Mathur, B.S.; Lal, S. and Singh, K.P. 1989. Long term effect of manure and fertilizer on important cropping systems in sub-humid and laterite soils. *Fert. News.* **34**(4).

Table 1. Average green fodder/grain and dry matter/straw yield (tonnes/ha) of various crop-sequences during 1991-92 to 1993-94.

Crop-sequences	Per cent fertilizer application	Rainy season		Winter season			
		Green fodder	Dry matter	Green fodder	Dry matter	Grain	Straw
Sorghum-wheat	100	33.0	9.10	-	-	5.40	6.64
Sorghum-wheat	75	30.3	8.08	-	-	4.62	6.12
Sorghum-Egyptian clover	100	33.8	9.35	53.7	8.60	-	-
Sorghum-Egyptian clover	75	31.7	8.63	50.0	8.34	-	-
Cowpea-wheat	100	22.8	3.79	-	-	5.84	6.82
Cowpea-wheat	75	20.1	3.15	-	-	5.06	6.28
Cowpea-oat	100	23.4	4.03	49.8	9.76	-	-
Cowpea-oat	75	20.1	3.40	45.2	8.83	-	-
Pearl millet-chickpea	100	45.7	8.47	-	-	2.45	4.91
Pearl millet-chickpea	75	42.8	7.89	-	-	2.23	4.27
Sorghum-chickpea	100	34.2	8.83	-	-	2.16	4.44
Sorghum-chickpea	75	32.1	8.18	-	-	1.99	4.05
C.D. (5%)		1.9	0.59				

Table 2. Average nitrogen and phosphorus uptake (kg/ha) under various crop-sequences during 1991-92 to 1993-94.

Crop-sequences	Per cent fertilizer application	Rainy season		Winter season	
		Nitrogen	Phosphorus	Nitrogen	Phosphorus
Sorghum-wheat	100	87.5	12.6	123.3	20.1
Sorghum-wheat	75	78.3	11.0	103.8	17.5
Sorghum-Egyptian clover	100	87.8	14.9	276.1	20.0
Sorghum-Egyptian clover	75	89.2	10.6	262.7	17.5
Cowpea-wheat	100	90.9	11.4	128.9	20.3
Cowpea-wheat	75	83.9	10.2	113.8	19.9
Cowpea-oat	100	91.1	14.1	132.7	19.5
Cowpea-oat	75	74.8	11.2	114.7	15.9
Pearl millet-chickpea	100	129.5	8.1	130.4	25.7
Pearl millet-chickpea	75	115.9	6.8	114.8	22.7
Sorghum-chickpea	100	85.7	12.4	115.3	22.3
Sorghum-chickpea	75	76.3	10.6	105.9	20.0

Table 3. Soil fertility status (0-15 cm) under various crop-sequences after three years of harvest

Crop-sequences	Per cent fertilizer application	Available N	Per cent increase/ decrease	Available P	Per cent increase/ decrease
Sorghum-wheat	100	185.5	+0.03	10.2	-0.09
Sorghum-wheat	75	177.0	-0.02	9.7	-0.13
Sorghum-Egyptian clover	100	197.6	+0.10	11.0	-0.02
Sorghum-Egyptian clover	75	186.3	+0.03	10.2	-0.09
Cowpea-wheat	100	190.3	+0.05	11.2	0.00
Cowpea-wheat	75	184.1	+0.02	10.6	-0.05
Cowpea-oat	100	184.4	+0.02	10.5	-0.06
Cowpea-oat	75	173.5	-0.04	9.4	-0.16
Pearl millet-chickpea	100	186.4	+0.03	11.0	-0.02
Pearl millet-chickpea	75	181.0	0.00	9.8	-0.13
Sorghum-chickpea	100	189.0	+0.05	11.1	-0.01
Sorghum-chickpea	75	178.2	-0.01	10.0	-0.11
Initial fertility status		180.4		11.2	

Etzdorfer Dauerversuche

Ergebnisse aus Fruchtfolgeversuchen auf der Lehr- und Versuchsstation Bad Lauchstädt/Etzdorf

Kuntzsch, E. und Diepenbrock, W.

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Acker- u. Pflanzenbau
Ludwig-Wucherer-Str. 2, D-06099 Halle/Saale,

Die Frage nach der besten Fruchtfolge wird heutzutage danach beurteilt, ob sie den höchsten finanziellen Ertrag bringt. Damit wird stillschweigend vorausgesetzt, daß derzeit die Marktordnungsmaßnahmen seitens der EU einen größeren Einfluß auf das Betriebsergebnis ausüben, als agronomische und unternehmerische Fähigkeiten des praktizierenden Landwirts.

In der Betrachtungsweise aus der Sicht der Nachhaltigkeit für künftige Generationen ist der Dauerfeldversuch als eine Voraussetzung zum Erkenntnisgewinn über die Bilanzierung von Stoff- und Energieflüssen und die Auswirkungen unterschiedlicher Bodennutzung auf die Bodenfruchtbarkeit anzusehen.

Fruchtfolgeversuche auf der Grundlage der BRINKMANN'schen Fruchtfolgeglieder, wie sie KÖNNECKE (1967) nach 1945 angelegt hatte, waren entsprechend den Autarkiebestrebungen aus den Anfängen der 30er Jahre und durch die unzureichende Versorgung mit pflanzlicher und tierischer Nahrung nach Ende des 2. Weltkrieges zunächst zwangsläufig auf eine Ertragssteigerung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit ausgerichtet. In dieser Zeit 1946/47 wurde auch der großräumige Fruchtfolgeversuch mit und ohne Zwischenfrüchte in Etzdorf im Saalkreis angelegt und nach 24 Jahren abgeschlossen.

Die Lehr- und Versuchsstation (LVS) Etzdorf befindet sich im mitteldeutschen Trockengebiet 20 km südwestlich von Halle im Saalkreis in einer Höhenlage von 134 m über NN auf Löß-Schwarzerde. Im langjährigen Mittel kann hier mit 450 mm Niederschlag bei einer Durchschnittstemperatur von 9 °Celsius gerechnet werden (KUNTZSCH und DIEPENBROCK 1998). In der wissenschaftlichen Zielstellung galt es den Rahmen abzustecken, wieweit man das Anbauverhältnis und den darin enthaltenen Getreideanteil einseitig verschieben kann, ohne mit gravierenden Ertragsdepressionen rechnen zu müssen. Die Auswertung des Versuches erstreckte sich auf die sich ergebenden günstigen Vorfrucht-Nachfruchtkombinationen und die Vorfruchtwerte bei mäßigem Faktoreinsatz. Eine Kopplung von zweimal Blattfrucht und zweimal Halmfrucht führte bei günstiger Fruchtartenauswahl mit dem Doppelfruchtwechsel zu einer 5 – 10 %igen Ertragssteigerung bei der zweiten Blattfrucht und durch die akkumulative Wirkung von zwei günstigen Blattfrüchten auch zu Mehrerträgen der zwei nachfolgenden Halmfrüchte. Die Vorteile des Doppelfruchtwechsels nach KÖNNECKE bestanden in dieser Zeit nicht nur in der Ertragserhöhung, sondern auch in der Begrenzung des Schädlingsbefalls und der Verunkrautung. Die Erträge der Dreifelderglieder sanken von Jahr zu Jahr, dagegen haben die Getreideerträge in der Vierfelderwirtschaft mit 75 % Getreide auf dem günstigen Etzdorfer Standort in den ersten 15 Jahren wenig nachgelassen.

Über die Möglichkeiten des Nachbaues von Getreide nach Getreide, den Anteil von 66 % Getreide als kritische Obergrenze im Anbauverhältnis und die Bedeutung des Anteils bestimmter Getreidearten innerhalb des Getreideanteils werden 29-jährige Ergebnisse in Tab. 1 aus dem 42-jährigen Getreidedaueranbau in Etzdorf - von 1956 - 1998 mit 100 % Getreide - nach FRANKE, 1962; KUNTZSCH, und SCHÖNROK-FISCHER 1984 und einem Fruchtfolgeversuch mit 75 % Getreide von 1978 - 1998 dargestellt.

Tabelle 1: Getreidedaueranbau seit 195 im Getreidedauerversuch Etzdorf

Ergebnisse aus dem Getreidedauerversuch Etzdorf 1970 - 1998

- Fruchtfolge Winterroggen - Winterweizen - Wintergerste

	H/m ²	TKM g	Kornz./ Ähre	Ertrag dt/ha	Auftreten von		
					P. herpotrich.		Heterodera avenae E/L in 100g Boden
					% stark	% gesamt	
Winterweizen							
1970-1998 29 Jahre	430	42,78	26	45,35	12	38	227
1970-1984 15 Jahre	432	42,67	23	41,88	13	43	
1985-1998 14 Jahre	427	42,92	28	49,76	10	31	
Wintergerste							
1970-1998 29 Jahre	457	41,25	29	50,20	10	36	228
1970-1984 15 Jahre	479	39,16	22	42,10	10	37	
1985-1998 14 Jahre	425	44,18	35	61,58	10	36	
Winterroggen							
1970-1998 29 Jahre	433	33,76	34	46,94	8	29	239
1970-1984 15 Jahre	428	33,60	30	43,33	9	32	
1985-1998 14 Jahre	440	33,99	38	52,01	7	24	
1970-1998 GD 5%	20	0,69	1,44	2,11	2	4	
1970-1984 GD 5%	31	0,91	1,74	2,62	3	4	
1985-1998 GD 5%	20	0,95	2,19	2,79	3	6	

Weizenmonokultur seit 1972: 828

Wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, schneidet der Getreidedaueranbau im Naturalertrag immer günstiger ab als die Monokultur. Mit fortschreitender Versuchsdauer ist eine Differenzierung der Erträge bei den einzelnen Arten eingetreten. Seit den letzten 14 Jahren dominiert die Wintergerste mit 9,6 dt/ha Mehrertrag im Vergleich zum Winterroggen und mit noch weiteren 2,2 dt/ha gegenüber Winterweizen. Der Besatz mit Eiern und Larven von *Heterodera avenae* befindet sich in der Weizenmonokultur deutlich über der Schadschwelle, nicht aber im Getreidedaueranbau. Über die ganze Laufzeit des Versuches hat die Wintergerste am unempfindlichsten auf den extrem hohen Getreideanteil, den Krankheitsbefall und die acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen reagiert. Da diese sich im Bewirtschaftungssystem mit den Witterungsbedingungen in ständiger Wechselwirkung befinden, können sie das Wirkungsgefüge einer Fruchtfolge verändern und dürfen den positiven Regelmechanismen einer Fruchtfolge nicht entgegenstehen.

Ergebnisse aus dem Fruchtfolgeversuch mit 75 % Getreideanteil

In diesem 1978 von GERDES angelegten Versuch werden nach PALLAS, 1992 bei einem konstanten Getreideanteil von 75 % neun dreifeldrige Kombinationen der Getreidearten Winterweizen, Wintergerste und Sommergerste auf ihre Ertragsleistung und Ertragsicherheit untersucht (Komplementärfucht: einjährige Luzerne).

Im Durchschnitt der Jahre 1982-1991 überbieten die Fruchtfolgen, die Wintergerste enthalten, die übrigen Folgen mit zweimal Winterweizen bzw. zweimal Sommergerste gesichert im Ertrag. Ursache für diese Differenzen sind Ertragseinbußen auf Grund des auf diesem Standort häufigen Niederschlagsdefizits, die sich besonders gravierend bei Winterweizen auswirken. Der hohen Ertragsleistung der Wintergerste von 76,0 dt/ha im langjährigen Mittel steht der vergleichsweise

niedrige Weizenertrag von 60,6 dt/ha gegenüber, der auch in der hohen Getreidekonzentration von 75 % begründet ist. Sommergerste erreicht einen Durchschnittswert von 54,5 dt/ha.

Auffällig ist, daß der Winterweizen im Mittel der Jahre 1982-1991 nach einmaliger Getreidevorfrucht gleiche bzw. höhere Erträge erbringt, als nach der wasserzehrenden Luzerne. Die Selbstfolge des Winterweizens führt zu einem signifikanten Minderertrag im Vergleich zu den anderen Vorfrüchten. Bei Wintergerste und Sommergerste liegen die Varianten nach Luzernevorfrucht im Ertragsniveau der Varianten mit ein- bzw. zweimaliger Getreidevorfrucht. Darin erklärt sich auch, daß die Folge 7 Wintergerste - Winterweizen - Sommergerste den Ertrag der Folge 8 mit dreimaligem Wintergetreideanbau erreicht bzw. überbietet, da in letzterer der Weizen zweimal an ungünstiger Stelle - nach Luzerne und als dritte Getreideart - eingeordnet ist. Die Folgen 5 und 6 mit Winterweizen als dritter Getreidefrucht unterscheiden sich nicht vom Ertrag der Folge 1 mit Winterweizen und zweimal Sommergerste.

Die Analyse der Ertragskomponenten zeigt einen positiven Einfluß der Luzernevorfrucht auf die Anzahl der ährentragenden Halme. Der Einfluß der Ertragskomponente Tausendkornmasse erweist sich als dominierend bei der Ertragsausprägung und ist damit Beleg für die gravierenden Auswirkungen der standortüblichen Vorsommertrockenheit.

Tabelle 2: Einfluß der Fruchtfolgevarianten auf den Kornertrag (dt/ha) (ø 1982 - 1991 nach PALLAS und Gerdes (1992))

Fruchtfolge Nr.	FFF 1		FFF 2		FFF 3		ø FF	sign. GD 5%=3,52
	dt/ha		dt/ha		dt/ha			
7	WG	75,9	WW	65,03	SG	56,46	65,80	a
8	WW	61,4	WG	77,13	WW	56,33	64,94	a
3	WW	61,4	WG	75,64	SG	55,10	64,04	a
4	WW	58,8	SG	55,33	WG	77,33	63,83	a
2	SG	54,4	WW	62,97	WG	73,78	63,70	a
9	WW	62,7	WW	59,90	SG	55,69	59,42	b
5	WW	59,50	SG	53,54	WW	60,25	57,76	bc
6	SG	53,5	WW	61,79	WW	57,57	57,61	bc
1	WW	60,1	SG	53,00	SG	53,59	55,55	c

Versuchsschema des Fruchtfolgeversuches mit 75 % Getreide (GKVE)

Feld	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Luzerne								
2	WW	SG	WW	WW	WW	SG	WG	WW	WW
3	SG	WW	WG	SG	SG	WW	WW	WG	WW
4	SG	WG	SG	WG	WW	WW	SG	WW	SG

Ergebnisse aus dem Zuckerrübenfruchtfolgeversuch Etdorf (seit 1970)

Höhe und Trend des mittleren Rotationsertrages der Zuckerrübe sowie die Ertragsstabilität werden durch den Zuckerrübenanteil in der Fruchtfolge, den Komplementäranbau und die Vorfrucht bestimmt. Im langjährigen Trend treten Ertragsverluste auf, wenn der Zuckerrübenanteil in der Fruchtfolge 25 % übersteigt. Bei Nematodenbesatz mit *Heterodera schachtii* oberhalb der Schadschwelle von 500 Eier und Larven je 100 g Boden wird der Ertrag vor allem infolge der verminderten mittleren Rübenmasse reduziert. Fruchtfolgebedingte Ertragsunterschiede lassen sich mit ackerbaulichen Maßnahmen nur begrenzt ausgleichen.

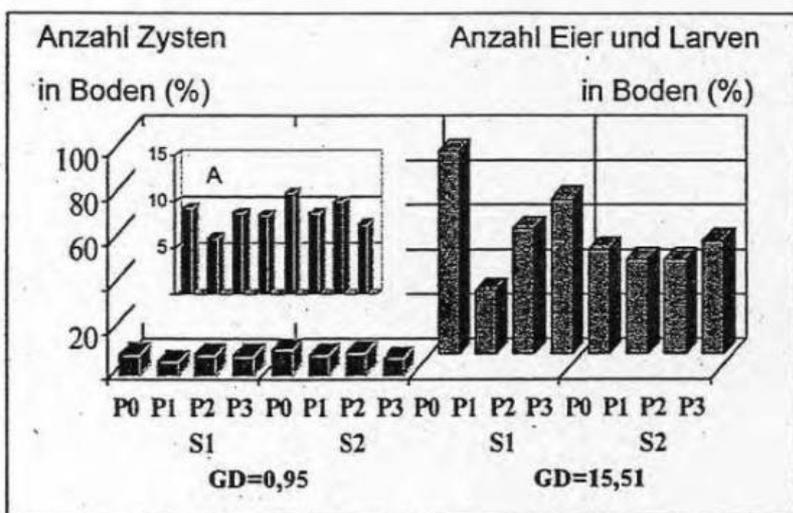
und Larven je 100 g Boden wird der Ertrag vor allem infolge der verminderten mittleren Rübenmasse reduziert. Fruchtfolgebedingte Ertragsunterschiede lassen sich mit ackerbaulichen Maßnahmen nur begrenzt ausgleichen.

Ableitungen und Schlußfolgerungen zu der integrierenden Funktion der Fruchtfolge unter den Bedingungen einer ökonomisch effizienten und ökologisch verträglichen Landbewirtschaftung sind aus den Ergebnissen des Zuckerrübenfruchtfolgeversuches Etzdorf möglich geworden. Der zunehmende Zuckerrübenanteil von 20 % - 100 % in 7 Fruchtfolgen und einer Monokultur mit differenzierter Verseuchung von *Heterodera schachtii* und nematophagen Bodenpilzen beeinflusste in 28 Jahren den Rübenkörperertrag über die Faktoren Vorfrucht, Anbaupause, Komplementäranbau und Rotationsdauer (KLAUS, 1974; LISTE, 1978; DUDA, 1983; FISCHER, 1984).

Nach MAIHANPARAST, 1998 ist in den letzten Jahren die differenzierte Verseuchung mit *Heterodera schachtii* auf Besatz mit nematophagen Bodenpilzen zurückzuführen. Die Population wurde jährlich um durchschnittlich 40 Eier und Larven verringert (decline effect und vorwiegend durch Bodenpilze verursacht). Dabei erwiesen sich ausgewählte Pilzarten (siehe nebenstehende Abbildung) in einem gesonderten Versuch (in vivo) in einigen Fällen als nematodenpathogen.

MAIHANPARAST, L. 1998

Ergebnisse aus dem Zuckerrübenfruchtfolgeversuch 1970 - 1998 (in vivo-Versuch)



S1 - resistenter Stamm	P0 - ohne Pilze
S2 - anfällige Sorte	P1 - <i>Verticillium</i> sp.
	P2 - <i>Verticillium chlamydosporium</i>
	P3 - <i>Arthrobotrys oligospora</i>

Anzahl Zysten bzw. Eier und Larven im Boden (%) bei einer nematodenanfälligen ZR-Hybride und einem resistenten Rübenstamm mit unterschiedlichen Pilzvarianten.

(A = veränderter Maßstab)

(Die verwendete Literatur ist bei den Autoren einzusehen.)

Langzeitlysimeteruntersuchungen zum Einfluß unterschiedlicher Düngung und Bewirtschaftung auf das Auswaschungsverhalten relevanter Kationen und Anionen

Seeger, J.; Meißner, R. und Rupp, H.

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Bodenforschung,
Lysimeterstation Falkenberg, Dorfstraße 55, 39615 Falkenberg

Einleitung

Es ist davon auszugehen, dass die seit Beginn der 90er Jahre verstärkt auftretenden Änderungen der Nutzungsintensität landwirtschaftlicher Flächen zu unkontrollierbaren Stoffausträgen mit dem Sickerwasser führen und damit eine potentielle Belastungsquelle für Grund- und Oberflächenwässer darstellen. Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht eine Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern, die unter den vorherrschenden Versuchsbedingungen Aussagen über das Auswaschungsverhalten ausgewählter Kationen und Anionen sowie über potentiell eingetretene Veränderungen des pH-Wertes im Krumenboden aufgrund nicht durchgeführter Düngungsmaßnahmen (Kalkung) ermöglicht. Nach einer Wiedereingliederung von längerfristig brachgelegten Flächen in die Intensivbewirtschaftung lassen verschiedene Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt von Dauerbrachen erwarten, dass größere Mengen an mineralischem Stickstoff mobilisiert werden und auswaschungsgefährdet sind (JOHNSTON et al., 1994; PLATTE et al., 1995). Durch differenzierte Formen der Integration (Prüfung von 4 Wiedereingliederungsvarianten) von fünfjährigen Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung wird versucht, das Gefährdungspotential und aus der Sicht des Gewässerschutzes Vorzugsvarianten für die Wiedereingliederung auszuweisen.

Material und Methoden

Die Grundlage für die zweigeteilte Versuchsauswertung stellen Vollmantellysimeter mit einer Oberfläche von 1 m² und einer nutzbaren Tiefe von 1,25 m dar, die mit der Bodenart IS befüllt sind (MEISSNER et al., 1998).

- Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern

Einen Überblick über die Fruchtfolgegestaltung, die N-Düngung und die Zusatzbewässerung der jeweils 10 Versuchsgefäße (je 2 Versuchsgefäße als Parallelvariante) aus den Bewirtschaftungsregimen „Integrierter Landbau“ (fünfgliedrige Fruchtfolge) und „Dauerbrache“ gibt Tabelle 1. Die Brachlegungszeit der als Dauerbrache bewirtschafteten Versuchsgefäße betrug 5 Jahre - von 07/91 bis 08/96. Nach dieser Zeit wurden 8 der 10 Lysimeter in die Intensivbewirtschaftung zurückgeführt; 2 Versuchsgefäße werden weiterhin für unbegrenzte Zeit als Langzeitbrachen geführt. Als Analysenkriterien wurden die Jahressickerwassermenge sowie die jährlichen Stofffrachten der Kationen Calcium (Ca), Natrium (Na), Magnesium (Mg) und Kalium (K) und der Anionen Chlorid (Cl), Sulfat (SO₄) sowie Nitrat (NO₃) in die Auswertung einbezogen.

Tab. 1: Fruchtfolgegestaltung, N-Düngung und Zusatzbewässerung der Lysimeter aus den Teilversuchen Integrierter Landbau und Dauerbrache

Bewirtschaftungs- regime	Fruchtfolgen 91/92 - 97/98	N-Düngung (kg/ha) ^{*)} 91/92 - 97/98	Bewässerung (mm) ^{*)}						
			91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98
- Integrierter Landbau	- Zuckerrübe	142	110	205	45	97	147	108	95
	- W.Weizen+Zw.Fr.								
	- Kartoffeln								
	- W.Gerste+Zw.Fr.								
	- Mais								
- Dauerbrache^{**)}	nach								
	- So.Gerste	105	-	-	-	-	-	-	-
	- Hafer+Untersaat								

^{*)} Mittelwerte von 10 Lysimetern je Bewirtschaftungsregime

^{**)} Ab 96/97 wurden im Bewirtschaftungsregime Dauerbrache nur noch 2 Lysimeter in die Auswertung integriert

- Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung

Neben der Vergleichsvariante Integrierter Landbau (2 Lysimeter) sind in Tabelle 2 auch die verschiedenen Varianten der Wiedereingliederung der 10 fünfjährig brachgelegten Versuchsgefäße in die Intensivbewirtschaftung, einschließlich Fruchtfolgegestaltung, N-Düngung und Zusatzbewässerung aufgeführt. Als Analysenkriterien wurden die Sickerwassermenge sowie die mineralischen Stickstoffverbindungen als N-Fracht im ersten Jahr nach der Wiedereingliederung und die Trockensubstanz (TS)-Erträge aus zwei Anbaujahren in diese Arbeit einbezogen.

Tab. 2: Übersicht über die Bewirtschaftungsmaßnahmen zur differenzierten Wiedereingliederung von 5jährig brachgelegten Lysimetern (b – f) im Vergleich zu Lysimetern aus dem Integrierten Landbau (a)

Variante ^{*)}	Umbruch	Fruchtfolge	N-Düngung (kg/ha) ^{**)}		Zusatzwassermenge (mm)		
			1997	1998	1997	1998	
Integrierter Landbau							
a	W.Weizen+Zw.Fr.	Kartoffeln	145	120	60	60	
Dauerbrache							
b	Weiterführung der Dauerbrache		-	-	-	-	
c	1.10.96	W.Weizen+Zw.Fr.	Kartoffeln	-	-	-	
d	1.10.96	W.Weizen+Zw.Fr.	Kartoffeln	145	120	60	60
e	27.07.96	So.Futerraps-W.Weizen+Zw.Fr.	Kartoffeln	145	120	60	60
f	6.02.97	So.Weizen+Zw.Fr.	Kartoffeln	145	120	40	60

^{*)} Pro Variante sind jeweils 2 Lysimeter in die Auswertung integriert

^{**)} Zu Kartoffeln werden jeweils 300 dt/ha Stallmist appliziert

Ergebnisse

- Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern

Ein Vergleich der Sickerwassermengenbildung der brachgelegten Versuchsgefäße mit dem Integrierten Landbau zeigte einen insgesamt erhöhten Sickerwasseranfall unter den Dauerbrachen (Tab. 3). Unter beiden Bewirtschaftungsregimen konnte ein sehr enger statistischen Zusammenhang zwischen dem natürlichen Niederschlagsaufkommen und der Sickerwassermenge ermittelt werden.

Tab. 3: Natürliches Niederschlagsaufkommen und Vergleich der Sickerwassermengen zwischen Lysimetern aus dem Integrierten Landbau und unter Dauerbrachen

Versuchsjahr	Niederschlagsmenge (mm)	Sickerwassermenge (mm)	
		Integrierter Landbau	Dauerbrache
1991/92	532	54,0	67,9
1992/93	486	66,7	56,3
1993/94	851	275,3	323,2
1994/95	680	116,4	122,9
1995/96	344	12,5	1,1
1996/97	475	14,7	0,5
1997/98	550	40,4	20,2

Der an den Sickerwasserstrom gebundene Verlauf der Kationen- und Anionenausträge gestaltete sich, sowohl untereinander als auch beeinflusst durch das Bewirtschaftungsregime, differenziert (Tab. 4). Die Kationenausträge waren in beiden Bewirtschaftungsregimen signifikant an die Höhe der Sickerwassermenge bzw. des Niederschlagsdargebotes gebunden. Dieses Ergebnis ist ein Indiz für den guten Versorgungszustand der Lysimeterböden, auch noch 5 Jahre nach der Nutzungsumstellung. Das hohe Nachlieferungspotential aus dem Bodenpool führte bei den Dauerbrachen während des 5jährigen Versuchszeitraumes zu Kationenausträgen zwischen 67 und 115 %, gemessen am Integrierten Landbau. Dabei fallen besonders die signifikant höheren Na-Austräge, begünstigt durch die hohe Na-Sättigung des Bodens infolge der Beregnung vor der Brachlegung auf.

Dagegen kam es durch das nur begrenzte Nachlieferungsvermögen der durch unspezifische Adsorption im Boden gebundenen Anionen im Integrierten Landbau bei Cl und bei den

Dauerbrachen für alle 3 Kriterien nur zu mäßigem bis gar keinem statistischen Zusammenhang zwischen der Sickerwasser- und der Stoffaustragsmenge. Aus dem schnell ausgeschöpften Nachlieferungsreservoir des Bodens resultierten bei den brachgelegten Lysimetern Austräge von lediglich 44 bzw. 58 % bei den Kriterien Cl und SO₄. Auch der N-Austrag in Höhe von 76 % im Vergleich zum Integrierten Landbau erscheint moderat. Jedoch ist hierbei zu beachten, dass besonders zu Beginn einer Brachlegung erhöhte Auswaschungen zu verzeichnen sind (MEISSNER et al., 1993).

Tab. 4: Korrelation zwischen Sickerwassermenge und Stoffaustrag sowie Höhe der Kationen- und Anionenausträge bei differenzierter Intensität der Landbewirtschaftung im Untersuchungszeitraum 1991 – 1996

Kriterium	Integrierter Landbau		Dauerbrache	
	Korr.koeff. r	Stoffaustrag (kg/ha)	Korr.koeff. r	Stoffaustrag (kg/ha)
Ca	0,806	1010	0,721	674
Na	0,944	297	0,542	342
Mg	0,940	40	0,872	31
K	0,961	27	0,969	21
Cl	0,428	710	0,012	313
SO ₄	0,724	1032	0,442	602
NO ₃ -N	0,890	129	0,339	98

Durch die Weiterführung der Brachlegung von 2 Lysimetern über die zuvor betrachteten 5 Jahre hinaus soll geprüft werden, inwieweit das bereits nachgewiesene veränderte Stoffaustragsverhalten der Anionen und das ebenfalls erwartete Nachlassen der Kationennachlieferung (d.h. Verringerung der Wasserstoffbindung durch verminderten Kationenaustausch und mögliche Verschiebung des pH-Wertes in den sauren Bereich) zu Zustandsänderungen im Boden führt. Ein Vergleich der Boden-pH-Werte läßt die Tendenz einer Abnahme bei den Dauerbrachen bereits erkennen (Tab. 5). Obgleich ein bewirtschaftungsbedingtes Absinken der pH-Werte noch nicht statistisch abgesichert werden konnte, wurde der Richtwert für die Bodenart IS mit pH 6,0 (SCHEFFER und SCHACHT-SCHABEL, 1989) in den letzten Versuchsjahren bereits zweimal unterschritten.

Tab. 5: pH-Werte in Krumenböden bei intensiv genutzten und mehrjährig brachgelegten Lysimetern

	1990 ¹⁾	1992	1993	1995	1996	1997	1998
Integrierter Landbau	5,75	6,37	6,63	6,41	6,00	6,04	6,11
Dauerbrache	5,73	6,17	6,59	6,43	5,90	6,14	5,84

¹⁾ im Herbst 1990 erfolgte auf allen Lysimetern eine einheitliche Ca-Düngung von 500 kg/ha

- Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung

Anhand des relevanten Parameters N (mineralische Formen) wird untersucht, inwieweit die bei der Integration länger brachgelegter Flächen akkumulierten Nährstoffmengen mobilisiert werden. Dazu zeigte ein erster Vergleich von Sickerwassermengen, N-Austrägen und TS-Erträgen der Langzeitbrachlegungsvariante b mit den Wiedereingliederungsvarianten c bis f sowie den analog bewirtschafteten Lysimetern aus dem Integrierten Landbau in Tabelle 6 zunächst, dass die größte Sickerwassermenge und damit verbunden auch der höchste N-Austrag unter den Dauerbrachelysimetern (Variante b) gemessen wurde. Auch bei einer Gegenüberstellung der N-Austräge aller mit Weizen bestellten Lysimeter wurde festgestellt, dass in der Regel (bis auf Variante d) keine erhöhten N-Auswaschungen im Vergleich zum Integrierten Landbau zu verzeichnen waren. Eine varianzanalytische Verrechnung der ausgetragenen N-Mengen ergab jedoch statistisch gesicherte Abhängigkeiten von der Art der Wiedereingliederung in die Intensivnutzung. Signifikant geringere N-Austräge konnten für die Varianten c und f gegenüber a und d ermittelt werden.

Eine Abhängigkeit von der Art der Wiedereingliederung konnte für das erste Versuchsjahr nach der Brachlegung auch für die Höhe des TS-Ertrages statistisch abgesichert werden. Zeigten sich hier

1997 die signifikant höchsten Erträge auf den Lysimetern des Integrierten Landbaues, so waren die Pflanzenbestände der Wiedereingliederungsvarianten im Versuchsjahr 1998 aufgrund der herrschenden hydrologischen Bedingungen (durch Tracerversuche ermittelte Verlagerungsgeschwindigkeit von 4,5 bis 5 mm/l Sickerwasser (SEEGER et al., 1999)) in der Lage, den durch die Integration mobilisierten N so auszunutzen, dass auf fasst allen Lysimetern (mit Ausnahme der düngungslosen Variante c) höhere Erträge als auf den Vergleichslysimetern des Integrierten Landbaues erzielt werden konnten. Die Ergebnisse über die Höhe der N-Austräge der zweiten winterlichen Sickerungsperiode 1998/99 stehen noch aus.

Nach dem bisher vorliegenden Erkenntnisstand wird die aus Untersuchungen von HESS und FRANKEN (1988) sowie KERSEBAUM et al. (1993) beschriebene günstige Wirkung der Wiedereingliederung von Dauerbrachen nach wüchsigen So.Zwischenfrüchten - Variante e - sowie ein später Umbruch - Variante f - für eine nachhaltige Bewirtschaftung im Hinblick auf den N-Austrag bestätigt.

Tab. 6: Vergleich von Sickerwassermenge, N-Austrag und TS-Ertrag zwischen dem Integrierten Landbau (a) und verschiedenen Brachlegungsvarianten (b – f) nach der Wiedereingliederung in die intensive Landbewirtschaftung

Nutzungsvariante	Sickerwassermenge (mm)	N-Austrag (kg/ha)	TS-Ertrag (dt/ha)	
	1997/98		1997/98	1997
a	8,0	3,0	163,3	118,7
b	20,2	5,0	-	-
c	6,6	1,3	74,0	87,4
d	13,1	3,4	149,9	120,2
e	14,5	1,7	114,5	127,6
f	0,5	0,2	109,4	150,9

Zusammenfassung

Langzeituntersuchung von brachgelegten Lysimetern

- Es bestehen deutliche Unterschiede im Auswaschungsverhalten der Kationen und Anionen bei bewirtschafteten und brachgelegten Ackerböden.
- Unabhängig von der Art der Landbewirtschaftung ist das Auswaschungsverhalten der Kationen eng mit der Sickerwassermengenbildung verbunden. Demgegenüber bestehen aufgrund des begrenzten Nachlieferungsvermögens aus dem Bodenpool bei den Anionen keine oder nur mäßige signifikante Beziehungen.
- Nach siebenjähriger Brachlegungszeit besteht die Tendenz einer Verringerung des pH-Wertes im Krumbereich.

Wiedereingliederung von Dauerbrachen in die Intensivbewirtschaftung

- Es wurde keine erhöhte Auswaschungsgefährdung von N nach fünfjähriger Brachlegung ehemals intensiv genutzter Ackerflächen im ersten Jahr nach der Wiedereingliederung festgestellt.
- Die während der Brachlegungszeit im Oberboden akkumulierten N-Mengen wurden durch den bei der Wiedereingliederung in die Intensivbewirtschaftung etablierten Weizenbestand genutzt und in Biomasse umgewandelt. Auch im zweiten Nutzungsjahr (Kartoffelanbau) kam es, verursacht durch günstige hydrologische Bedingungen (wenig Niederschlag – geringe N-Verlagerung), in der Regel sogar zu höheren Erträgen im Vergleich zum Integrierten Landbau.
- Sowohl die Höhe des N-Austrages als auch des Ertrages ist von der Art der Wiedereingliederung abhängig. Besonders vorteilhaft erwies sich der Bracheumbruch im Frühjahr mit anschließender Einsaat von So. Weizen (Variante f).

Literatur

Eine Zusammenstellung der angegebenen Literatur ist bei den Verfassern erhältlich.

Untersuchungen zum Selen anhand von Dauerfeldversuchen

Bruß, A. und Bergmann, H.

Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Ernährungswissenschaften, Lehrbereich Lebensmittel pflanzlicher Herkunft und Pflanzenernährung, Dornburger Straße 25, 07743 Jena

Das Spurenelement Selen ist für Mensch und Säugetier essentiell. Es ist u.a. Bestandteil der Glutathionperoxidase, die eine dem Vitamin E ähnliche antioxidative Wirkung hat.

Für Pflanzen konnte bisher keine Essentialität des Selens nachgewiesen werden. In der Human- und Tiermedizin sind jedoch Se-Mangel- und Toxizitätsprobleme bekannt, und man kann davon ausgehen, daß ein Zusammenhang zwischen dem Selengehalt des Bodens und den Se-Gehalten in den Futter- und Nahrungsmitteln besteht. Selen kommt im Boden als Selenat (SeO_4^{2-}), Selenit (SeO_3^{2-}), elementares Selen, Selenid (Se^{2-}) und in organischen Verbindungen vor. Unter zunehmend oxidierenden Bedingungen und steigendem pH-Wert liegt im Boden verstärkt Selenat vor, was die mobilste und am besten pflanzenverfügbare Form des Selens ist. Die Pflanze kann Selenat, Selenit und Selenomethionin aufnehmen.

Im folgenden sollen nun die Ergebnisse eigener Untersuchungen zum Selen anhand von Dauerfeldversuchen vorgestellt werden. Die Bestimmung der Gesamt-Selengehalte wurde dabei mit Hilfe der Hydrid-AAS durchgeführt. Zuvor erfolgte ein Aufschluß der Proben in einem Mikrowellen-Hochtemperatur-Druckaufschlußsystem mit HCl und HNO_3 und Vorreduktion des Selenats zu Selenit mit HCl im Wasserbad. Zur Qualitätssicherung des Verfahrens wurden als Referenzmaterialien Boden- und Pflanzenproben untersucht. Dabei bewegten sich die im eigenen Labor ermittelten Werte innerhalb der Standardabweichung der zertifizierten Werte. Die eigene Standardabweichung lag bei 10 – 15 %, die Nachweisgrenze für Bodenproben bei 28 ng Se/g und für Pflanzenproben bei 23 ng Se/g.

Selengehalte in verschiedenen Böden und in Getreide verschiedener Dauerversuchsstandorte

Als mittlerer Se-Gehalt im mineralischen Oberboden gelten weltweit 400 ng/g. Die mittleren Se-Gehalte in deutschen Böden sind mit 123 ng Se/g Boden (BAHNERS 1987), 149 ng Se/g Boden (SCHWEDER et al., 1996) und 188 ng Se/g Boden (eigene Untersuchungen) nicht höher als in Skandinavien, wo wegen der geringen Gehalte seit langem mit Se supplementierte P-Dünger verwendet werden.

Tendenziell weisen Sandböden (Tabelle 1) eher einen geringen Selengehalt auf (Groß Kreutz, Müncheberg, Göttingen), was jedoch nicht für humusreiche Sande (Hannover, Oldenburg) gilt. Für das Versuchsfeld des "Ewigen Roggenbaus" am Stadtrand von Halle sind erhebliche Flugstaubbelastungen dokumentiert (AKADEMIE DER LANDWIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN 1990), so daß atmosphärische Einträge die in diesem Vergleich hohen Selengehalte in Halle im wesentlichen mitbegründen können. Klammert man nun einmal den Standort Halle, der offensichtlich und begründbar aus der Reihe fällt, aus, so kann man für die Beziehung Selengehalt - C_t -Gehalt einen Korrelationskoeffizienten von 0,6 bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit p von 2,5 % und für die Beziehung Selengehalt - Sorptionskapazität (p = 0,1 %) einen Korrelationskoeffizienten von 0,8 finden. Ausführlichere Betrachtungen zu Selen in der Ackerkrume finden sich bei BRUSS (1998).

Tabelle 1: Untersuchte Ackerkrumen

Standort (Lage)	Bodentyp	Bodenart	pH	C (%)	Sorptionskapazität (mval/ 100g Boden)	ng Se/g Boden
Groß Kreuz (Potsdam)	Tieflehm-Fahlerde/ Bändersand-Braunerde	IS	5,6	0,6	2,3	74
Müncheberg	Sand-Braunerde / Sandtiefllehm-Fahlerde	S	5,3	0,5	3,8	79
Göttingen	Sandbraunerde	IS	5,9	1,0	10,1	84
Göttingen	Griserde	tU	6,1	1,2	11,6	110
Hannover	Eisen-Humus-Podsol	S	5,8	2,2	12,0	115
Heide (SH)	See-Marsch	IS	6,8	1,4	13,2	121
Göttingen	Pelosol	uT	7,5	1,9	21,9	122
Göttingen	Kalksteinbraunlehm	uT	7,7	1,3	21,5	150
Oldenburg	Eisen-Humus-Podsol	hS	5,0	2,4	17,5	158
Göttingen	Auenlehm	uT	7,7	1,3	19,8	209
Seehausen (Kr. Leipzig)	Sandlöß-Tieflehm-Braunstaugley	sL	6,8	1,0	10,9	227
Hildesheim	Schwarzerde	tU	7,2	1,7	22,4	231
Lauterbach (Erzgebirge)	Berglehm-Braunerde aus Gneis	L	5,5	2,9	25,4	289
Lauchstädt	Löß-Schwarzerde	L	6,2	2,1	29,4	341
Halle (Ewiger Roggenbau)	Salm-Griserde aus Sandlöß	IS	6,3	1,3	11,0	561

Beeinflußbarkeit des Selengehaltes von Ackerböden durch jahrzehntelange differenzierte Düngung

In allen untersuchten Fällen (Tabelle 2) wird durch organische Düngung eine Erhöhung des Boden-Selengehaltes erreicht. Diese bewegte sich zwischen 1 % und 12 % und lag durchschnittlich bei 6 %. Dieses Ergebnis konnte durch eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit den Faktoren Standort und organische Düngung ($p < 1 \%$) statistisch gesichert werden.

Im Vergleich dazu bewegte sich die erreichte Erhöhung des C_t -Gehaltes zwischen 9 % und 48 % und lag durchschnittlich bei 22 %. Der Selengehalt ist demnach in geringerem Maße als der Gehalt an organischer Substanz gestiegen.

Tabelle 2: Gesamt-Se-Gehalte und C-Gehalte der Ackerkrume verschiedener Düngungsvarianten aus Dauerfeldversuchen

Standort	mineralische Düngung	Boden-Selengehalt (ng Se/g)		Differenz	C-Gehalt (%)		Differenz
		organische Düngung			organische Düngung		
		ohne	mit		ohne	mit	
Groß Kreuz	ohne	76	81	+6,6 %	0,47	0,57	+21,3 %
	mit	74	75	+1,4 %	0,50	0,59	+18,0 %
Müncheberg	ohne	73	81	+11,0 %	0,57	0,62	+8,8 %
	mit	79	84	+6,3 %	0,58	0,65	+12,1 %
Oldenburg	mit	158	168	+6,3 %			
Lauchstädt	mit	341	364	+6,7 %	1,93	2,40	+24,4 %
Halle	ohne	526	561	+6,7 %	1,26	1,86	+47,6 %

Bilanzierung des Selen für den Feldversuchsstandort "Ewiger Roggenbau" in Halle

Die Bilanz eines Elementes in der Ackerkrume ergibt sich aus seinen Einträgen und seinen Austrägen. Für den statischen Dauerfeldversuch "Ewiger Roggenbau" in Halle wurde eine Se-Bilanz errechnet. Grundlage sind die Analyse des Erntegutes von 1996, die Angaben der Versuchsansteller bezüglich Düngung und Literaturangaben zu Selengehalten in Düngemitteln und Einträgen durch Deposition. Die Auswaschung wurde vernachlässigt.

Tabelle 3: Ein- und Austräge von Selen und Bilanzen für den Feldversuch "Ewiger Roggenbau" in Halle

		ohne Düngung	mineralische Düngung	organische Düngung
		(g Se / ha p.a.)	(g Se / ha p.a.)	(g Se / ha p.a.)
Einträge	Deposition	+3,00	+3,00	+3,00
	Düngung	+0,00	+0,60	+0,50
Austräge	Auswaschung	- 0,00	- 0,00	- 0,00
	Entzug	- 0,38	- 0,47	- 0,58
Bilanz		+2,62	+3,13	+2,92

Die Bilanz ist in allen so untersuchten Varianten positiv und liegt bei durchschnittlich + 3 g Se/ha p.a. bzw. + 350 g Se/ha in 118 Jahren Versuchsdauer. Der durchschnittliche Vorrat beträgt 1550 g Se/ha. Entzogen werden jedoch pro Jahr nur etwa 0,5 g Se/ha und damit 0,03 %. Für die gesamte Versuchsdauer errechnet sich ein Entzug von 41 g Se/ha oder 2,68 % des Vorrates aus dem Jahr 1996.

Die hier vorgestellte Bilanz basiert auf der gegenwärtig nur spärlich verfügbaren Datengrundlage. Die Variabilität der zugrunde gelegten Daten ist groß. Für die Nettodeposition z.B. werden Werte von 0,1 bis 4,75 g Se/ha p.a. (HAYGARTH et al., 1993; LAHMANN, 1990) in Europa angegeben, wobei sich die hohen Werte von 3,0 bis 4,75 g Se/ha (LAHMANN, 1990) auf den städtischen Bereich beziehen, zu dem auch das Versuchsfeld des Ewigen Roggenbaus in Halle zu rechnen ist. Für jährliche Schwankungen von Selengehalten im Weizenkorn eines Untersuchungsgebietes in Schweden (JOHNSSON, 1991) wird ein Variationskoeffizient von 51 - 62 % zwischen den Jahren angegeben.

Aufgrund der spärlichen Datengrundlage und der erläuterten Variabilität der zugrunde gelegten Daten wird deutlich, daß die vorgestellte Bilanz nur Größenordnungen liefern kann.

Aufgrund dieser Bilanz errechnet sich ein Selengehalt von rund 400 ng Se/g Boden zu Versuchsbeginn im letzten Jahrhundert. Der Betrag der Bilanz erscheint eher noch zu niedrig, denn mit ca. 400 ng Se/g läge der Boden in Halle immer noch an der Spitze aller in dieser Arbeit untersuchten Böden (vgl. Tab. 1).

Bei Untersuchungen in Rothamsted (HAYGARTH et al., 1993) und in Schweden (JOHNSSON, 1991) wurde ebenfalls eine positive Se-Bilanz festgestellt. Die positive Selenbilanz ist vermutlich im wesentlichen durch hohe Einträge aus Deposition verursacht.

Zusammenfassung

Selen ist ein essentielles Spurenelement für Mensch und Tier. Weltweit beträgt der Selengehalt im Boden durchschnittlich 400 ng/g, in Deutschland durchschnittlich weniger als 200 ng/g. Für die untersuchten Ackerkrumen aus Nord- und Ostdeutschland läßt sich mit steigendem Selengehalt ein steigender C_t -Gehalt bzw. eine steigende Sorptionskapazität feststellen. Ernteproben verschiedener Dauerfeldversuche wiesen Selengehalte von bis zu 112 ng/g im Korn und 60 ng/g im Stroh auf. Im Stroh waren stets geringere Gehalte als im Korn. Die Untersuchung von Bodenproben aus verschiedenen Düngungsvarianten statischer Dauerfeldversuche (u.a. aus Halle und Bad Lauchstädt) ergab, daß durch die kumulativen Effekte langjähriger organischer Düngung eine signifikante Erhöhung des Boden - Selengehaltes von durchschnittlich 6 % erreicht wurde. Die Selenbilanz für den "Ewigen Roggenbau" in Halle beträgt + 350 g Se/ha in 118 Jahren Versuchsdauer. Der Selenvorrat beträgt bei 516 ng Se/g Boden 1550g Se/ha. Entzogen wurden pro Jahr etwa 0,03 % des Vorrates. Diese positive Bilanz am Standort Halle ist wesentlich von der Höhe der Deposition beeinflusst.

Literatur

- AKADEMIE DER LANDWIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN (Hrsg.) (1990): Dauerfeldversuche. Berlin. 322 S.
- BAHNERS, N. (1987): Selengehalte von Böden und deren Grasaufwuchs in der Bundesrepublik sowie Möglichkeiten der Selenanreicherung durch verschiedene Selendüngungen. Dissertation, Landwirtschaftliche Fakultät, Bonn. 149 S.
- BRUSS, A. (1998): Untersuchungen zum Haushalt und zum Transfer von Selen im System Boden/Pflanze an einigen nord- und ostdeutschen Standorten. Dissertation Jena, Biologisch-Pharmazeutische Fakultät.
- BRUSS, A.; BECKER, K.-W.; BERGMANN, H.; MACHELETT, B. und MEYER, B. (1997): Vorräte und Mobilität von Selen in Böden. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 85 I, 221-224.
- BRUSS, A.; BECKER, K.-W.; BERGMANN, H.; MACHELETT, B. und MEYER, B. (1997): Aspekte der Verteilung des Selens in Böden und Getreide. 17. Arbeitstagung Mengen- und Spurenelemente, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Verlag Harald Schubert, Leipzig, 63-70.
- HAYGARTH, P. M.; COOKE, A. I.; JONES, K. C.; HARRISON, A. F. und JOHNSTON, A. E. (1993): Long-Term Change in the Biogeochemical Cycling of Atmospheric Selenium: Deposition to Plants and Soil. Journal of Geophysical Research, Vol. 98, No. D9, 16769-16776.
- JOHNSON, L. (1991): Trends and Annual Fluctuations in Selenium Concentrations in Wheat Grain. Plant and Soil, 138, 67-73.
- LAHMANN, E. (1990): Schwermetallniederschläge in der BRD. VDI-Berichte 837. Kommission zur Reinhaltung der Luft im VDI und DIN: Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Böden. Einträge Bewertung, Regelungen. Teil 1, Tagung Lindau, 15.-17.5.1990. S.75-89.
- NEAL, R. H. (1995): Selenium. In: Alloway, B. J. (Hrsg.): Heavy Metals in Soils. Blackey Academic and Professional, London. S. 260-283.
- SCHWEDER, P.; SARICH, W. und FIBIAN, K.D. (1996): Selen im Stoffkreislauf der Landwirtschaft - Ergebnisse aus Mecklenburg-Vorpommern. VDLUFA-Schriftenreihe 44, Kongreßband 1996, 729-732.

Dank: Die Arbeit wurde durch ein Graduiertenstipendium der Universität Jena unterstützt. Für die Bereitstellung der Proben aus Dauerfeldversuchen danke ich Prof. Körschens, Dr. Hülsbergen, Dr. Lorenz, Dr. Rogasik, Dr. Schliephake, Dr. Stumpe und H. Baumecker. Weiterhin danke ich für Rat und Unterstützung Dr. B. Machelett, Jena, und Prof. B. Meyer und Dr. K.-W. Becker, Göttingen.

Einfluss langjährig unterschiedlicher Düngung auf die P-Fractionen und die P-Sorption im Boden

Schweitzer, K. ;Pagel, H.

Humboldt-Universität zu Berlin

Institut für Pflanzenbauwissenschaften, FG Bodenkunde

Invalidenstr. 42, 10318 Berlin

Problematik

Stabile Nährstoffversorgung des Bodens wird erreicht durch ausgeglichene Nährstoffbilanz und Gleichgewicht zwischen auf- und abbauenden Prozessen bzw. zwischen Prozessen der Nährstoffbindung und -freisetzung.

Veränderungen im Nährstoffpool des Bodens verlaufen i. d. R. über lange Zeiträume. In drei Dauerversuchen wurden Bodenuntersuchungen zu folgenden Schwerpunkten der P-Problematik durchgeführt:

1. Einfluß von Bodeneigenschaften und Düngung auf Höhe und Zusammensetzung des Gesamt-P-Vorrates im Boden;
2. Bedeutung der unterschiedlichen P-Pools im P-Kreislauf des Bodens;
3. spezifische Wirkung organischer Düngung auf die P-Verfügbarkeit im Boden.

Methodik

Aus den Dauerversuchen Thyrow (nach 59 Jahren), Halle - Feld F 1a und F 1b (nach 47 Jahren) und Bad Lauchstädt (nach 94 Jahren) wurden aus dem Krumboden der Varianten *ungedüngt*, *NK*, *NPK*, *Stallmist* und *Stallmist + NK* Proben entnommen (Tab. 1).

Tab. 1: Allgemeine Bodeneigenschaften der Versuchsvarianten

Standort	Ton (%)	C _t (%)	pH-Wert				
			ungedüngt	NK	NPK	Stallmist	Stallmist+NK
Thyrow	2,7	0,42 ± 0,05	4,0	5,8	5,4	4,1	-
Halle	12,0	1,54 ± 0,01	5,9	5,8	5,8	6,0	-
Bad							
Lauchstädt	21,1	1,90 ± 0,17	7,6	7,6	7,4	7,4	6,9

Folgende P-Parameter wurden ermittelt: Gesamt-P, austauschbares P (n. HEDLEY in TIESSEN & Moir, 1993), DL-P und 0,5 N NaOH-lösliches anorganisches P (durch Fraktionierung n. MARKS, 1977) und 0,5 N NaOH-lösliches organisches P = (Gesamt-NaOH-P) – (anorganisches NaOH-P) sowie die P-Bindungsintensität dQ/dI , die max. P-Sorption nach 2 h und die P-Gleichgewichtskonzentration der Bodenlösung c_{equ} (Ermittlung der P-Sorptionsisothermen n. PAGEL et al., 1981)

Ergebnisse

Die Differenzierung des Gesamt-P-Gehaltes im Boden, des Gehaltes der P-Fractionen (Abb. 1) und der Parameter der P-Sorption (Abb. 2) in den Düngungsvarianten an drei verschiedenen Standorten ist primär durch die Bodeneigenschaften (vgl. Tab.1) und sekundär durch die Intensität (Zusammenhang mit der P-Bilanz) und Art der Düngung (spezifische Wirkung des Düngesystems) bedingt.

Einfluß der Bodeneigenschaften

Die Gesamt-P-Gehalte (mg P/kg) steigen mit zunehmenden Tongehalt: Thyrow (273 bis 473) < Halle (461 bis 563) < Bad Lauchstädt (486 bis 804). Mit dem Gesamt-P-Gehalt korrelieren über alle Standorte und Düngungsvarianten (n = 13) das DL-P mit $r^2 = 0,64$ und das nicht extrahierbare Rest-P (schwerlösliche Ca-Phosphate, organisches P) mit $r^2 = 0,68$. Dagegen reichert sich das anorganische NaOH-P (Fe-/Al-Phosphate) unabhängig vom Gesamt-P-Vorrat ($r^2 = 0,016$) mit abnehmenden pH-Wert der Böden an: Bad Lauchstädt (47 bis 153 mg P/kg) < Halle (110 bis 135 mg P/kg) < Thyrow (104 bis 206 mg P/kg) (vgl. Tab. 1 und Abb. 1c).

Die max. P-Sorption (Abb. 2 a) steigt mit zunehmende Tongehalt (Thyrow < Halle < Bad Lauchstädt). Gleiches gilt für die P-Bindungsintensität (dQ/dI): Thyrow (3,1 bis 7,2) < Halle (15 bis 16) < Bad Lauchstädt (21 bis 39).

Einfluß der P-Bilanz

Die Differenzierung der P-Parameter im Boden in Abhängigkeit von der Düngung ist vor allem durch die unterschiedliche P-Bilanz der untersuchten Varianten bedingt (Abb. 1 und 2).

Die Gesamt-P-Gehalte stehen im engen Zusammenhang mit der P-Bilanz ($r^2 = 0,90 - 0,99$). Abgeleitet aus dem Anstieg der Trendfunktion über den Zusammenhang zwischen dem Gehalt der ermittelten P-Fractionen und der P-Bilanz, führt ein P-Entzug von 100 kg P/ha zu folgenden Änderungen der P-Fractionen: 15 mg/kg Gesamt-P, 3,3 mg/kg austauschbares P, 1,6 mg/kg DL-P (abzügl. austauschbares P), 4,3 mg/kg anorg. NaOH-P und 5 mg/kg Rest-P . Das heißt, die P-Nachlieferung erfolgt langfristig auch aus dem „schwerer verfügbaren“ P-Pool (anorganisches NaOH-P und schwerlösliches Rest-P, vgl. Abb. 1). Der Gehalt an org. NaOH-P bleibt konstant.

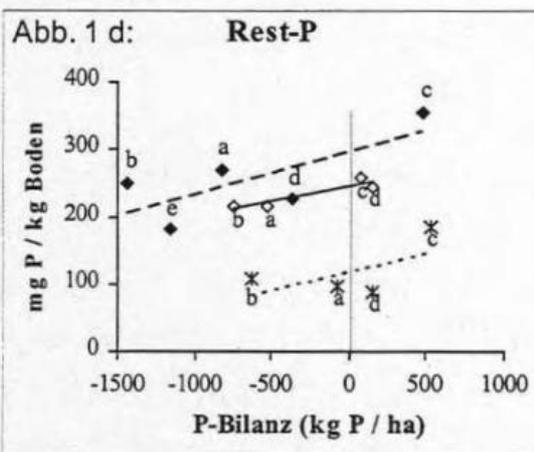
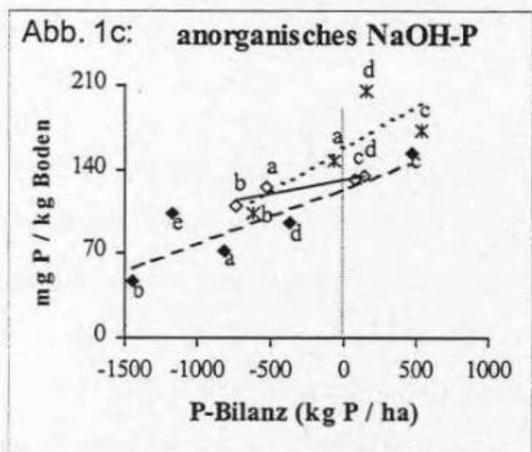
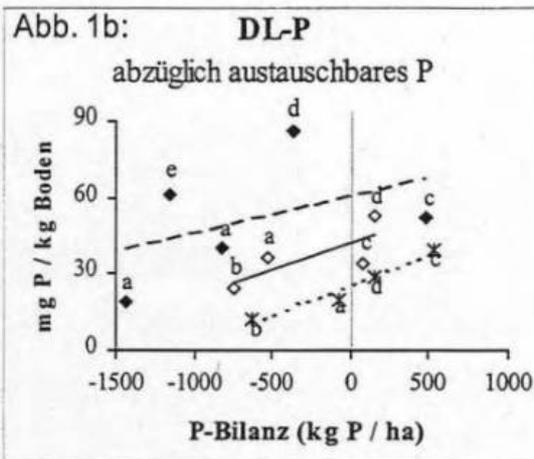
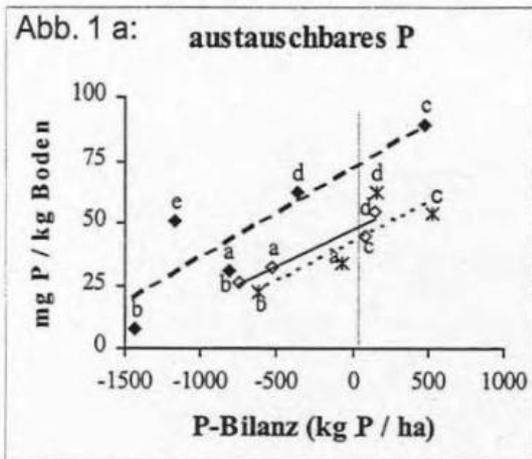


Abb. 1a-d: Beziehungen zwischen ausgewählten P-Fractionen und der P-Bilanz

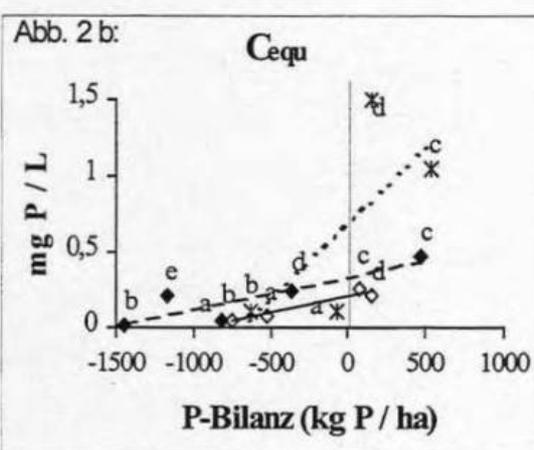
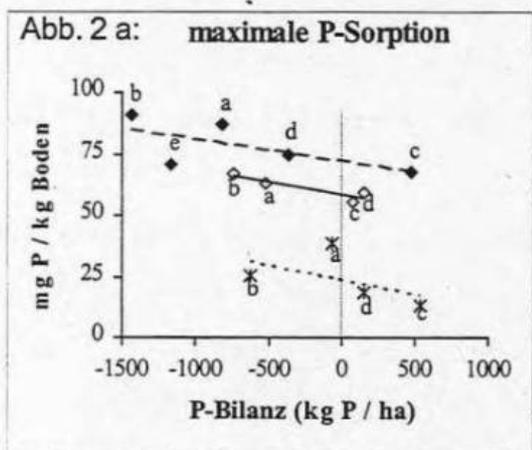
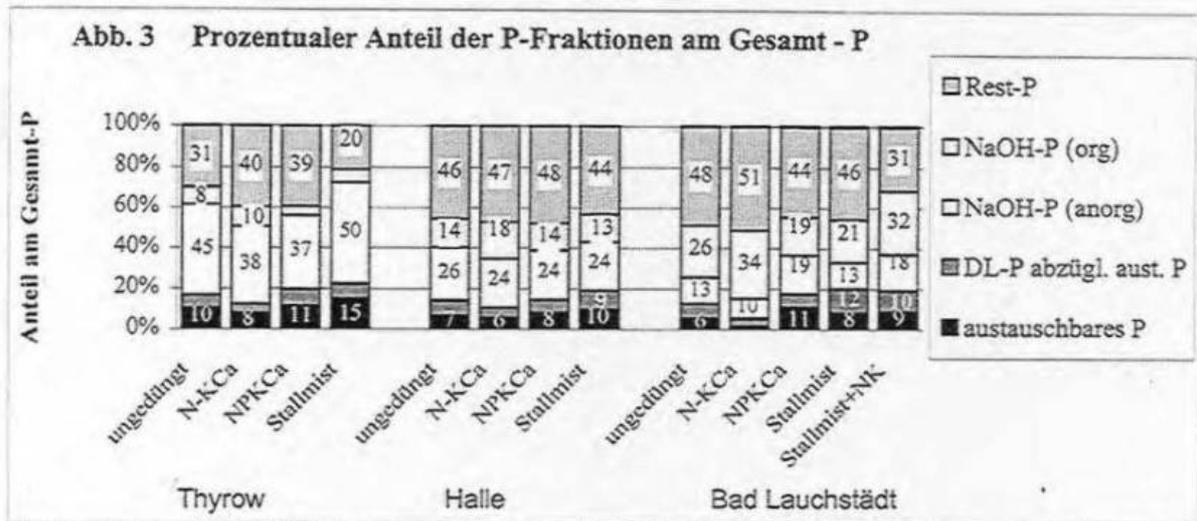


Abb. 2 a-b: Beziehungen zwischen den P-Sorptionsparametern und der P-Bilanz

Legende zu den Abbildungen 1 und 2:

Standort: Thyrow
 Halle
 Lauchstädt

Varianten: ungedüngt a
 NK b
 NPK c
 Stallmist d
 Stallmist + NK e



Wirkung der organischen Düngung

Die positive Wirkung organischer Düngung wird durch die ermittelten Ergebnisse bestätigt. Für alle Versuchsstandorte liegt der Gehalt an austauschbarem und/oder DL-P in den organisch gedüngten Varianten (Abb. 1 a, b) über dem durch die P-Bilanz bestimmten Trend. Durch die Wirkung organischer Düngung erhöht sich der Anteil der labilen P-Fractionen am Gesamt-P (Abb.3).

Der überproportional hohe Gehalt an anorg. NaOH-P der *Stallmist*-Variante in Thyrow und der *Stallmist+NK*-Variante in Bad Lauchstädt (Abb. 1 c) ist vermutlich eine Folge der Wechselwirkung zwischen organischer Düngung und erniedrigtem pH-Wert (vgl. Tab. 1). Hohe Gehalte an austauschbarem P führen nicht in allen organisch gedüngten Varianten zu den erwarteten niedrigen Werten der max. P-Sorption (Abb. 2 a) und zu einer höheren P-Gleichgewichtskonzentration (Abb. 2 b). Die komplexe Wirkung organischer Düngung im Zusammenhang mit den Bodeneigenschaften muß in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Das NaOH-lösliche organische P wird als einziger der ermittelten P-Parameter nicht signifikant durch unterschiedliche Düngung beeinflusst und stellt somit keinen biologisch verfügbaren P-Pool im Boden dar (vgl. MAKAROV et al., 1997 ; OBERSON et al., 1993). Es variiert ausschließlich in Abhängigkeit vom Ton und dem dadurch bedingten natürlichen C_t -Gehalt des Bodens: Thyrow (25 mg P/kg) < Halle (75 mg P/kg) < Bad Lauchstädt (159 mg P/kg).

Literatur: Hedley in Tiessen & Moir (1993): Soil Sampling and Methods of Analysis. Carter M. R. , ed., London

Makarov et al. (1997): Agrochimija (7): 5-11

Marks (1977): Arch. Acker – Pflanzenbau Bodenkd. 21:447-456

Oberson et al. (1993): Biol. Fertil. Soils 16: 111-117

Pagel et al. (1981): Arch. Acker – Pflanzenbau Bodenkd. 21:447-456

Die Wurzelentwicklung von Zuckerrübe auf einem Sand- bzw. Lößstandort nach langjährig gestaffelter P-Düngung

Steingrobe, B.

Institut für Agrikulturchemie der Universität Göttingen

Von-Siebold-Str. 6, 37075 Göttingen

Einleitung

Zuckerrübe kann sich an P-Mangelbedingungen anpassen. Dies äußert sich darin, daß P-Mangelsymptome, die sich nach dem Auflaufen zeigen, ab Anfang Juli verschwinden und sich auch die Wachstumsraten nicht mehr von denen gut ernährter Pflanzen unterscheiden (Meyer, 1988). Ein Mechanismus dieser Anpassungsreaktion ist vermutlich die Ausschüttung organischer Säuren, die die Verfügbarkeit von P im Boden erhöhen können (Gerke, 1995). Es konnte aber bei Wintergerste auch gezeigt werden, daß P-Mangel zu einem erhöhten Wurzelumsatz führt, d.h. sowohl Wurzelwachstum als auch Wurzelsterben waren größer als in gut mit P versorgten Varianten. Durch das verstärkte Wurzelwachstum kann die Pflanze einen größeren Bodenraum erschließen, der noch nicht an P verarmt ist, und so eine höhere mittlere P-Aufnahmerate verwirklichen (Steingrobe et al., 1999). Langjährige P-Düngungsversuche auf Sand und Löß wurden genutzt, diesen Aneignungsmechanismus bei Zuckerrübe zu untersuchen.

Material und Methoden

Die Wurzeluntersuchungen wurden in den Parzellen P-0 (langjährig ungedüngt), P-45 auf einem Lößboden und P-100 auf einem Sandboden (mit 45 bzw. 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹ gedüngt) eines 20- bzw. 10-jährigen P-Düngungsversuches durchgeführt. Die unterschiedlichen Düngungsstufen wurden gewählt, da sich im Lauf der Jahre vergleichbare P_{CAL}-Gehalte eingestellt hatten (ungedüngt: 10 mg (100g Bd)⁻¹; gedüngt: 17-20 mg (100g Bd)⁻¹). Ab Mitte Juni wurden in 2-3-wöchigem Abstand Bohrkern im Bestand entnommen (0-30 cm, 4 Wiederholungen), die Wurzeln über einem 200µm-Sieb ausgewaschen und die Länge mit einer Schnittpunktmethode bestimmt. Die Wurzellänge in den Bohrkernen beschreibt die Nettogröße des Feinwurzelsystems. Das wirkliche Wurzelwachstum (Bruttowachstum) wurde mit der Ingrowth-Cores Methode ermittelt. Hierbei werden Netzschläuche, die mit wurzelfreiem Boden gefüllt sind, im Bestand vergraben, nach 2-3 Wochen Verweildauer gezogen und ebenfalls die Wurzellänge darin gemessen. Die Differenz aus dem Bruttowachstum und der Nettogröße der Wurzelsysteme stellt das Wurzelsterben dar.

Die Modellierung der P-Aufnahme geschah durch Berechnung der Diffusion, des Massenflusses und des P-Influges in die Wurzel mit dem Barber-Claassen-Modell (Claassen, 1990).

Ergebnisse

Auf dem Sandboden gab es keine Unterschiede in der Frischgewichtsentwicklung (Blatt + Rübe) zwischen den P-Düngungsstufen (Abb. 1). Die P-0-Variante auf dem Lößboden dagegen zeigte im Juni leichte P-Mangelsymptome und lag am ersten Erntetermin (24.6.) auch im Ertrag zurück. Die Mangelsymptome und auch Ertragsunterschiede verschwanden bis Anfang Juli. Von einem Blattverlust durch Trockenstreß im August erholte sich die P-0-Variante schlechter als die P-45-Variante. Diese unterschiedliche Ertragsreaktion der Rüben auf die langjährige Unterlassung der P-Düngung auf den zwei Böden trotz vergleichbarer P_{CAL} -Gehalte ist vermutlich auf unterschiedliche P-Konzentrationen in den Bodenlösungen zurückzuführen. Diese waren auf dem Lößboden mit $1-3\mu M P$ ($< 0,1\text{ppm}$) deutlich niedriger als auf dem Sand mit $9-10\mu M P$ ($\approx 0,3\text{ppm}$).

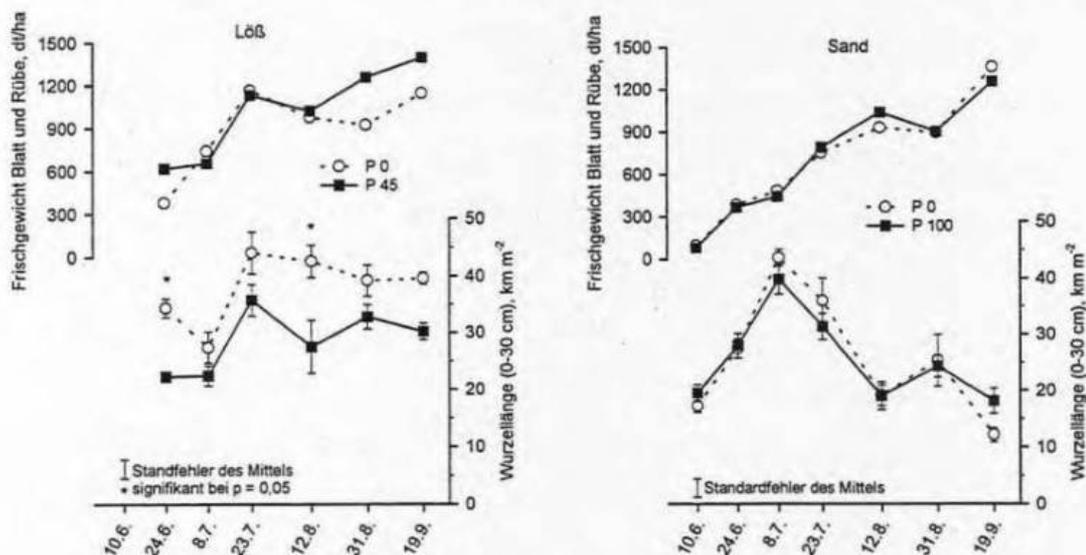


Abb. 1: Entwicklung von Blatt- und Rübenfrischgewicht sowie der Wurzellänge in 0-30 cm von Zuckerrübe auf Löß bzw. Sand nach einer langjährigen Düngung mit 0 und 45 bzw. 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ a⁻¹.

Die knappe P-Versorgung in der P-0-Variante auf Löß bewirkte auch eine Erhöhung der Wurzellängendichte in der Krume (0-30 cm). Diese lag mit ca. 40 km m⁻² Bodenoberfläche ungefähr 30% höher als in der gedüngten Variante (Abb. 1). Auf dem Sandboden zeigten sich dagegen, ebenso wie beim Ertrag, keine Unterschiede in der Wurzellänge zwischen den P-Varianten.

Das Wurzelwachstum, d.h. die Wurzelmenge, die in den betrachteten Zeitabständen in die Ingrowth Cores eingewachsen war, erreichte Anfang Juli seinen Höhepunkt und nahm zum Herbst hin ab (Abb. 2). Aber selbst auf dem Sandboden fand noch bis Mitte September Wurzelwachstum

statt, obwohl sich die Nettogröße der Wurzelsysteme seit Juli bereits verringerte (Abb. 1). Die P-Knappheit auf dem Lößstandort führte zu einem stärkeren Wurzelzuwachs als in der gut mit P versorgten Variante.

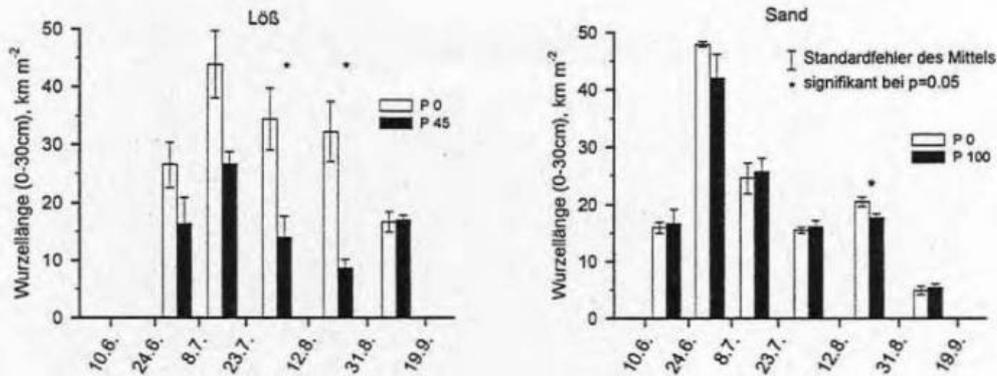


Abb. 2: Wurzelwachstum in den Ingrowth Cores bei Zuckerrübe auf Löß bzw. Sand nach einer langjährigen Düngung mit 0 und 45 bzw. 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹.

Ein starker Zuwachs an Wurzeln ohne Veränderung der Nettogröße des Wurzelsystems bedeutet, daß sich das Wurzelsystem schnell erneuert. Dies wird auch deutlich, wenn man aus dem Zuwachs bzw. der Wachstumsrate und der Nettogröße das mittlere Wurzelalter berechnet (Abb. 3). Insgesamt ergab sich bei einem mittleren Alter von 10-30 Tagen für das Feinwurzelsystem der Zuckerrübe eine hohe Wurzelenerneuerung. Auf Löß ließ sich aber zudem feststellen, daß das mittlere Alter der P-0-Variante geringer war als das mittlere Alter der gedüngten Variante.

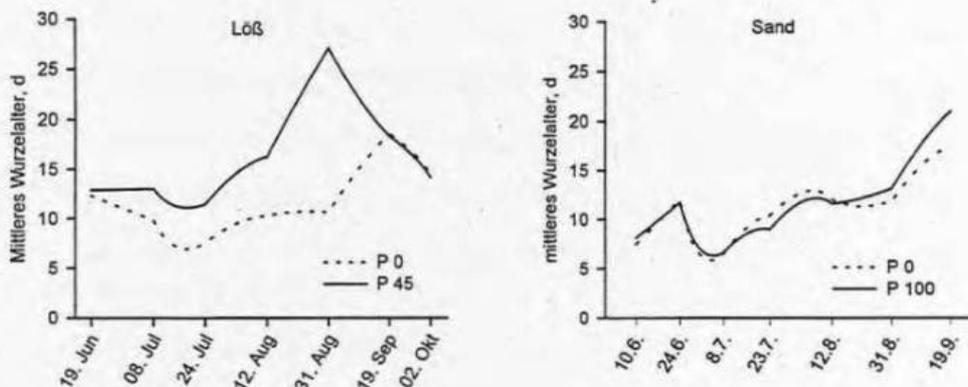


Abb. 3 Mittleres Wurzelalter von Zuckerrübe auf Löß bzw. Sand nach einer langjährigen Düngung mit 0 und 45 bzw. 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹.

Junge Wurzeln haben aber die P-Konzentration an ihrer Oberfläche noch nicht so stark abgesenkt wie alte Wurzeln und können deswegen für eine kurze Zeit Phosphat mit höherer Rate aufnehmen. Die Bedeutung der Wurzelenerneuerung für die gesamte P-Aufnahme läßt sich mit einem Simulationsmodell überprüfen, daß die P-Dynamik im Boden aus Sorption, Diffusion und

Massenfluß und die P-Aufnahme über die Michaelis-Menten Kinetik errechnet. Die nötigen Eingabedaten wurden entweder im Feld bestimmt oder von Claassen (1990) übernommen.

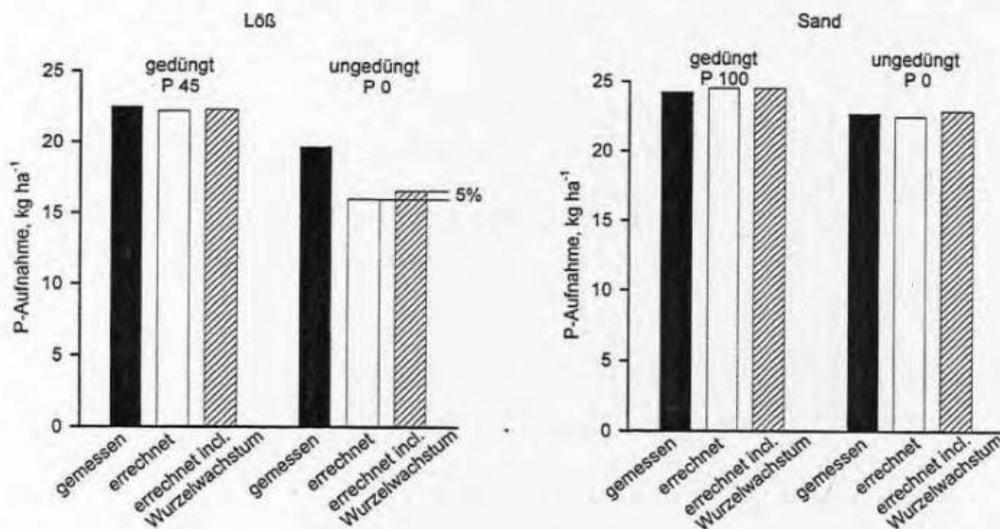


Abb. 4: Vergleich der gemessenen und mit dem Barber-Claassen-Modell (Claassen, 1990) errechneten P-Aufnahme von Zuckerrübe auf Löß bzw. Sand nach einer langjährigen Düngung mit 0 und 45 bzw. 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹. Die Berechnung wurde mit und ohne Berücksichtigung des Wurzelwachstums durchgeführt.

Der Vergleich der gemessenen und berechneten P-Aufnahme zeigt eine gute Übereinstimmung in allen Fällen, in denen keine P-Knappheit auftrat. Ein Unterschied zwischen der Berechnung auf Basis eines statischen oder wachsenden Wurzelsystems gab es in diesen Fällen nicht. In der P-Mangelvariante (P-0, Löß) unterschätzte das Modell die P-Aufnahme, d.h. die Pflanzen nutzten einen Mechanismus, die P-Verfügbarkeit zu erhöhen, der nicht mit dem Modell beschrieben wird. Die Berücksichtigung des Wurzelwachstums in der Berechnung ergab eine Erhöhung der Aufnahme um 5%. Eine hohe Wurzelenerneuerung scheint also eher ein untergeordneter Mechanismus der Zuckerrüben zu sein, ihre P-Versorgung unter Mangelbedingungen zu erhöhen. Allerdings läßt diese Betrachtung die physiologischen Unterschiede junger und alter Wurzeln außer Betracht.

Literatur

- Claassen, N. (1990): Nährstoffaufnahme höherer Pflanzen aus dem Boden. Severin Verlag, Göttingen.
- Gerke, J. (1995): Chemische Prozesse der Nährstoffmobilisierung in der Rhizosphäre und ihre Bedeutung für den Übergang vom Boden in die Pflanze. Cuvillier Verlag, Göttingen.
- Meyer, D. (1988): Verfügbarkeit und Aneignungsvermögen in ihrer Bedeutung für die Phosphatversorgung von Zuckerrüben im Feldversuch. Diplomarbeit, Universität Göttingen.
- Steingrobe, B.; H. Schmid; A. Zintel und N. Claassen (1999): Wurzelenerneuerung bei Wintergerste und ihre Bedeutung für die P-Versorgung. In: W. Merbach, L. Wittenmayer und J. Augustin (Hrsg.): Stoffumsatz im wurzelnahen Raum. 9. Borkheimer Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraumes. Teubner Verlag, Leipzig. S. 61-67.

Entwicklung des Kornertrages und der Ertragskomponenten von Winterroggen in einem Langzeit-Düngungsversuch

Raupp, J.

Institut für biologisch-dynamische Forschung, Brandschneise 5, 64295 Darmstadt

Zusammenfassung

Bei konstanten Düngungsvarianten wurde in den vergangenen fünf Jahren schrittweise versucht, das Anbausystem für Roggen zu verbessern durch Wechsel der Sorte und durch Vorverlegung des Saattermins. Unter den gegebenen Standortbedingungen ist die Septembraussaat dem späteren Termin unbedingt vorzuziehen, wobei die verwendete Sorte ihren Ertrag nicht über das Tausendkorngewicht, sondern über die Kornzahl pro Ähre realisieren sollte. Langzeitversuche dieser Art erlauben, die Effekte der Düngung in Wechselwirkung mit anderen Anbaumaßnahmen und Umwelteinflüssen zu analysieren und sind deshalb ein wichtiges, wenn auch teures Instrument zur Optimierung von Anbausystemen.

Einleitung

Langzeit-Versuche oder Dauerversuche, bei denen Jahr für Jahr dieselben Behandlungen auf jeweils denselben Parzellen praktiziert werden, dienen der Untersuchung von kumulativen und residualen Effekten. Hierfür wurden spezifische Methoden entwickelt (z.B. COCHRAN, 1939; LEŽOVIČ, 1998). Sowohl technische und biologische Fortschritte wie auch die Weiterentwicklung der Versuchsfragen stehen oftmals der jährlich absolut gleichbleibenden Versuchsdurchführung entgegen und legen statt dessen Modifikationen nahe. Sofern eine Änderung einheitlich für alle Varianten eingeführt und einige Jahre beibehalten wird, beginnt damit eine neue Periode des Langzeit-Versuches, dessen Schema ebenso gewahrt bleibt wie die Möglichkeit, kumulative und residuale Effekte zu untersuchen. Neben den genannten Vorteilen sind mit solchen Modifikationen jedoch auch einige Schwierigkeiten bei der biometrischen Auswertung und Interpretation der Langzeit-Versuche verbunden. Auf diesem Hintergrund wurde in einem Langzeit-Düngungsversuch mit gleichbleibenden Varianten in den vergangenen fünf Jahren schrittweise versucht, das Anbausystem für Roggen zu verbessern durch Wechsel der Sorte und durch Vorverlegung des Saattermins.

Material und Methoden

Auf einer Sand-Braunerde in trocken-warmem Klima (9,5°C; 590 mm) wird seit 1980 ein zweifaktorieller Düngungsversuch mit folgenden Varianten betrieben: 1. Düngungsart: 1.1 Rottemist und Jauche (RM), 1.2 Rottemist und Jauche mit sämtlichen biologisch-dynamischen Präparaten (RMBD), 1.3 Mineraldüngung (MIN); 2. Düngermenge: 2.1 niedrig, 2.2 mittel, 2.3 hoch. Die Bemessung der Düngermengen geschieht (seit 1985/86) auf der Basis gleicher Gesamt-N-Gehalte in jeder Stufe,

Tab. 1: Angaben zu Aussaat und Ernte

Jahr	Sorte	Aussaat	Samen·m ⁻²	Ernte
94	<i>Danko</i>	29/10/93	450	25/07/94
95	<i>Danko</i>	31/10/94	420	26/07/95
96	<i>Danko</i>	21/09/95	270	06/08/96
97	<i>Nomaro</i>	26/09/96	250	29/07/97
98	<i>Amilo</i>	25/09/97	285	27/07/98

reinigten Proben ermittelt und für 14% Feuchte berechnet. Bei entsprechenden Voraussetzungen wurden ANOVAs mit dem Programm PLABSTAT (H.F. Utz, Universität Hohenheim) gerechnet. Zwischen den Merkmalen Ertrag und verschiedenen Ertragskomponenten wurden Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman berechnet (SACHS, 1992).

Ergebnisse und Diskussion

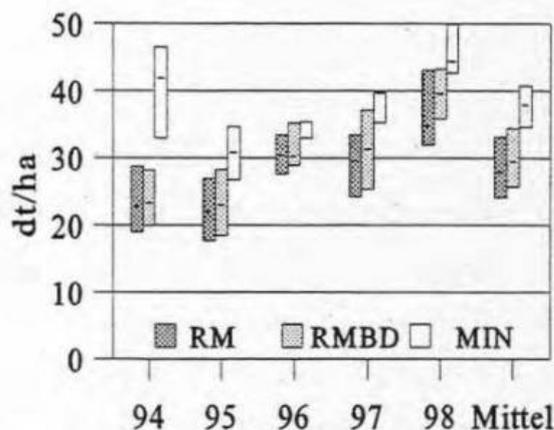


Abb. 1: Kernertrag (dt/ha) der niedrigen, mittleren und hohen Düngung (unteres Balkenende, Strich, oberes Balkenende)

Die Kernerträge schwankten von Jahr zu Jahr sehr stark (Abb. 1). Neben den jährlich wechselnden Witterungsbedingungen waren dafür sicher die Wahl der Sorte und des Saattermins verantwortlich. Die Mineraldüngung brachte in jedem Jahr (abgesehen von 96) signifikant höhere Erträge als die Rottemist-Düngung; die Differenz war jedoch in den Jahren mit früher Saat geringer. Durch frühe Aussaat erhöhte sich vor allem bei organischer Düngung der Ertrag deutlich. Die Anzahl der Ähren je m² war bei Mistdüngung in vier von fünf Jahren deutlich geringer als bei Mineraldüngung (Tab. 2). Feldaufgang und Tausendkorngewicht zeigten keine einheitlichen, düngungsbedingten Unterschiede. Das Erntedatum lag in allen Jahren in der letzten Juli- oder ersten Augustwoche (Tab. 1). Die Septembersaat hat also zu einer effektiven Verlängerung der Vegetationsdauer geführt. Zwischen der Länge der Wachstumszeit und der Ertragshöhe bestand nur bei organischer Düngung eine sichere, positive Korrelation (Tab. 3). Für den Ertrag der Mineraldüngerpflanzen war die Wachstumsdauer ohne Bedeutung. Bei später Saat war für alle Düngungsarten das Tausendkorngewicht eine sehr wichtige Ertragskomponente. Bei früher Saat kam es dagegen auf eine große Anzahl Ähren an. Diese Korrelation ist jedoch nur für die Rottemistvarianten abzusichern. Bodenuntersuchungen in früheren Jahren haben bei Mistdüngung höhere Werte für organische Substanz, mikrobielle Biomasse und Enzymaktivität als bei Mineraldüngung ergeben (BACHINGER,

nämlich 60, 100 bzw. 140 kg N/ha. In der vierfeldrigen Fruchtfolge steht Roggen nach Kartoffeln. Daten zur Aussaat und Ernte sind Tab. 1 zu entnehmen. Die Bestandesdichte wurde in EC 21 (Pflanzen/m²) und EC 71 (Ähren/m²) ausgewertet. Kernertrag und Tausendkorngewicht wurden mit ge-

Tab. 2: Ertragskomponenten in Abhängigkeit von der Düngung

	RM	RMBD	MIN	niedrig	mittel	hoch
Pflanzen · m⁻²						
1994	418 a	422 a	440 b	428	429	423
1995	391 a	398 ab	409 b	407	394	396
1996	238	239	246	243	238	241
1997	251 b	233 a	233 a	239	241	236
1998	199	195	207	203	198	199
Mittel	299	297	307	304	300	299
Pflanzen pro keimf. Samen (%)						
1994	90 a	91 a	95 b	92	92	91
1995	89 a	90 ab	93 b	92	90	90
1996	88	89	91	90	88	89
1997	100 b	93 a	93 a	96	96	95
1998	70 ab	68 a	73 b	71	70	70
Mittel	87	86	89	88	87	87
Ähren · m⁻²						
1994	359 a	362 a	405 b	378	375	373
1995	346	359	370	361	358	356
1996	391 a	390 a	482 b	382 a	415 b	466 c
1997	280 a	282 a	350 b	279 a	296 a	336 b
1998	330 a	312 a	379 b	329	332	259
Mittel	341 a	341 a	397 b	346	355	378
Tausendkorngewicht (g)						
1994	30,1 a	30,3 a	32,5 b	30,0 a	30,9 b	32,0 c
1995	30,9	31,0	31,4	30,9	31,1	31,3
1996	28,5 b	29,1 b	26,4 a	29,4 c	27,8 b	26,8 a
1997	31,6 ab	32,3 b	31,1 a	31,6	31,8	31,6
1998	28,4	28,6	27,6	28,4	27,9	28,3
Mittel	29,9	30,3	29,8	30,0	29,9	30,0

* Mittelwerte eines Versuchsfaktors und Jahres mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

Gestaltung der übrigen Anbaumaßnahmen. Langzeit-Versuche können dabei helfen, die passenden Wirkungsbedingungen für jede Düngungsart auf dem Hintergrund verschiedener Jahreswitterungsverhältnisse herauszufinden.

1996). Die stärkere Ausprägung bodenbiologischer Parameter bei organischer Düngung wird in der Literatur bestätigt (ASMUS, 1992; ASMUS et al., 1987; GARZ & STUMPE, 1992; KÄTTERER & ANDRÉN, 1999; NEMÉTH & TÓTH, 1992). Dabei wurden in manchen Fällen alleinige organische Düngung und in anderen Fällen kombinierte organisch-mineralische Düngung mit Mineraldüngung verglichen. Positive Effekte der organischen Düngung auf Ertrag und Ertragskomponenten von Getreide, wie sie von GÖRLITZ (1986), GÖRLITZ & ASMUS (1984) und SCHNIEDER (1984) berichtet werden, konnten allerdings in unserem Versuch mit Roggen nicht beobachtet werden. Unsere Ergebnisse weisen vielmehr darauf hin, daß die Erfolge der Düngung eng verbunden sind mit der passenden

Tab. 3: Korrelationskoeffizienten zwischen Ertrag (Y1) und Ertragskomponenten (Y2)

Periode	Parameter Y ₂	Korrelationskoeffizient r _s		
		RM	RMBD	MIN
94-98	Länge der Wachstumszeit	0,437 **	0,427 **	0,091
94+95	Pflanzendichte im Herbst	-0,076	-0,363	0,458 *
	Anzahl Ähren · m ⁻²	0,166	-0,430	0,346
	Tausendkorngewicht	0,618 **	0,634 **	0,669 **
96-98	Pflanzendichte im Herbst	-0,617 **	-0,295	-0,562 **
	Anzahl Ähren · m ⁻²	0,466 **	0,407 *	-0,062
	Tausendkorngewicht	-0,230	-0,084	0,149

Literatur

- ASMUS, F. (1992): Einfluß organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. In: Berichte über Landwirtschaft, 206. Sonderheft; 127-139
- ASMUS, F.; KITTELMANN, G.; GÖRLITZ, H. (1987): Einfluß langjähriger organischer Düngung auf physikalische Eigenschaften einer Tieflehm-Fahlerde. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. **31**, 41-46
- BACHINGER, J. (1996): Der Einfluß unterschiedlicher Düngungsarten (mineralisch, organisch, biologisch-dynamisch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und -mikrobiologischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Winterroggen. Diss. Univ. Gießen. Schriftenreihe Bd. 7, Inst. f. biol.-dyn. Forschung, Darmstadt
- COCHRAN, W.G. (1939): Long-term agricultural experiments. Suppl. J. Roy. Stat. Soc. **6**, 104-148
- GARZ, J.; STUMPE, H. (1992): Der von JULIUS KÜHN begründete Versuch "Ewiger Roggenbau" in Halle nach 11 Jahrzehnten. Kühn-Arch. **86**, 1-8
- GÖRLITZ, H. (1986): Untersuchungen über den Einfluß der Humusversorgung des Bodens auf die Komponenten der Ertragsstruktur und den Ertrag. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin, Nr. 248, 115-124
- GÖRLITZ, H.; ASMUS, F. (1984): Einfluß des Humusgehaltes und Nachwirkung der organischen Düngung auf das Niveau des Getreideertrages auf sandigen Böden. Tag.-Ber. Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, Berlin Nr. 219, 179-186
- KÄTTERER, Th.; ANDRÉN, O. (1999): Long-term agricultural field experiments in Northern Europe: analysis of the influence of management on soil carbon stocks using the ICBM model. Agric., Ecosyst. and Environm. **72**, 165-179
- LEŽOVIČ, P. (1998): Beitrag zur Methodik der Dauerfeldversuche. Diss. Univ. Halle-Wittenberg
- NEMÉTH, I.; TÓTH, B. (1992): Die Wirkung von Stallmist und Mineraldüngung auf den Pflanzenertrag und auf die biologische Aktivität des Bodens in einem 31jährigen Dauerversuch in Keszthely. Symp. Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik, Bad Lauchstädt, 9.-12.6.92; hrsg. v. UFZ Leipzig-Halle; 148-153
- SACHS, L. (1992): Angewandte Statistik. 7. Aufl.; Springer-V.
- SCHNIEDER, E. (1984): Untersuchungen über den Einfluß unterschiedlicher Humusgehalte auf den Pflanzenertrag eines Sandbodens. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd. **28**, 59-66

Utilization of bio-resource flow models of integrated farming system as holistic approach to sustain good soil health and eco-friendly environment for future agricultural development

Yadvika¹; Singh, D. P.² and Singh, K. P.²

¹ Department of Environmental Sciences and Engineering,
Guru Jambheshwar University, Hisar – 125 001, Haryana (India)

² Department of Agronomy, CCS Haryana Agricultural University,
Hisar – 125 004, Haryana (India)

Introduction

Long term fertilizer experiments established in India during 1970-71 indicated a declining trend in the productivity of rice and wheat in both rice-rice and rice-wheat systems over the years even under recommended doses of NPK fertilizers. The situation is far greater alarming in other arable cropping systems where a large number of resource poor farmers are operating fragmented small holdings under fragile and harsher environments. No doubt, the integrated use of organic manures and chemical fertilizers provided stability in rice-wheat and other cropping systems. But the basic question arises that from where and how to generate the adequate organic matter and viable facilities for recycling of organic and other wastes as well as supply of other inputs/commodities not only to maintain good soil health and quality environment but also to provide quality food, employment and higher returns to the farmers on long term basis in different agro-ecosystems. The solution lies in integrated farming system management which is holistic, productive and profitable as it encourages habitat conservation and utilizes wastes as input in other enterprises within the farm. According to Swaminathan (1996), the transmission from green to evergreen revolution can be achieved by shifting the focus from the factor oriented to integrated resource management, and from a purely commodity control approach to an integrated farming system one. This paper is aimed to report and discuss a few successful bio-resource flow models of farming system which integrate the main and complementary enterprises suited to different agro-ecological and socio-economic settings of developing countries.

2. CONSIDERATIONS AND STRATEGIES

2.1 Population growth and cultivable land area

The population in most of the tropical developing countries is increasing by leaps and bounds while per capita availability of cultivated area is progressively decreasing. According to FAO, over 800 million people currently lack adequate food. By 2025 AD, the food requirements of an additional 3 billion people need to be met. Hidden hunger, such as protein and micro-nutrients deficiencies, are expected to become increasingly serious, particularly for women and children.

India with 2.2% of the global geographical area supports about 15% of the total human and livestock population of the world. However, per capita availability of land for producing agricultural commodities has declined from 0.48 ha in 1951 to about 0.20 ha in 1981 and it is expected to decline further to about 0.15 ha by 2000 AD and 0.09 ha by 2050 AD. This situation warrants to maintain good soil health and other resource base to produce more quality food from less and less land for the survival of the mankind and other biotic population.

2.2 Agro-chemical based agriculture and environment.

The development of agriculture since 1950 largely occurred because of increased use of fertilizers, agro-chemicals and high yielding varieties in the favourable environments. In the past, these efforts have been efficient and led to increase in both crop and livestock production. Since the direct effects of the fossil fuel energy and product on agricultural production were so powerful, reliable and dramatic, little attention was paid to the resource base, environment and complex network of interactions operating in agricultural eco-system. World wide an estimated 2.5 billion kg of pesticide is applied to agriculture. Yet, less than 0.1% of this pesticide reaches the target pest, with the remainder negatively affecting humans, livestock and natural biota. The indiscriminate use of agro-chemicals has not only halted further yield improvement but also resulted in over-exploitation of land and water resources, deforestation and degradation of environment. By and large, the benefits of high input modern technology have been predominantly confined to favourable farming situations. But, the low productivity on small, fragmented land holdings, located in harsher and problematic environment calls for an alternative pathway for ameliorating the situation to benefit a large number of farm families with out deteriorating the soil health and environment.

2.3 Integrated farming system's (IFS) approach

Agriculture development is no more a commodity or crop oriented programme. Farming system as a concept takes into account the components of soil, water, crop, livestock, labour and other resources with the farm family at the center managing agricultural and other related non-farming activities. The farm family functions within the limitations of its capability and resources, the socio-cultural settings and interaction of these components with bio-physical and economic factors. In farming systems approach, the major emphasis is given to develop broad based packages of technology for main and complimentary enterprises to meet diverse requirements of the farm household. Optimum integration of various farm enterprises on a farm ensures regular employment and growth in productivity and profitability, while preserving resource base and maintaining high quality environment. Since last two decades in several developing countries, the research efforts are being reoriented from crop commodity to cropping systems and integrated farming system's approach to cover several main and complementary enterprises under various agro-ecological situations (Jayanti *et. al*, 1994; Reijntjes *et. al*, 1996; Singh, 1998a).

3. Bioresource flow models

Bio-resource flow models integrating several enterprises have been developed for small house hold which are profitable, productive, employment generating, eco-friendly and add to security. These are briefly mentioned here :

- The bio-resource flow models developed and operated by the farmers in Vietnam integrated the different farm enterprises (Rice, vegetables, agroforestry, fisheries, livestock) to exploit land and water resources and to substitute for external inputs (Lightfoot, 1990; Reijntjes *et. al*, 1996).
- In Malawi, bio-resource flow model has integrated the fish ponds with other farm enterprises (Lightfoot, 1990). The pond water is fertilized with residues of fruits and vegetables and manure from cattle, sheep and goats. Apart from fish, other outputs from the pond are fertilized sediments for the vegetable and horticulture gardens and water for irrigation.
- Jayanti *et. al* (1994) from TNAU Coimbatore (India) reported that integration of poultry with 20 birds bapkok layers, fisheries with 300 fingerlings of polyculture and oyster mushroom with a production capacity of 2 Kg per day with improved rice based cropping was most appropriate model for 0.25 hectare low land farming. Improved system of integrated cropping, poultry, fishery and mushroom fetched about double income as compared to conventional system of cropping. In this system, poultry shed erected over the fish pond provided food for fish from poultry droppings and pond sediments were utilized as manure for rice crop. This system generated more than two fold returns and 453 additional man days per annum over arable farming.
- The CCS Haryana Agricultural University, Hisar (India) has been pioneer institute in developing suitable and most remunerative integrated farming system models for different agro-climatic tracts of Haryana. On one hectare canal irrigated land, mixed farming of three crossbred cows along with crop production was more productive, profitable, employment generating and efficient in resource use efficiency than arable farming (Singh,1994; Singh *et.al*, 1998a). To meet the fodder and feed requirements of mixed farming on 1 ha irrigated holding, about 55 to 65% area should be under fodder crops and rest under grain crops. The farm yard manure available from the system could effect 25 to 30% saving in chemical fertilizers. The net income and generation of employment were 2 to 3 times higher in mixed farming than arable farming. One of the most important advantage of integration of various enterprises on small and marginal holdings have been that it helped in better utilization of family labour and recycling of various farm products, residues and wastes. Plenty of wastes and residues are available in such farming systems for utilizing as manure, feed and fodder.

- Under dry land conditions of arid zone of South Haryana (India), an unit of 15 goats gave higher net returns over the years as compared to an unit of 15 sheeps, mixed farming of two Haryana cows or ariable farming (Singh, 1994). Also excellent work has been done at a few places on integrated watershed management for over all rural development (Singh *et al*, 1998a).

There exists a great possibility to prepare an excellent vermicompost by recycling of cowdung and crop residues through well designed biotechnology facilitated by earthworms. Vermi-compost has been reported to contain large number of nitrogen fixing, phosphate solubilizing bacteria and other beneficial microbes, antibiotics, vitamins, hormones, enzymes etc. which have favourable effects on growth and yield of crops and other plants (Bhawalkar, 1992). The recent results suggest that application of 7.5 to 10 t ha⁻¹ of vermi-compost saved 20-50 kg N, 60 kg P₂O₅ and 25 kg zinc sulphate and thus reduced the dose of chemical fertilizers (Singh *et al*, 1998b).

Conclusions

Indian farmers are raising crops and livestock together for centuries and for them livestock has been an integral part of the system. This is also true for peasantry in other developing and developed countries. Recently, a few bio-resource flow models of integrated farming systems have been developed for small households for irrigated and low land farming situations in developing countries. These are productive, profitable, employment generating and eco-friendly. They facilitate recycling of products within the system to improve resource base and environment. Some countries are also attempting to shift agriculture from intensive agro-chemical based to organic farming which is a biologically healthy and ecologically stable basis. However, these issues need radical thinking by using the frontier technologies and modern methods, keeping in view the increasing pressure of galloping population to produce more food on less and less land and other resources available in developing countries.

Referances

- Bhawalkar, U.S. 1992. Chemical farming to natural farming : A quick change over without loss of yield. Proc. Nat.Semi.Natural Farming (eds.). L.L. Somani, K.b.Tatawat and B.L.Baser. Rajasthan College Agric. Udaipur, India : 79-88.
- Jayanti, C. Rangasamy, A., Chinnusamy, C., Purushothaman, S. and Palaniappan, S.P. 1994. Sustainable Integrated Farming System. Indian J. Agron., 39 : 1-7.
- Lightfoot, C.1990. Integration of aquaculture and agriculture: route to sustainable farming systems. Naga, Jan.1990: 9-12.
- Reijntjes, C., Haverkort, B. and Waters-Bayer, A. 1996. Farming for the future, Macmillan Education Ltd., London. pp 250.
- Singh, D.P., Singh, K.P., and Yadvika 1998a. Integrated Farming System- A key issue for research - education-extension linkages to sustain food security and eco-friendly environment in 21st century First Int. Agron. Cong., Nov. 23-27, 1998, New Delhi, India
- Singh, K.P. 1994. Integrated farming systems approach - concepts and scope. Proc. Nat. Symp. Resource Management and Crop Productivity, 16-18 Feb., 1994, CCS HAU, Hisar, India: 69-85.

- Singh, K.P., Singh Harbir, Rinwa, R.S., Kathuria, M.K. and S.M.Singh. 1998b. Relative efficacy of vermi-compost and some other organic manures integrated with chemical fertilizers in cereal based cropping system. *Haryana J. Agron.* 14: 34-40.
- Swaminathan, M.S. 1996. Crop production and sustainable food security. In : *Crop production and sustainability-Shaping the future* (eds. V.L.Chopra, R.B.Singh and A.Verma), Oxford & IBH Publishing Co. Ltd., New Delhi, India: 3-18.

N-Bilanz in einer Zuckerrüben – Weizen – Gerste - Fruchtfolge bei langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung

Stockfisch, N.; Hoffmann, Ch. und Koch, H.-J.

Institut für Zuckerrübenforschung, Holtenser Landstr. 77, D-37079 Göttingen

Einleitung

Langjährig verminderte Bearbeitungsintensität wirkt vielfältig auf den Boden, unter anderem auf die Bodenstruktur und den Umsatz organischer Substanz. Veränderte Wachstumsbedingungen der Kulturpflanzen, beispielsweise eine unzulängliche N-Versorgung, können die Folge sein (BAEUMER und KÖPKE, 1989).

Ziel dieser Betrachtung der N-Bilanz über zwei Rotationszyklen war es, aufzuzeigen, ob und wie langjährig unterschiedliche Bodenbearbeitungsintensität auf die N-Versorgung der Feldfrüchte wirkt.

Standort und Versuchsanlage

Der Systemversuch Bodenbearbeitung in Harste startete mit der Bodenbearbeitung im Herbst 1992. Bei dem Standort nahe Göttingen handelt es sich um eine Parabraunerde aus Löß. Das Bodenbearbeitungssystem „Pflug“ (jährlich wendend auf 30 cm Tiefe) wird verglichen mit den Systemen der konservierenden Bodenbearbeitung „Locker“ (jährlich auf 30 cm Tiefe gelockert) und „Mulch“ (bearbeitet bis auf 10 cm Tiefe). Zusätzlich gab es in jedem Bearbeitungssystem vier Düngungsstufen (Tab. 1). Der Versuch ist als Spaltanlage mit 4 Wiederholungen angelegt, wobei alle Früchte in jedem Jahr angebaut werden.

Tab. 1: N-Düngermengen zu allen Feldfrüchten

Frucht	Düngermenge [kg N ha ⁻¹]			
	N0	N1	N2	N3
Zwischenfrucht	50	50	50	50
Zuckerrübe	0	50	110	170
Winterweizen	0	110	160	210
Wintergerste	0	80	130	180
∑ Fruchtfolge	50	290	450	610

Eine vereinfachte N-Bilanz wurde aus der Differenz zwischen Düngung und Entzug über eine Rotation berechnet. Weitere Ein- und Auszugsgrößen blieben unberücksichtigt. So wurde die N-Deposition aus der Luft weder gemessen noch abgeschätzt, da diese für alle drei Bearbeitungssysteme gleich gewesen sein dürfte. Verluste durch Bodenabtrag waren sicher bedeutungslos, da die Fläche nur eine schwache Hangneigung aufweist. Ausgewaschen

wurden über Winter vermutlich nur geringe N-Mengen, da vor den Zuckerrüben eine Zwischenfrucht stand und die N_{min} -Mengen im Boden nach der Ernte selten 50 kg N ha⁻¹ überschritten. Als unbekannte, nicht erfaßte Größen verbleiben die nicht-symbiontische N-Fixierung und die Denitri-

fikationsverluste, die sich zudem zwischen den Bearbeitungsvarianten unterschieden haben könnten. Diese Größen sind jedoch nur sehr aufwendig zu erfassen und würden zumindest in den intensiveren Düngungsstufen N2 und N3 deutlich hinter den Bilanzgrößen Düngung und Entzug zurücktreten. Daher scheint es gerechtfertigt, eine einfache N-Bilanz für die Fruchtfolge aus der Differenz zwischen Düngung und Entzug zu erstellen.

Ergebnisse

Die N-Aufnahme unterschied sich deutlich zwischen den Früchten und den applizierten Düngermengen (Abb. 1). In den ungedüngten Flächen (N0) nahmen Zuckerrüben über 100 kg N und Winterweizen um die 90 kg N ha⁻¹ auf. Die N-Aufnahme der Wintergerste lag mit durchschnittlich 64 kg ha⁻¹ wesentlich niedriger. Vermutlich profitierten die Zuckerrüben vom Stickstoff in den Pflanzenresten der Zwischenfrucht und der Winterweizen vom Stickstoff im Rübenblatt.

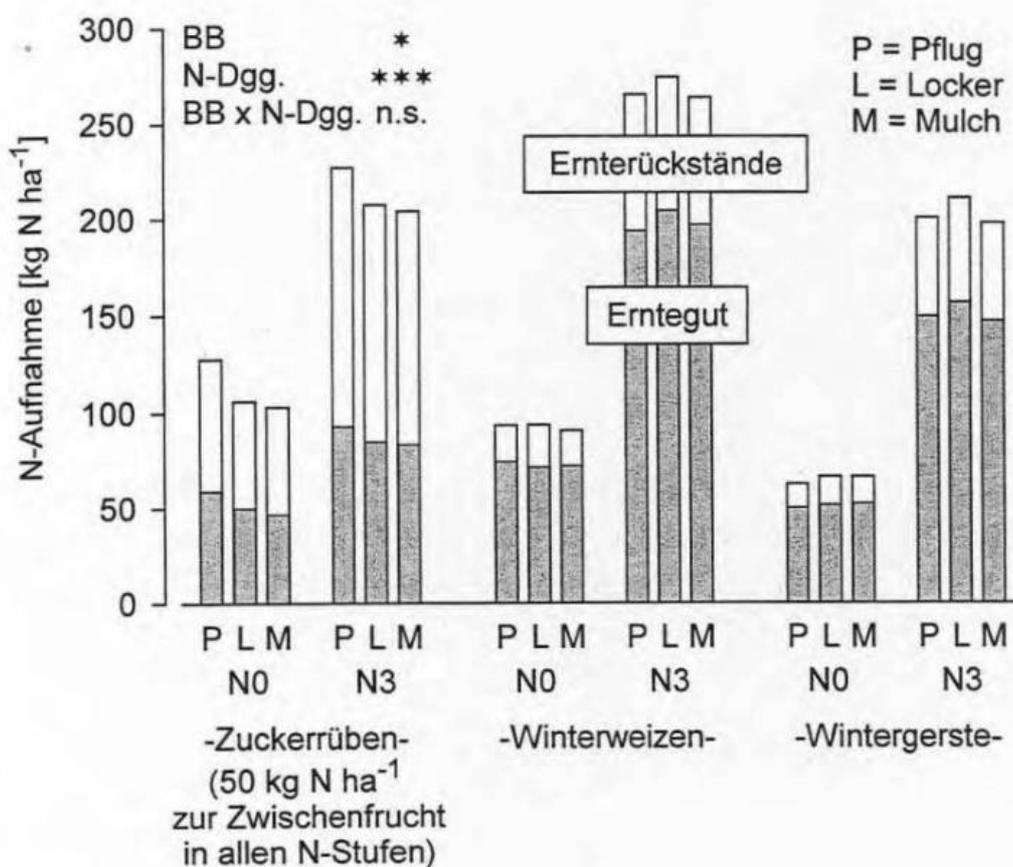


Abb. 1: N-Aufnahme von Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste in drei Bodenbearbeitungssystemen (BB) bei unterschiedlicher N-Düngung (N-Dgg.); Göttingen, Mittel aus 1993 -1998

Unabhängig von der Höhe der N-Düngung war bei Zuckerrüben die N-Aufnahme in den langjährig reduziert bearbeiteten Systemen beeinträchtigt (Abb. 1). Die im Vergleich zu Pflug verminderte N-Aufnahme ging dabei überwiegend auf eine verringerte Trockenmassebildung zurück und kaum auf geringere N-Gehalte in Rübe oder Blatt. Für Winterweizen und Wintergerste konnten keine

Unterschiede in der N-Aufnahme zwischen den Bearbeitungssystemen beobachtet werden. Darüber hinaus glichen sich im Getreide sowohl die Trockenmasseerträge als auch die N-Gehalte in Korn und Stroh.

Wird die N-Bilanz über die gesamte Fruchtfolge für die Bearbeitungssysteme getrennt betrachtet, so treten keine wesentlichen Unterschiede zwischen den Systemen auf (Abb. 2). Da die N-Aufnahme in Locker und Mulch tendenziell geringer war als in Pflug, waren die Bilanzen bei reduzierter Bearbeitung in N 0 und N 1 weniger negativ und die Überschüsse in N 2 und N 3 etwas höher als in Pflug. Die Bilanzüberschüsse in N 2 und N 3 gehen nahezu ausschließlich auf Überschüsse nach Zuckerrüben zurück, da bei Zuckerrüben, anders als bei Getreide, mit dem Blatt ein wesentlicher Teil des pflanzengebundenen Stickstoffs auf dem Feld verbleibt.

Eine langjährig ausgeglichene N-Bilanz würde auf den Untersuchungsflächen mit einer Düngung erreicht, die in ihrer Höhe zwischen der N 1- und N 2 - Düngermenge liegt, also mit 350 - 400 kg N ha⁻¹ in der Rotation. Dabei ist zu bedenken, daß in allen Bearbeitungssystemen mit der N 2-Düngermenge bereits der Höchstertrag aller Feldfrüchte realisiert werden konnte.

Geringe Unterschiede in der N-Bilanz zwischen der ersten und der zweiten betrachteten Zeitspanne, also zu Versuchsbeginn und nach 3 Jahren Versuchsdauer, sind auf jahresspezifische Einflüsse zurückzuführen, da sie in allen Bearbeitungssystemen beobachtet wurden (Abb. 2).

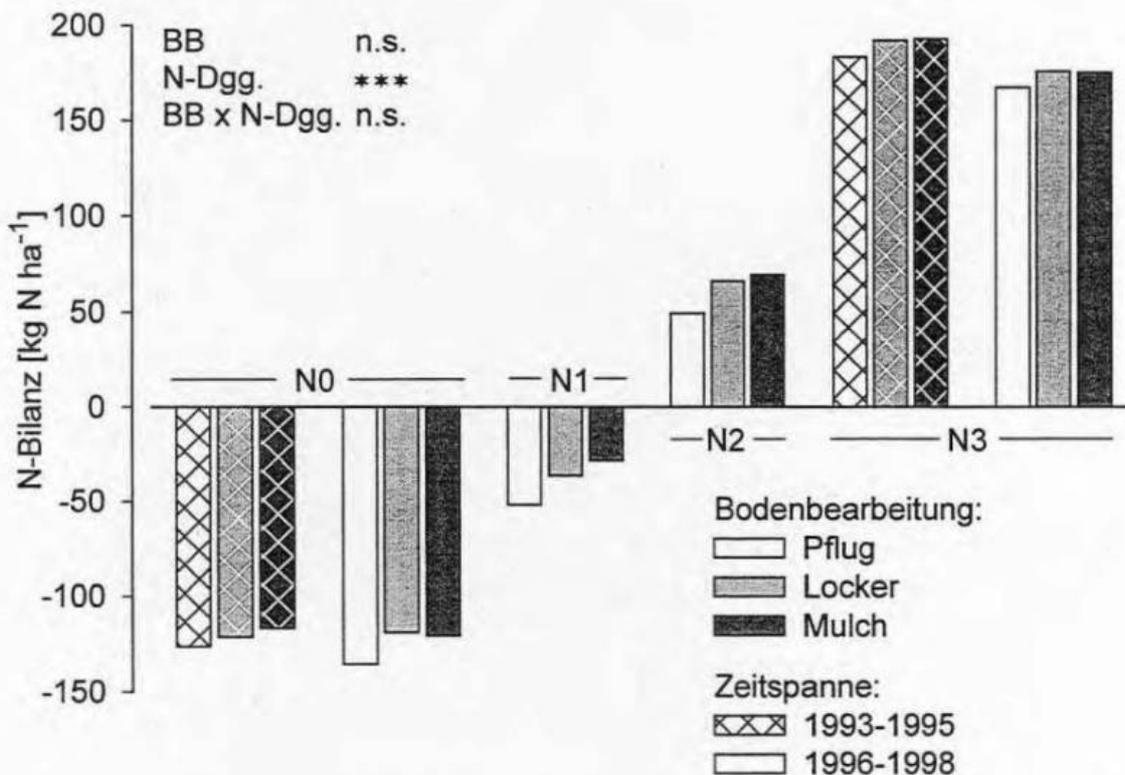


Abb. 2: N-Bilanz (Düngung – Entzug) für die gesamte Fruchtfolge (Zuckerrüben - Winterweizen - Wintergerste) in 3 Bodenbearbeitungssystemen (BB) bei unterschiedlicher N-Düngung (N-Dgg.), Göttingen

Diskussion

Während einer Umstellungsphase nach Beginn einer reduzierten Bearbeitung kann Stickstoff im Boden immobilisiert werden, wodurch das Angebot bodenbürtigen und/oder düngerbürtigen Stickstoffs zumindest zeitweilig für die Früchte eingeschränkt sein kann. Anhand der N-Bilanzen über eine Zeitspanne von 6 Jahren nach Beginn der reduzierten Bearbeitung auf vormals gepflügtem Boden konnte jedoch eine verringerte N-Versorgung der Früchte aufgrund eines mangelnden N-Angebotes nicht beobachtet werden. Diese Ergebnisse bestätigen die Untersuchungen anderer Arbeiten auf diesem Standort, wonach sich in Mulch lediglich die Tiefenverteilung der N-Mineralisation im Bodenprofil von der in Pflug unterscheidet (HOFFMANN et al., 1996). Dieses wirkte sich jedoch nicht auf die N-Versorgung der Feldfrüchte aus (HOFFMANN, 1996; HOFFMANN und KOCH, 1998).

Die Unterschiede in der Bilanz zwischen den Bearbeitungssystemen sind nahezu ausschließlich auf die N-Aufnahme der Zuckerrüben zurückzuführen und diese wiederum auf die verminderte Trockenmassebildung der Zuckerrüben. Diese Unterschiede blieben auch bei hoher N-Düngung erhalten und lassen sich damit durch eine erhöhte N-Düngung nicht ausgleichen (vergl. HOFFMANN, 1996). Die Ursachen für die verringerte Trockenmassebildung der Zuckerrüben müssen daher in der langjährig reduzierten Bodenbearbeitung und den damit verbundenen Veränderungen im Boden liegen, nicht jedoch in der N-Versorgung der Zuckerrüben.

Schlußfolgerung

Es traten weder bei der N-Aufnahme noch bei der N-Bilanz Wechselwirkungen zwischen Bodenbearbeitung und N-Düngung auf. Daher muß die N-Düngestrategie nach einer Umstellung auf reduzierte Bearbeitung nicht verändert werden.

Literatur

- BAEUMER, K. und KÖPKE, U. (1989): Effects of nitrogen fertilization. In: Baeumer, K. und Ehlers, W. (Hrsg.): Energy Saving by Reduced Tillage. Brüssel, Luxemburg, 145-162.
- HOFFMANN, C. (1996): Wirkung mehrjährig pflugloser Bodenbearbeitung auf die N-Dynamik im Boden und den Ertrag von Zuckerrüben. *Zuckerind.* 121, 616-622.
- HOFFMANN, C. und KOCH, H.-J. (1998): Einfluß reduzierter Bodenbearbeitung auf Ertrag und N-Aufnahme von Weizen und Gerste bei unterschiedlicher N-Düngung. *Pflanzenbauwissenschaften* 2, 69-75.
- HOFFMANN, C., LINDÉN, S. und KOCH, H.-J. (1996): Influence of Soil Tillage on Net N-Mineralization under Sugar Beet. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 159, 79-85.

Kurz- und Langzeiteffekte differenzierter ackerbaulicher Nutzung sandiger Böden auf die Emission klimarelevanter Spurengase (N₂O, CH₄)

Augustin, J.¹ und Rogasik, J.²

¹ Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung e. V. (ZALF),
Eberswalder Str. 84, D-16374 Müncheberg

² Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

1. Einleitung

Intensiv landwirtschaftlich genutzte Böden stellen eine der wichtigsten Quellen und Senken für die eng mit dem C- und N-Kreislauf verbundenen klimarelevanten Spurengase Kohlendioxid, Lachgas und Methan dar. Nach neueren Abschätzungen soll die Landnutzung global zu ca. 15 % am anthropogen bedingten Treibhauseffekt, d. h. der verstärkten Emission klimarelevanter Spurengase beteiligt sein (ENQUETE-KOMMISSION, 1994). Inzwischen kann als gesichert gelten, daß die Erzeugung und Freisetzung dieser Treibhausgase auf ackerbaulich genutzten Standorten immer stärker vom agronomischen Management (Fruchtfolgegestaltung, Düngung und Bodenbearbeitung) beeinflusst wird (LAL et al., 1995; WATSON et al., 1996). Obgleich sandige Böden aufgrund ihrer guten Durchlüftung generell eine höhere Intensität der C- und N-Umsetzungsprozesse als die übrigen Mineralböden aufweisen, ist über ihre Rolle als Quelle oder Senke speziell von Lachgas (N₂O), und Methan (CH₄) nur wenig bekannt. Das betrifft vor allem die Wirkung der ackerbaulichen Nutzung dieser Böden auf die Emission von Treibhausgasen.

Im Rahmen längerfristiger Untersuchungen sollte deshalb der Einfluß verschiedener Formen der Bodenbearbeitung und der Intensität der N-Düngung auf die Freisetzung von Lachgas und Methan aus einem typischen sandigen Ackerbaustandort der norddeutschen Jungmoränenlandschaft ermittelt werden.

2. Material und Methoden

Die Untersuchungen zur Spurengasfreisetzung erfolgten auf Dauerfeldversuchen (vierfaktorielle Streifen-Spalanlage) des Standortes Müncheberg (Ostbrandenburg, Bodenart: lehmiger Sand, Bodenform: Bänderparabraunerde, FAO - Bodenklassifikation Cambic Arenosol, Ackerzahl: 30). Es wurden kurzfristige (2 Jahre) und langfristige Effekte (20 Jahre) differenzierter Bodenbearbeitung (konventionell: Pflug, konservierend: ohne Pflug, mit Herbizideinsatz) und mineral.-organischer Düngung (intensiv: 124 kg Mineral-N und 3,2 t organischer Dünger per ha und Jahr im Fruchtfolge-mittel, extensiv: 71 kg Mineral-N und 1,2 t organischer Dünger pro ha und Jahr im Fruchtfolge-mittel) miteinander verglichen. Zur Messung der Gasemissionen wurden jeweils repräsentative Areale auf den Parzellen des Dauerversuches das ganze Jahr hindurch regelmäßig für eine kurze Zeit (ca. 1 Stunde) mit gasdichten Sammelhauben abgedeckt (weißes PVC, Durchmesser 50 cm, Volumen 65 oder 165 l). Zu Beginn und zu Ende der Meßzeit erfolgte mit Hilfe vorher evakuierter Glasflaschen (100 ml) die Entnahme von Gasproben aus den Sammelhauben. Im Anschluß daran wurden die Gasproben unter Verwendung eines automatischen, gaschromatografischen Systems (Detektoren: ECD und FID) auf ihren Gehalt an Lachgas und Methan untersucht (LOFTFIELD et al., 1997). Die Emissionsraten ließen sich aus der Veränderung der Spurengaskonzentrationen in den Gassammelhauben im Verlauf der Meßzeit unter Bezugnahme auf Haubenvolumen und -grundfläche berechnen (HUTCHINSON & LIVINGSTON, 1993).

3. Ergebnisse und Diskussion

Verglichen mit anderen europäischen Ackerbaustandorten (DOBBIE et al., 1996) konnten relativ hohe Methanaufnahmen ermittelt werden (Abb. 1). Dies ist vermutlich auf die geringe Limitierung der Methanaufnahme in sandigen Böden zurückzuführen (STRIEGL, 1993). Als besonders überraschend ist die nach 20jähriger Versuchsdauer eingetretene Förderung der Methanaufnahme durch hohe N-Düngung in Verbindung mit konventioneller Bodenbearbeitung anzusehen. Dies steht im Gegensatz zu der von HÜTSCH (1998) ermittelten Hemmung der Methanaufnahme als Folge dieser

Faktorenkombination. Mit hoher Wahrscheinlichkeit sind diese Diskrepanzen sowohl auf die stark differierenden Standortverhältnisse als auch auf die unterschiedliche Laufzeit der jeweils betrachteten Feldversuche zurückzuführen.

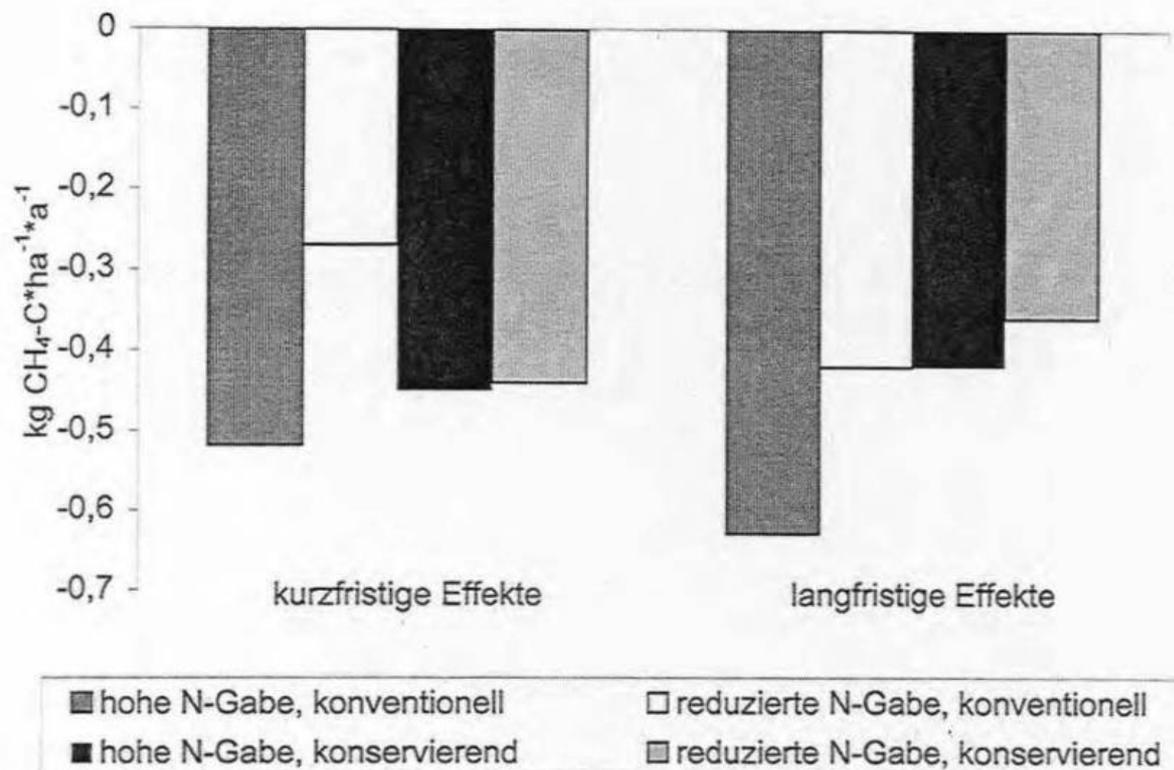


Abbildung 1: Einfluß von Bodenbearbeitung und N-Düngung auf die aktuelle jährliche Methanaufnahmerate durch den Boden in verschiedenen kurz- und längerfristigen Feldversuchen der Jahre 1996 bis 1998

Im Fall des Lachgases fungierte der untersuchte Standort generell als Quelle (Tab. 1), die jedoch im Vergleich zu ackerbaulich genutzten, lehmigen und tonigen Standorten Deutschlands nur sehr schwach ausgeprägt war (KILIAN et al., 1998; KAISER et al., 1998). Ungeachtet dessen bestimmte auch hier die Höhe der N-Düngergaben maßgeblich den Umfang der Emissionsraten (Tab. 1). Darüber hinaus ließ sich in allen Versuchen ein komplexes Reaktionsmuster der Lachgasemission in Abhängigkeit von Laufzeit der Feldversuche, Bodenbearbeitung und N-Düngung feststellen (Abb. 2):

Kurzeiteffekte Bei hoher N-Düngung bewirkt die konventionelle Bodenbearbeitung höchste Emissionswerte, bei allen Varianten der reduzierten Bodenbearbeitung treten dagegen sehr geringe Emissionsraten auf.

Langzeiteffekte Unabhängig von der Intensität der Bodenbearbeitung werden auf allen Varianten mit hoher N-Düngung auch entsprechend hohe Lachgasemissionen festgestellt

Ursache für die geringe Lachgasfreisetzung auf den erst seit kurzer Zeit reduziert bearbeiteten Parzellen dürfte der infolge intensiverer N-Immobilisierung verringerte Gehalt an verfügbarem anorganischen N im Boden sein (Daten nicht dargestellt). Längerfristig scheint sich aber wieder ein neues Gleichgewichtsverhältnis zwischen N-Mineralisierung und N-Immobilisierung mit der Folge einstellen, daß dann wieder mehr anorganischer Stickstoff für die Bildung gasförmiger N-Verbindungen zur Verfügung steht (LIEPIEC und STEPNIEWSKI, 1995).

Tabelle 1: Einfluß von Bodenbearbeitung (BB) und N-Düngung auf die aktuelle jährliche Lachgasemissionsrate in verschiedenen kurz- und längerfristigen Feldversuchen der Jahre 1996 bis 1998

Experiment	N-Variante	N ₂ O-Emissionen (kg · ha ⁻¹ · a ⁻¹ N ₂ O-N)	
		konventionelle BB	konservierende BB
kurzfristige Effekte			
Mais	191 kg · a ⁻¹ N	3,1	1,8
Mais	161 kg · a ⁻¹ N	2,5	2,0
Winterroggen	105 kg · a ⁻¹ N	0,6	0,1
Winterroggen	70 kg · a ⁻¹ N	0,4	0,2
langfristige Effekte			
Mais	150 kg · a ⁻¹ N	1,5	1,7
Mais	90 kg · a ⁻¹ N	0,9	1,0
Triticale	120 kg · a ⁻¹ N	1,0	1,2
Triticale	70 kg · a ⁻¹ N	0,7	0,2

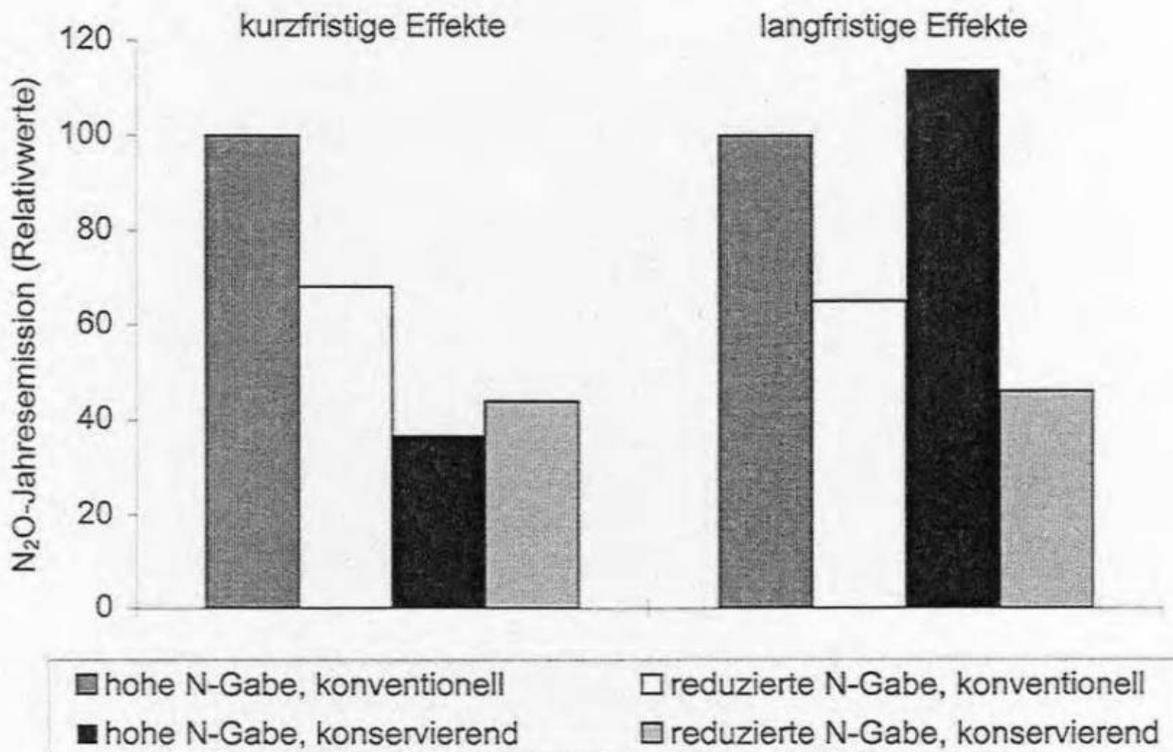


Abbildung 2: Einfluß von Bodenbearbeitung und N-Düngung auf die Lachgasemission im kurz- und im langfristigen Feldversuch (gemittelte Relativwerte aus den Einzelerperimenten der Tab. 1, Angaben jeweils bezogen auf die Variante hohe N-Gabe + konventionelle Bodenbearbeitung)

Insgesamt lassen sich aus den Untersuchungen zur Emission klimarelevanter Spurengase auf sandigen Ackerbaustandorten folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Als Quelle bzw. Senke anthropogen bedingter Emissionen von Treibhausgasen kommt diesen Standorten wahrscheinlich nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Das gilt insbesondere für Lachgas.

- Die konservierende Bodenbearbeitung hat auf sandigen Böden insgesamt offenbar nur einen geringen Einfluß auf den Umfang der Emission klimarelevanter Spurengase. Wesentlich stärkere Wirkungen gehen diesbezüglich von der Intensität der N-Düngung aus.
- Abschließende Aussagen zur Relevanz konservierend bearbeiteter Sandböden als Quelle und Senke anthropogen bedingter Emissionen von Treibhausgasen sind auch hier erst nach der Durchführung längerfristiger Untersuchungen, speziell von Langzeit-Gasflußmessungen, möglich.

Literatur

DOBBIE, K. E., SMITH, K. A., PRIME, A., CHRISTENSEN, S., et al., 1996: Effect of land use on the rate of methane uptake by surface soils in Northern Europe. *Atmospheric Environment* 30. 1005-1011.

ENQUETE-KOMMISSION "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages, 1994: Schutz der grünen Erde. Klimaschutz durch umweltgerechte Landwirtschaft und Erhalt der Wälder. Dritter Bericht der Enquete-Kommission. Ecomedia Verlag GmbH, Bonn.

HÜTSCH, B. W., 1998: Tillage and land use effects on methane oxidation rates and their vertical profiles in soil. *Biol fert. Soils* 27: 284-292.

HUTCHINSON, G. L. und LIVINGSTON, G. P., 1993: Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. In: DUXBURY, J. M. et al. (Eds.): *Agricultural ecosystems effects on trace gases and global climate change*. ASA special publication Nr. 55, 1-55, American Soc. of Agronomy, Madison.

KAISER, E.-A., KOHRS, K., KÜCKE, M., et al., 1998: nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and season. *Soil Biology Biochem.* 30: 1553-1563.

KILIAN, A., GUTSER, R., CLAASSEN, N., 1998: N₂O-emissions following long-term organic fertilization at different levels. *Agrobiological Research* 51: 27-36.

LAL, R. KIMBLE, J., LEVINE, E., STEWART, B. A. (Eds.), 1995: *Soil management and greenhouse effect*. Advances in Soil Sci. CRC Lewis Publishers, Boca Raton.

LIPIEC, J., STEPNIIEWSKIE, W. (1995): Effects of soil compaction and tillage systems on uptake and losses of nutrients. *Soil tillage research* 35, 37-52.

LOFTFIELD, N., H. FLESSA, J. AUGUSTIN, BEESE, F. (1997): Automated gas chromatographic system for rapid analysis of the atmospheric trace gases CH₄, CO₂, and N₂O. - *J. Environm. Quality* 26: 560-564.

STRIEGL, R. G., 1993: Diffusional limits to the consumption of atmospheric methane by soils. *Chemosphere* 26: 715-720.

WATSON, R. T. et al. (Eds.), 1996: *Climate change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analysis*. Contribution of working group II to the second assessment report of the IPCC. Cambridge University press, Cambridge.

Transformation of heavy metals in sludge amended soil

Singh, A. and Chand, K.

Department of Soil Science,
CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India 125 004

Introduction

Disposal of sewage sludge and municipal refuse have become a major problem because of measurable quantities of heavy metals and organic compound present in them. The world wide sewage production is estimated to be about 30 m tons of which 70% is disposed on land. Often sewage sludge contain large amounts of potentially toxic heavy metals such as Cd, Ni, Pb etc. alongwith essential nutrients depending upon the type of industrial charging of the domestic waters with their effluents. Frequent use of such materials may lead to accumulation of Cd and Zn in soils in excessive amounts which may cause toxicities to plants. The availability of these metals to plants is governed by the chemical species related to their solubilities. Thus, the knowledge of the metal fractions and their relative amounts in sewage sludge amended soils is essential for the identification and the amelioration of contaminated soils. The present investigation was therefore conducted to study the transformations of Zn and Cd in sandy loam soil amended with sewage sludge.

Materials and methods

A sandy loam soil having pH (1:2) 7.1, EC 0.27 dSm⁻¹, OC 0.76%, CEC 16 cmole kg⁻¹, total Zn 144 mg kg⁻¹ and Cd 2.8 mg kg⁻¹ soil was amended differentially (0, 5, 10% on dry weight basis) with sewage sludge collected from sewer treatment plant Okhla, New Delhi. The pH (1:2), EC (1:2), OC, CEC, total Zn and Cd content of the sludge was 6.35, 1.1 dSm⁻¹, 14%, 34.7 cmole kg⁻¹, 1162 mg kg⁻¹ and 9.86 mg kg⁻¹, respectively. The sludge amended soil was incubated for different periods (1day, 2, 4, 8 weeks) at 20±2°C with varying levels of Zn (0, 0.5, 1, 2 mmole kg⁻¹soil) and Cd (0, 0.25, 0.5, 1 mmole kg⁻¹soil). The moisture was maintained at field capacity. The treatments were completely randomized with three replications. The soil was analyzed sequentially for exchangeable, carbonate, Mn oxide, organic and occluded in amorphous and crystalline iron oxide and residual mineral fractions of Zn and Cd by following the procedure of Singh et al., 1988. The Zn and Cd in the extracts were determined by atomic absorption spectrophotometer.

Results and Discussion

Transformation of Zn: All the fractions of Zn showed an increasing trend with its increasing levels. The exchangeable and residual Zn fractions decreased with increasing sludge application rates at all the incubation periods (Fig. 1). The carbonate, Mn oxide, organic and amorphous Fe oxide bound fractions increased significantly with Zn at all the sludge levels. However, the crystalline Fe oxide

bound Zn remained unaffected due to increasing Zn and sludge levels. The carbonate, organic and amorphous Fe oxide Zn fractions decreased slightly with an increase in the incubation period from 2nd to 8th week. A perusal of the data in Fig. 1a and 1b suggest that a significant quantity of added Zn is transformed to carbonate, organic and Mn oxide bound fractions. Shuman (1988) also observed increased content of Mn oxide bound Zn with increasing OM levels. He attributed it to the large amounts of Fe released from the crystalline Fe oxide fraction by the OM treatment. Mandal et al. (1988) also observed decrease in crystalline Fe oxide bound Zn with applied OM probably due to the mobilization of Zn from this fraction to other fractions as a results of its dissolution under reduced conditions.

Transformation of Cd: A perusal of data in Fig. 2 reveal that all the fractions of Cd except exchangeable and residual increased with increasing Cd at all the sludge levels. All other fractions of Cd except exchangeable and residual showed an increasing trend with increasing sludge rates. The exchangeable and amorphous Fe oxide bound Cd increased with increasing time from 1st day to 2nd week and thereafter decreased with time. On the other hand reverse trend was observed in Mn oxide bound fraction. The carbonate and crystalline Fe bound fractions showed increasing trend up to 2nd week and then decreased up to 4th week and again increased at 8th week. The amount of organically bound fraction also increased up to 4th week. The residual fraction decreased with increasing time. The amount of exchangeable, Mn oxide bound and residual fractions of Cd decreased whereas, carbonate, organic and amorphous Fe oxide fractions increased with the rates of applied sludge. However, the crystalline Fe oxide bound Cd remained almost unaffected due to sludge application rates. Thus it may be inferred from the above results that sewage sludge application may increase the amount organic and carbonate bound fractions of Zn and Cd in the soils. These fractions have been reported to contribute significantly towards the available pool of these metals in the soils.

References

- Mandal, B; Hazard, G.C. and Pal, AK 1988. Transformation of Zn in soils under submerged conditions and its relation with Zn nutrition of rice. *Pl. Soil* 106:121-126
- Shuman, L.M., 1988. Effect of organic matter on the distribution of Mn, Cu, Fe and Zn in soil fractions. *Soil Sci.* 146:192-198.
- Singh, J.P.; Karwasra, S.P.S.; and Singh, M. 1988. Distribution and forms of Cu, Fe, Mn and Zn in calcareous soils of India. *Soil Sci.* 146:359-356.

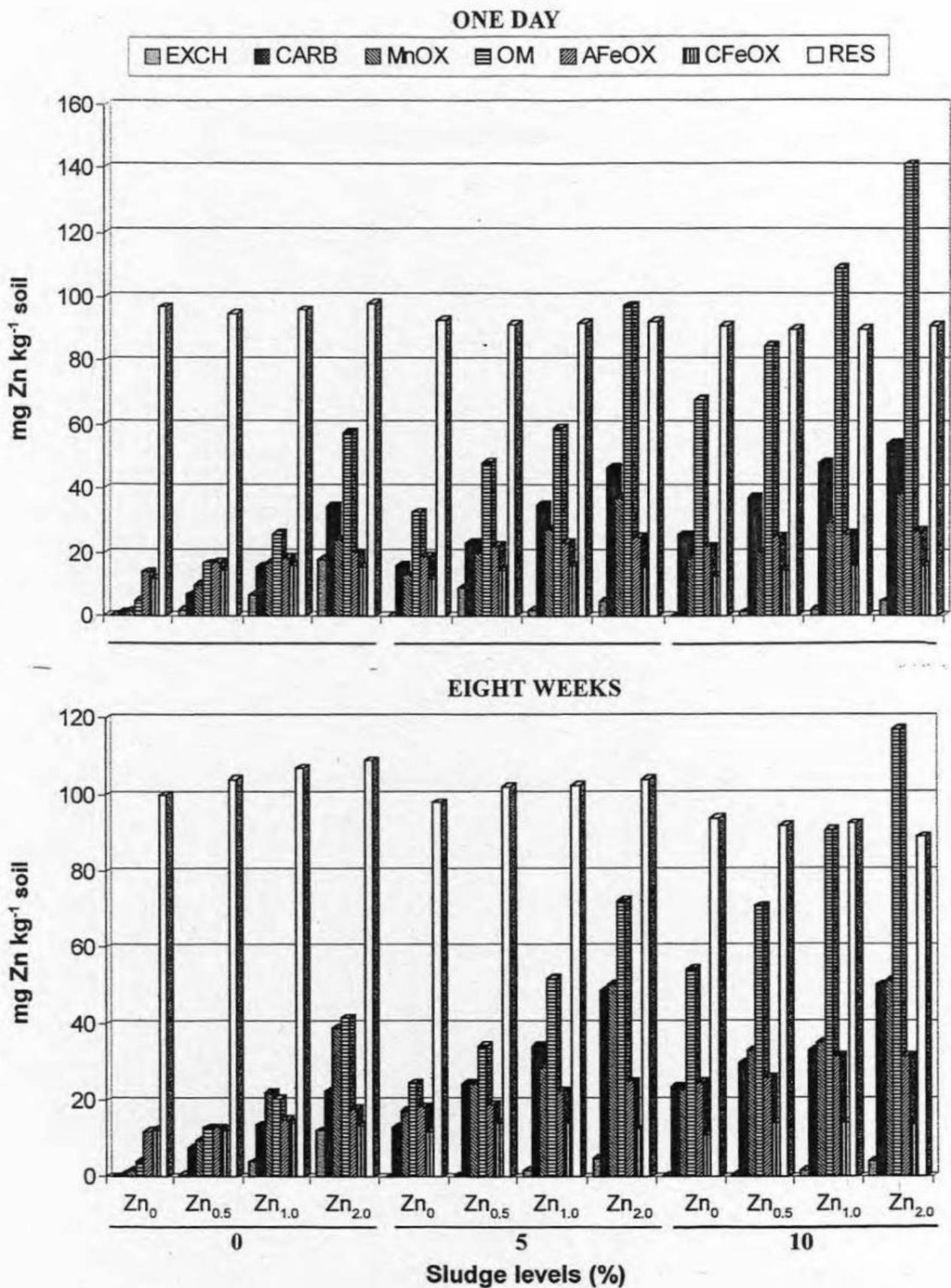


Fig. 1 : Transformation of Zn in sludge amended soil at first day and eight weeks of incubation

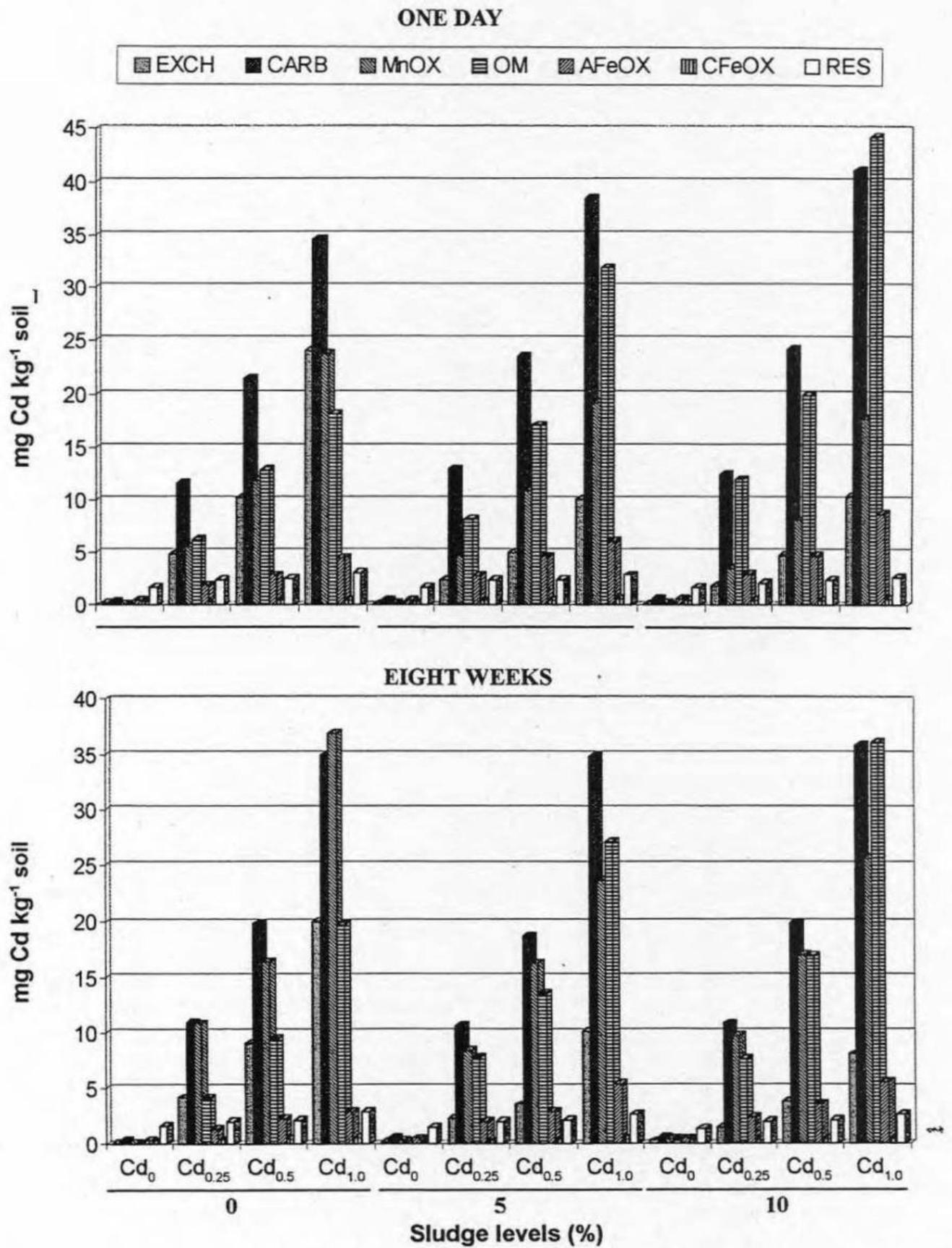


Fig. 2 : Transformation of Cd in sludge amended soil at first day and eight weeks of incubation

(Un-)Möglichkeiten (zur weitgehenden Schließung) von Nährstoffkreisläufen bei nachhaltiger Landnutzung (auch) als Grundlage zur Anlage und Bewertung von Dauerdüngungsversuchen

Isermann, K. und Isermann, R.

Büro für Nachhaltige Land(wirt)schaft und Agrikultur (BNLA),
Heinrich-von-Kleist-Straße 4, D - 67374 Hanhofen

Tel.: (06344) 29 83, Fax: (06344) 93 72 64, e-mail: isermann.bnla@t-online.de

A) Ausgangssituation

Betrachtet man nicht nur sektoral die Landwirtschaft, sondern wie hier im Sinne der Ökobilanz ökosystemar die Landnutzung insgesamt, so schließt diese einerseits den gesamten Komplexbereich „Landwirtschaft / Humanernährung / Abwasser- und Abfallbereich“ ein und andererseits auch dessen (schädliche) Auswirkungen (Versauerung, N- und P-Hypertrophierung, Treibhauseffekt, Zerstörung von stratosphärischem Ozon, Schädigung der Biosphäre) auf die naturnahen Ökosysteme (Umwelt) und entsprechenden Wirtschaftsbereiche (z.B. Forstwirtschaft, (Trink-)Wasserwirtschaft etc.), verursacht durch ihre (in-)direkten Emissionen an reaktiven Verbindungen vorwiegend der Nährstoffe C (CO_2 , CH_4 , DOC), N (N_2O , NO , NO_2 , NH_3 τ NH_4^+ , (lösl.) org. N), P (H_2PO_4^- , (lösl.) org. P) und S (SO_4^{2-} , H_2S , $(\text{CH}_3)_2\text{S}$, COS). Die volkswirtschaftlichen Schäden dieser nichtnachhaltigen Wirtschafts- und Lebensweisen betragen gegenwärtig z.B. in Deutschland jährlich durch entsprechende Umweltschäden des Verursacherbereiches Landwirtschaft 100 Mrd. DM und durch (über-)ernährungs(-mit)bedingte Gesundheitsschäden von ebenfalls 100 Mrd. DM, also insgesamt ca. 200 Mrd. DM.- Insbesondere in den sog. Entwickelten Ländern und somit auch z.B. in Deutschland und in (den anderen Ländern) der EU (15) ist die Nährstoffrücklieferung aus dem o.e. Komplexbereich in die Landwirtschaft und somit ihre Nährstoffeffizienz bei den Nährstoffen C, N und S nur ca. 1% gemessen am ursprünglichen Nährstoff-Input in die Landwirtschaft (Tab. 1). Hierbei beträgt im einzelnen die entsprechende Nährstoffausnutzung in der Landwirtschaft nur ca. 20%, in der Humanernährung <1 % und im Abwasser- und Abfallbereich auch nur 6%. Nach einer vorübergehenden Phase der C-, N- und S-Anreicherung in den Böden der Landwirtschaft führt dies zu entsprechenden o.e. Emissionen in die Umwelt auf 2- bis 8fach zu hohem Niveau. Auch die P-Rücklieferung und -Effizienz betragen im o.e. Komplexbereich z.B. in Deutschland oder Österreich gegenwärtig nur 2 % (Tab. 2) bei einer P-Ausnutzung jeweils in der Landwirtschaft von 57 % bzw. 46%, in der Humanernährung von < 1% und im Abwasser- und Abfallbereich von 17% bzw. 13%. Somit verbleibt P zu 98% in den Böden der Landwirtschaft, in den Deponien sowie in der Hydrosphäre (bes. Sedimenten). Eine Schlüsselrolle kommt hierbei der mit ca. 15% noch viel geringeren C-, N-, P- und S-Verwertung der gemessen am Bedarf der Bevölkerung von ca. 0,10 GV/E'a mehrfach (D: 2fach, EU (15)) : 2,4 (Italien: 1,5 bis Irland: 14) fach, USA: 6fach, Welt: 3fach) zu hohen Tierproduktion und -Konsumtion zu (Isermann und Isermann 1999a). Allein durch technische Maßnahmen kann die C-, N- und S-Effizienz dieses Komplexbereiches von gegenwärtig 1% auf nur 2% gesteigert werden, selbst bei zusätzlichen nachhaltigen Lebens- und Wirtschaftsweisen insgesamt auf „nur“ ca. 20% und bei der Enthaltbarkeit der Vegetarier auf 42% (Tab.1). So steht gegenwärtig dem einwohnerspezifischen Nährstoffgehalt nach dem Ableben (im Sarg) eines Einwohners in Deutschland von 2,25 kg N, 0,43 kg P und 0,15 kg K ein mehr als 1400 bzw. 700 bzw. 4900fach höherer einwohnerspezifischer Nährstoffaufwand während seiner 76jährigen Lebensphase von 3192 kg N, 312 kg P und 737 kg K gegenüber, der aber durch nachhaltige Lebens- und Wirtschaftsweisen mehr als halbiert werden kann (Tab.3). Ohne (illusionären) gänzlichen Verzicht auf Tierproduktion und -Konsumtion (nur Vegetarier) gibt es also im Komplexbereich „Landwirtschaft / Humanernährung / Abwasser- und Abfallwirtschaft“ keinen und wird es auch keinen (weitgehend) geschlossenen C-, N- und S-Kreislauf geben, eingeschränkt auf sorptionsstarken Böden jedoch beim K, wohl aber generell beim P unter weitgehender Ausnutzung des im Boden der Landwirtschaft und im Klärschlamm angereicherten P. Nahezu allein das Niveau der Biomasse- sowie insbesondere der Tier-Produktion und -Konsumtion und nicht deren Nährstoffeffizienz bestimmt also das Ausmaß der C-, N- und S-

sumtion und nicht deren Nährstoffeffizienz bestimmt also das Ausmaß der C-, N- und S-Überschüsse und -Emissionen dieses Komplexbereiches.

B) Für die nunmehr integrierte Bewertung und Anlage von Dauerdüngungsversuchen (DDV) ergeben sich hinsichtlich der Erfordernis einer zukünftig nachhaltigen Landnutzung folgende Schlußfolgerungen:

1. Integrierte Bewertung zukünftig nachhaltig gestalteter DDV:

In Umkehrung der bisherigen Bewertung der DDV ergibt sich nunmehr das optimale (tolerierbare) Ausmaß der Pflanzen- und Tierproduktion mit 1. Priorität aus der notwendigen Unterschreitung der somit nicht weiter vermeidbaren aber tolerierbaren Emissionen des C-, N- P und S entsprechend den jeweiligen kritischen Eintragsraten und -konzentrationen der naturnahen Ökosysteme (ökologisches Kriterium), nachrangig an der damit möglichen bedarfsorientierten Konsumtion nur der einheimischen Bevölkerung (soziales Kriterium) und sodann erst an den (neu zu bewertenden) monetären Ertrags-/Aufwandsbeziehungen (ökonomisches Kriterium) nach Maßgabe dieser ökologischen und sozialen Kriterien. Daraus lassen sich dann auch die bodenkundlichen Anforderungen an die Praxis einer nachhaltigen Landwirtschaft bzw. Landnutzung aus der Sicht des Nährstoffhaushaltes von Tab.4 ableiten (s. hierzu: Vortragsveranstaltung „Bodenkundliche Anforderungen an die gute fachliche Praxis der Landwirtschaft“ der AG Bodenschutz der DBG am 27./28. April 1999 in Leipzig und Isermann und Isermann 1999b). Auf diese Weise ergeben sich z.B. aus den europäischen DDV hinsichtlich eines insgesamt nachhaltigen C-, N-, P- und S- Haushaltes o.e Komplexbereiches maximal vertretbare Viehbesatzdichten von 1,0 (0,6 – 1,2) GV/ versorgbarer LF_B des Einzelbetriebes bzw. in den einzelnen (politischen) Regionen (Ländern) von Deutschland von 0,5 (0,3-0,7) GV / ha versorgbarer LF_R (Tab. 4).

2. Integrierte Anlage zukünftig nachhaltig bewerteter DDV:

Im Gegensatz zur Gestaltung einzelner Düngungsvarianten sollten DDV nicht mehr jeweils nur mit Mineraldünger-, Wirtschaftsdünger – oder Sekundärrohstoffdünger-Einsatz angelegt und bewertet werden. Deren Einsatz sollte unter gleichzeitiger Berücksichtigung atmosphärischer N- und S-Einträge und der im Hinblick auf die erforderliche Bodenfruchtbarkeit und des notwendigen Bodenschutzes als notwendig erachteten C-, N-, P- und S-Netto-Immobilisation / -Mineralisation integriert erfolgen und zwar mit der allgemeinen Zielsetzung im einzelnen bezogen jeweils auf die versorgbare LF bei:

2.1 **Sekundärrohstoffdüngern mit 1. Priorität:** z.B. von einwandfreiem Klärschlamm mit mindestens 0,1 und maximal 0,5 t TS/ha · a (vgl.: KVO: 1,67 t TS/ha·a)

2.2 **Wirtschaftsdüngern mit 2. Priorität:** z.B. von Stallmist und Jauche bzw. Gülle mit Aufwandsmengen entsprechend 1,0 (0,6-1,2) GV/ha LF·a. Düngesysteme ohne Einsatz von Wirtschaftsdüngern können nur noch in solchen Marktfruchtsystemen toleriert werden, deren Pflanzenproduktion den Konsumenten (in-)direkt erreicht (z.B. Brot-, Braugetreide, Zuckerrüben, Raps nicht aber Futtergetreide, da dieses den ebenso nichtnachhaltigen Veredlungsbetrieb verursacht).

2.3 **Mineraldüngern erst mit 3. Priorität:** Entsprechend 1/4 bis max. 1/3 der gesamten erforderlichen N-, P-, K (und S-) Zufuhr/Anlieferung.

C) Literatur

Isermann, K. und R. Isermann (1999a): Eine nachhaltige Tierproduktion in Deutschland, der Europäischen Union und in Polen aus der Sicht des Nährstoffhaushaltes und unter besonderer Berücksichtigung einer zukünftig bedarfsorientierten und gesunden (Protein-)Ernährung der Bevölkerung. Tagungsband zum Workshop „Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung (Umweltbundesamt und Agrartechnik Bornim Humboldt Universität Berlin, im Druck)

Isermann, K. und R. Isermann (1999b): Bodenkundliche Anforderungen an die fachliche Praxis einer nachhaltigen Landnutzung aus der Sicht ihrer Nährstoffhaushalte. Mitteilungen der Bodenkundliche Gesellschaft (im Druck)

Tab. 1: Die Utopie einer weitgehenden Stickstoff-Kreislaufwirtschaft innerhalb des Ökosystems „Landwirtschaft / Humanernährung / Abwasser- und Abfallwirtschaft“ (Isermann 1999)

Territorium	Ökosystembereiche					
	Landwirtschaft		Humanernährung		Abwasser- und Abfallwirtschaft	
	Eintrag/ Anlieferung	Austrag Verkauf	Nahrungs- aufnahme	Ausscheidung	Eintrag (Zulauf)	Klärschlamm-Rückführung in die Landwirtschaft
1. Europäische Union [12] in 1988 (van der Voet et al. 94) a) [Mt N/a] / [kg N/Ea] b) [%]	14,8/43 (100) [100]	3,6 / 11 (23)	2,0 / 5,9 (100)	< 2,0 / < 5,9 (99,4)	>2,0/ <5,9 (100)	0,154 / 0,5 (6) [1]
2. Deutschland 2.1 Ist 1985/96 a) kg N/ ha LF a / [kg N/Ea] b) [%]	198 / 42 (100) (100) [100]	44 / 9 (23)	23 / 4,9 (100) (176)	< 23 / 4,9 (99,4)	<23/ < 4,9 (100)	1,3 / 0,4 (6) [< 1]
2.2 Szenarien: 2.2.1 Nur technische Effizienzverbesserung a) kg N/ ha LF a / [kg N/Ea] b) [%]	150 / 32 (100) (76) [100]	42 / 9 (28)	23 / 4,9 (100) (176)	<23/ < 4,9 (99,4)	<23/ < 4,9 (100)	6,9 / 1,5 (30) [< 5]
2.2.2 Nachhaltiger Zustand (NAHAL 2015= 1950/53) a) kg N/ ha LF a / [kg N/Ea] b) [%]	80 / 17 (100) (40) [100]	35 / 7 (44)	20 / 4,1 (100) (148)	< 20 / < 4,1 (99,4)	<20/<4,1 (100)	16,0 / 3,4 (80) [20]
2.2.3 Abstinenz: nur Vegetarier 2.2.3.1 mit 48% Eiweißüberschuß a) kg N/ ha LF a / [kg N/Ea] b) [%]	38/8 (100) (19) [100]	30 / 6 (80)	20 / 4,1 (100) (148)	<20 / < 4,1 (99,4)	<20/<4,1 (100)	16,0 / 3,4 (80) [42]
2.2.3.2 ohne Eiweißüberschuß a) kg N/ ha LF a / [kg N/Ea] b) [%]	25 / 5 (100) (13) [100]	20 / 4 (80)	13 / 2,8 (100) (100)	<13 / > 2,8 (99,4)	<18/<2,8 (100)	10,4 / 2,2 (80) [42]

re0330IV.doc

Tab. 2: Phosphor-Kreislaufwirtschaft innerhalb des Ökosystems „Landwirtschaft / Humanernährung / Abwasser- und Abfallwirtschaft“ (Isermann 1999)

Territorium	Ökosystembereiche					
	Landwirtschaft		Humanernährung		Abwasser- und Abfallwirtschaft	
	Eintrag	Austrag Verkauf	Nahrungs- aufnahme	Ausscheidung	Eintrag (Zulauf)	Klärschlamm- Rückführung in die Landwirtschaft
1. Deutschland: ¹⁾ (5,1E/ha LF) 1.1 Ist: 1990/95 a) kg P/ha LF a / [kgP/Ea] b) [%]	21 / 4,1 100 (100) [100]	12 / 2,3 (57) Boden: <7/1,4 [33]	3,6 / 0,7 (100)	<3,6 / < 0,7 (99)	< 3,6 / < 0,7 (100)	0,9 / 0,2 (25) [4]
1.2 Soll: 1990/95 a) kg P/ha LF a / [kgP/Ea] b) [%]	< 8 / < 1,6 100 (< 38) [100]	>8 / > 1,6 (> 100) Boden: < 0 [0]	2,6 / 0,5 (100)	< 2,6 / < 0,5 (99)	< 2,6 / < 0,5 (100)	2,1 / 0,4 (80) [26]
1.3 Nachhaltige Situation: (NAHAL-2015) a) kg P/ha LF a / [kgP/Ea] b) [%]	8 / 1,6 100 (38) [100]	7 / 1,4 (88) Boden: 1 / 0,2 [13]	2,6 / 0,5 (100)	< 2,6 / < 0,5 (99)	< 2,6 / < 0,5 (100)	2,1 / 0,4 (80) [26]
2. Österreich: ²⁾ (2,1 E/ha LF) Ist 1995 a) kg P/ha LF a / [kgP/Ea] b) [%]	11 / 5,4 100 [100]	5,3 / 2,5 (46) Boden: 5 / 2,4 [45]	1,5 / 0,7 (100)	< 1,5 / < 0,7 (99)	< 1,5 / < 0,7 (100)	0,2 / < 0,1 (13) [2]
3. Schweizer Mittelland: ³⁾ (7,3 E/ha LF) Ist 1989 a) kg P/ha LF a / [kgP/Ea] b) [%]	30 / 4,1 (100) [100]	8,0 / 1,1 (26) Boden: 24/3,3 [80]	6,5 / 0,9 (100)	< 6,5 / < 0,9 (99)	< 6,5 / < 0,9 (100)	3,6 / 0,5 (55) [12]

Autoren: ¹⁾ Isermann u. Isermann (1997/99); ²⁾ Zessner (1999); ³⁾ Baccini und Bader (1994)

re0335

Tab. 3: A) Nichtnachhaltige Ist-Situation (1995) und B) Nachhaltige Soll-Situation (NAHAL-2015) des einwohnerspezifischen Nährstoff-Aufwandes der Landwirtschaft Deutschlands während der gesamten Lebensphase seiner Einwohner im Vergleich zum einwohnerspezifischen Nährstoffgehalt (=Akkumulation) bei deren Ableben, d.h. im Sarg (Isermann 1999)

Nährstoff	A) Nichtnachhaltige Ist-Situation (-1995)			B) Nachhaltige Soll-Situation (NAHAL -2015)		
	Einwohnerspezifischer Nährstoff-Aufwand [kg je Einwohner (E)]		Einwohnerspezifischer Nährstoff-Gehalt beim Ableben, d.h. im Sarg [kg/E]	Einwohnerspezifischer Nährstoff-Aufwand [kg je Einwohner (E)]		Einwohnerspezifischer Nährstoff-Gehalt beim Ableben, d.h. im Sarg [kg/E]
	pro Jahr	pro Lebensphase (76 a)		pro Jahr	pro Lebensphase (78 a)	
Stickstoff (N)	42 (100)	3192 [1419]	2,25 [1]	17 (40)	1326 [589]	2,25 [1]
Phosphor (P)	4,1 (100)	312 [725]	0,43 [1]	1,6 (39)	125 [290]	0,43 [1]
Kalium (K)	9,7 (100)	737 [4913]	0,15 [1]	4,7 (48)	367 [2447]	0,15 [1]

re0336

Tab. 4: Kriterien A) einerseits einer effizienten und umweltverträglichen gegenwärtigen Landwirtschaft (EULANU/ KUL) und B) andererseits einer gegenwärtig und insbesondere zukünftig insgesamt nachhaltigen Landnutzung (NAHAL) aus der Sicht des Nährstoffhaushaltes (Isermann und Isermann 1999b)

Leitbilder	A) EULANU/ KUL Effiziente und umweltverträgliche Landwirtschaft	B) NAHAL Nachhaltige Landnutzung (+ Soz. Komp.)
Zeithorizonte	Gegenwart	Gegenwart => 2005/15
Autoren	Breitschuh/Eckert (1994/99) => VDLUFA (1999)	Isermann und Isermann (1994/99)
1. Kohlenstoff => Humushaushalt: 1.1 Erhaltungsklasse C: OBS_{umw-C} (%) 1.2 Humusqualität: C/N 1.3 Humusmächtigkeit (cm Bearbeitungstiefe) 1.4 Humusform 1.5 Humussaldo (1 ROS/ha AF: a) (1 ROS = Stallung: =1t TM = 5t FM= 0,5 GV)	k. A. (in Bearbeitung) k. A. k. A. k. A. -0,3 bis 1,0	HWL-C: 25-30 mg/100g = 0,4 (0,2-0,6) [10] ¹⁾ 10/1 (> 7/1 bis < 14/1) ¹⁾ < 35 (< 35 bis > 20) (Rohhumus / Moder =>) Mull ± 0 ¹⁾ u.a. Körschens (1995)
2. Stickstoff => u.a. Humushaushalt: 2.1 Erhaltungsklasse C: OBS_{umw-N} (%) 2.2 bis 2.5: Siehe 1.2 bis 1.5 2.6 Maximales Überschussaldo (kg N/ha a) ...davon: 2.6.1 Netto-Immobilisation => Pedosphäre 2.6.2 NH_3 -Volatilisation (Tier) } => Atmosphäre 2.6.3 Denitrifikation (N_2+N_2O) } 2.6.4 Bodenüberhang => Hydrosphäre	k. A. 140 (< 110 bis > 250) k. A. < 50 k. A. (1995: 40) - 50 bis +30 bis +50	0,04/ 0,02 - 0,06) [1] 65 / 45 ± 0 (nur C) 22 / 10 18 + 2 = 20 23 / 15
3. Phosphor: 3.1 Erhaltungsklasse C (mg P_{CaCl_2} /100g Boden ...wenn austragsgefährdet (>150g P/ha a) 3.2 Überschussaldo (Gehaltsklasse) (kg P/ha a) ...wenn austragsgefährdet	4,5 - 9,0 k. A. (B...D): - 25 bis +25 => -15 bis +15; C: 0 bis +3 nur erosionsgefährdet: 10	4,5 - 9,0 < 4,5 ± 0 (nur C) austragsgefährdet: ± 0
4. Kalium: 4.1 Erhaltungsklasse C (mg K_{CaCl_2} /100g Boden) ...wenn P erosionsgefährdet (>150g P/ha a) 4.2 Überschussaldo (Gehaltsklasse) (kg K/ha a) ...wenn P erosionsgefährdet (> 150g P/ha a)	5-22 k. A. (B...D): -50 bis +50; C: 0 bis +20 k. A.	5 - 22 < 10 - 22 (mittlere bis schwere Böden) ± 0 (nur C) ± 0
5. Entsprechend (1. -4 .) max. Viehbesatzdichte: 5.1 Einzelbetrieb (GV/ha versorgbare LF_a) 5.2 Region (GV/ha versorgbare LF_r)	k. A. (1,5) k. A. (0,6)	1,0 (0,6 - 1,2) 0,5 / 0,3 bis 0,7 (0,2 - 1,3)
6. Prioritäten des Düngereinsatzes: 6.1 Sekundärrohstoffdünger (bes. Klärschlamm) 6.2 Wirtschaftsdünger 6.3 Mineraldünger	2. 1. 3.	1. } => 2/3 2. } 3. } => 1/3

re0334.sam

Relation zwischen dem Gehalt an mikrobieller Biomasse und dem Pflanzenertrag auf Sand-, Auenlehm- und Lößlehm Boden nach langfristig unterschiedlicher organischer und mineralischer N-Düngung

Ruppel, S. und Rühlmann, J.

Institut für Gemüse und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V.
Theodor-Echtermeyer-Weg 1, 14979 Großbeeren

Einleitung

Die Auswirkung langfristig unterschiedlicher organischer und mineralischer N-Düngung auf Pflanzenertrag und Gehalt an mikrobieller Biomasse des Bodens war bereits häufig Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen (Syers, 1997; Witter und Kanal, 1998). Weitgehend ungelöst sind hingegen die Fragen nach dem Einfluß langfristig unterschiedlicher Bewirtschaftung sowohl auf qualitative Merkmale der mikrobiellen Biomasse des Bodens (Aktivität, Diversität, mikrobielle Biomasse als Indikator für Bodengesundheit/-qualität) als auch auf den Zusammenhang zwischen der Ertragsfähigkeit der Böden und deren mikrobieller Aktivität. Letzter Aspekt ist Gegenstand der in diesem Beitrag beschriebenen Untersuchungen. Während die Wirkung der organischen Düngung auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens und damit auch den Gehalt an mikrobieller Biomasse überwiegend direkt erfolgt, wirkt die mineralische N-Düngung auf diese beiden Größen überwiegend indirekt, und zwar über die Zufuhr unterschiedlicher Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen sowie –exsudaten zum Boden. Generell werden also über Düngungsmaßnahmen der Nährstoff- und Biomassegehalt des Bodens, damit verbunden dessen Nährstoffnachlieferungsvermögen und folglich auch dessen Ertragsfähigkeit beeinflusst. Da darüber hinaus die Wirkung von Düngungsmaßnahmen entscheidend von der Bodenart abhängt, war es das Ziel unserer Untersuchungen, anhand von drei unterschiedlichen Böden zu prüfen, ob und unter welchen Bedingungen ein Zusammenhang zwischen dem Gehalt an mikrobieller Biomasse im Boden und dem Pflanzenertrag besteht und ob demzufolge die mikrobielle Biomasse als Kriterium zur Beurteilung des Nährstoffnachlieferungsvermögens des Bodens geeignet ist.

Material und Methoden

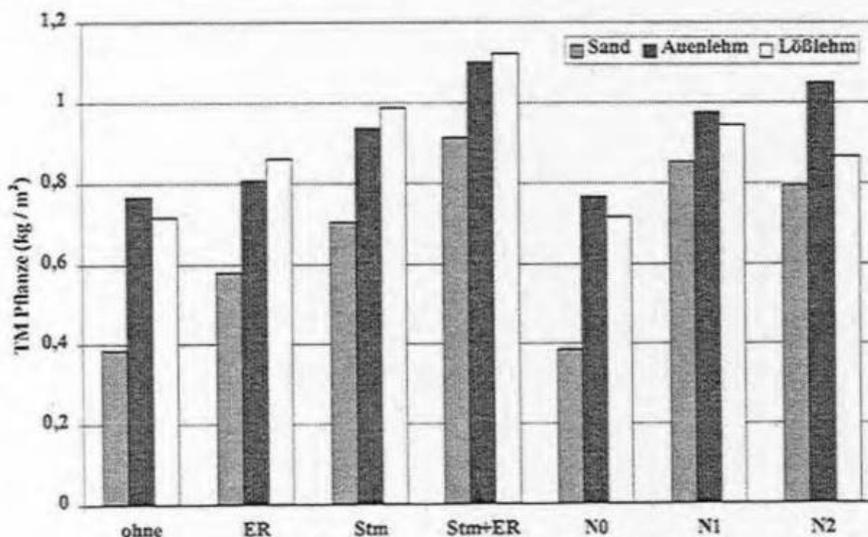
Die Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Ertragsfähigkeit der Böden und deren mikrobieller Aktivität wurden im 26. Versuchsjahr des im Jahr 1972 angelegten statischen Dauerversuchs „Organisch - mineralische N-Düngung zu Gemüse“ in der Kastenparzellen-anlage in Großbeeren vorgenommen. Prüffaktoren dieses Versuches waren der Boden [Sandboden aus Großbeeren (D), Auenlehm aus dem Oderbruch (Al) und Lößlehm aus der Magdeburger Börde

(Lö)], die mineralische N-Düngung (N_0 , N_1 und N_2) und die organische Düngung [ohne, Stallmist (Stm), Ernterückstände (ER) und Stm + ER]. Zu der im Jahr 1998 angebauten Gemüseart Möhre wurden folgende N-Mengen (kg/ha) appliziert: $N_0 = 0$, $N_1 = 60$, $N_2 = 120$, ER = 55, Stm = 100 und Stm + ER = 155. Geprüfte Kriterien waren der Pflanzenaufwuchs [Trockenmasse (TM)] und der Gehalt an mikrobieller Biomasse des Bodens (MB) im Frühjahr. MB wurde mittels substratinduzierter Respiration bestimmt (Anderson und Domsch, 1978).

Ergebnisse und Diskussion

In Abhängigkeit von der Behandlung der einzelnen Prüfglieder wurden zunächst deutliche Unterschiede in der gebildeten Pflanzentrockenmasse festgestellt (Abb. 1). Steigende N-Zufuhr über organische Düngung führte bis zur höchsten N-Zufuhr von 155 kg/ha (Stm + ER) zu einem annähernd linearen Ertragsanstieg, wobei die Ertragsunterschiede zwischen den organisch gedüngten Prüfgliedern signifikant waren. Bei den Prüfgliedern mit mineralischer N-Düngung unterschied sich nur N_0 signifikant von N_1 und N_2 . Bei vergleichbar niedriger N-Zufuhr (55 kg/ha bei ER und 60 kg/ha bei N_1) führte die mineralische N-Düngung zum höheren Ertrag, da die Mineralisierung des ER-N (ER-Einarbeitung im Herbst des Vorjahres) nur anteilig innerhalb der Kulturdauer der Möhre wirksam werden konnte. Der Vergleich der Böden zeigt texturbedingte Bodenfruchtbarkeitsunterschiede - für Sandboden wurden signifikante Mindererträge gegenüber Auen- und Lößlehm festgestellt - die sich nicht in der Ertragshöhe unterschieden.

Abb. 1: Pflanzentrockenmasseertrag in Abhängigkeit von organischer und mineralischer



N-Düngung auf Sand- Auenlehm- und Lößlehm Boden.

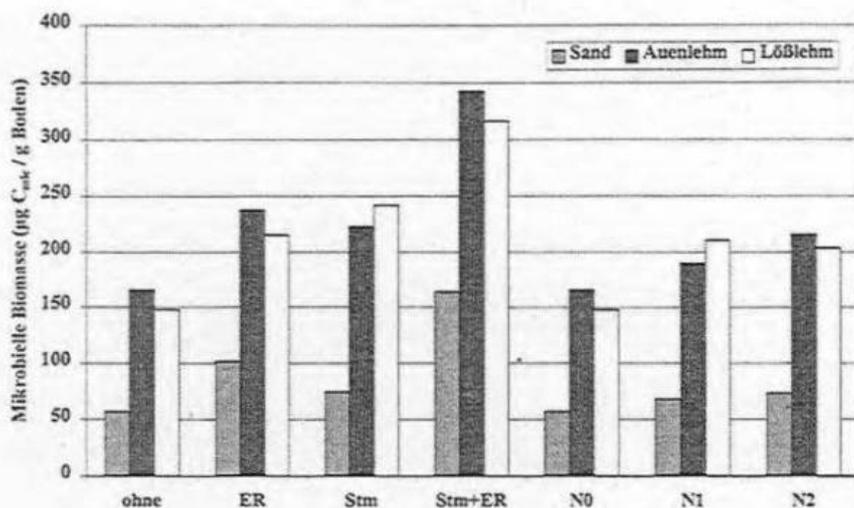


Abb. 2: Gehalt an mikrobieller Biomasse in Abhängigkeit von organischer und mineralischer N-Düngung in Sand- Auenlehm- und Lößlehm Böden.

Sowohl die organische als auch die mineralische N-Düngung zeigten hinsichtlich des Gehaltes an mikrobieller Biomasse im Boden ähnliche Wirkungen wie auf den Ertrag (Abb. 2). Lediglich zwischen den Prüfgliedern ER und Stm traten keine signifikanten Unterschiede auf. Als mögliche Ursache dafür wird der unterschiedliche Zeitpunkt der organischen Düngung angesehen (ER-Einarbeitung etwa 6 Monate und Stallmistdüngung bereits 18 Monate vor Bestimmung der mikrobiellen Biomasse).

Der Zusammenhang zwischen dem Gehalt an mikrobieller Biomasse im Boden und dem Ertrag wurde getrennt für Prüfglieder mit organischer (Abb. 3) und mineralischer N-Düngung (Abb. 4) dargestellt.

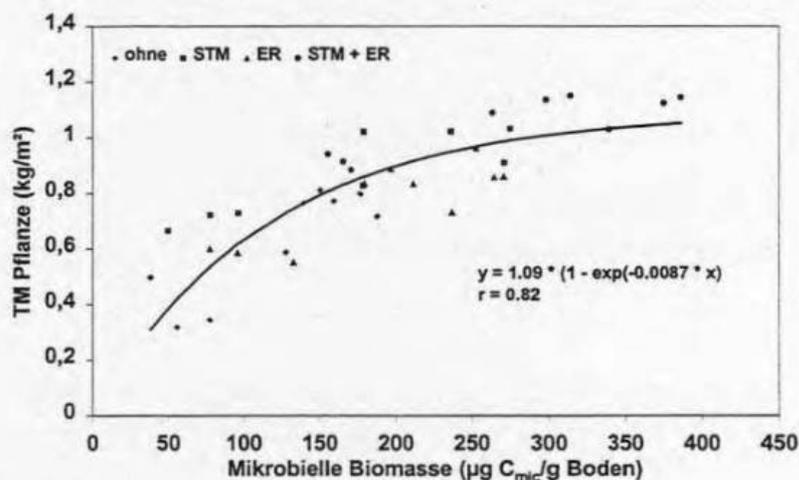


Abb. 3: Trockenmasseertrag von Möhre in Abhängigkeit von der mikrobiellen Biomasse des Bodens (Prüfglieder mit organischer Düngung, im Mittel der Böden).

Der genannte Zusammenhang war für Prüfglieder mit organischer Düngung erwartungsgemäß eng ($r = 0.82$), da das Nährstoffangebot in diesen Prüfgliedern wesentlich durch die mikrobiell bedingte Nährstoffnachlieferung aus der organischen Substanz im Boden bestimmt war. Als mögliche

Ursachen für den abnehmenden Ertragszuwachs bei steigenden Gehalten an mikrobieller Biomasse sind das Erreichen des standorttypischen Ertragspotentials in Verbindung mit einem zunehmenden relativen Nährstoffüberangebot, das nicht mehr ertragswirksam wurde, anzunehmen.

Für Prüfglieder mit mineralischer N-Düngung (Abb. 4) lagen die Erträge bei vergleichbarem Gehalt an mikrobieller Biomasse deutlich höher als in den Prüfgliedern mit organischer Düngung. Da die mineralische N-Düngung die mikrobiell bedingte Nährstoffnachlieferung aus der organischen Bodensubstanz überlagerte, wurde das standorttypische Ertragspotential bereits bei wesentlich geringeren Biomassegehalten erreicht und ein deutlich geringerer Korrelationskoeffizient ($r = 0.44$) bestimmt.

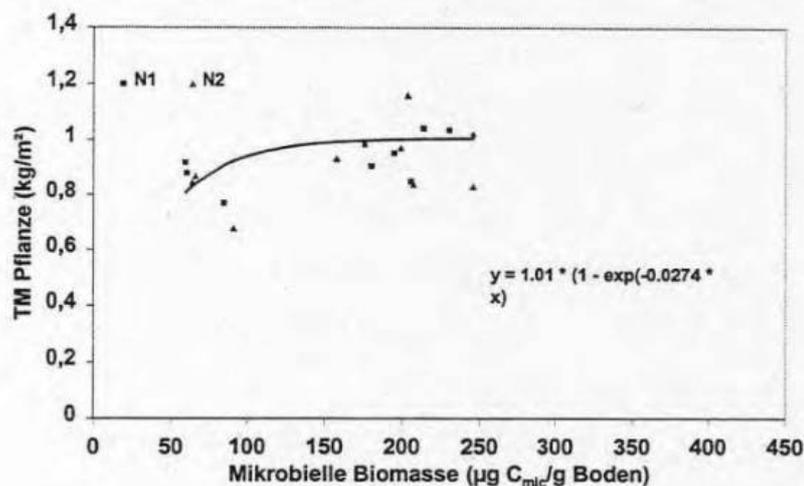


Abb. 4: Trockenmasseertrag von Möhre in Abhängigkeit von der mikrobiellen Biomasse des Bodens (Prüfglieder mit mineralischer N-Düngung, im Mittel der Böden)

Hinsichtlich der Eignung des Parameters „mikrobieller Biomassegehalt des Bodens“ als Kriterium für die Nährstoffnachlieferung ist abschließend festzustellen, daß dieser Parameter nur dann genutzt werden sollte, wenn die Wirkung der mikrobiell bedingten Nährstoffnachlieferung nicht durch die Wirkung der Mineraldüngung überlagert bzw. aufgehoben wird.

Literatur:

- Anderson J. P. E. and Domsch K. H. (1978): A physiological method for the quantitative measurement for microbial biomass in soils. *Soil Biology & Biochemistry* **10**, 215-221.
- Syers, J. K. (1997): Managing soils for long – term productivity. *Philosophical. Transactions. of. the. Royal. Society. of. London.-.Series.B: Biological. Sciences.* **352** (1356):1011-1021.
- Witter, E. and Kanal, A. (1998): Characteristics of the soil microbial biomass in soils from a long-term field experiment with different levels of C input. *Applied Soil Ecology* **10**, 37-49.

Improvement of microbes for higher crop productivity

Lakshminarayana, K.¹; Yadav, K. S.¹; Suneja, S.¹; Narula, N.¹;
Malik, Y. S.²; Singh, N.² and Nehra, B. K.²

Department of Microbiology¹ and Department of Vegetable Crops²
CCS Haryana Agricultural University
Hisar 125004 (India)

Abstract

The Department of Microbiology, CCS HAU Hisar has been actively engaged in identifying and further improving them to obtain highly efficient strains of various diazotrophs such as *Azotobacter chroococcum* as biofertilizers for important cereals, oil seeds vegetables, etc. A high nitrogen fixing ammonia excreting soil isolate of *A. chroococcum* (103) was subjected to further improvement by isolating mutants resistant to metabolic analogues such as Methyl ammonium chloride (Mac), Methyl alanine (Mal) and Methionine sulfoximine (MSX). These were routinely tested under pot house conditions as well as field conditions on various economically important crops such as pearl millet, mustard, wheat etc. Best mutants showing high crop productivity when used as inoculants (Mac 68) were used further to isolate high temperature, resistant (HT) mutants (e.g., HT 54, HT 57, etc.) which can grow at high temperature up to 45°C. Best among the HT mutants (HT 54) was used further to isolate mutants resistant to a newer metabolic analogue (MSX) and the resultant mutants (e.g., HT 54(1), HT 54 (2) were used as inoculants on different crops. In addition to nitrogen fixing *A. chroococcum*, studies were also carried out on phosphate solubilizing *A. chroococcum* and *Pseudomonas*. All these were tested on wheat, mustard, vegetables and flowering plants, some of which showed very high crop yields. The results also revealed host-bacterium relationship.

Introduction

Microbial inoculants (Biofertilizers) are now recognized to be important component of sustainable agriculture. Diazotrophs such as *Rhizobium*, *Azotobacter* *Azospirillum* contribute significantly to the overall nitrogen economy, fertility of soils as well as soil health. Residual nitrogenous fertilizers (NH_4^+ , urea, NO_3^-) can lower the potential contribution of these nitrogen fixing bacteria through repression of nitrogenase enzyme. Metabolic analogues such as methionine sulphoximine (MSX), methyl alanine (Mal) were used to derive NH_4^+ depressed (constitutive) strains of *Azotobacter* and methyl ammonium chloride (Mac) was used to derive early ammonia excreting strains (Gordon and Jacobson 1983, Lakshminarayana 1993).

In Haryana, maximum temperature reaches as high as 47 °C during summer, when, a good number of kharif crops are sown. It is important, therefore, that the inoculant strains are resistant to high temperature. As a part of improvement of *Azotobacter chroococcum*, Mac, Mal, MSX and high temperature resistant (HT) mutants were derived separately and in combination (HT 54(i), HT 54 (ii) etc.) and tested on cereals, oil seeds, vegetables and flowering plants under pot house and field conditions.

Materials and Methods

A high nitrogen fixing, ammonia excreting local soil isolate of *Azotobacter chroococcum* (103) was used to derive mutants spontaneously resistant to MSX, Mal and Mac, taken at minimum inhibitory concentrations respectively of 50 $\mu\text{g ml}^{-1}$, 1.2 mg ml^{-1} and 15 $\mu\text{g ml}^{-1}$.

Mutants were tested as inoculants in pots under pot house conditions and in fields (plot size 5 x 0.92 M in 4 rows).

A strain found to be best for pearl millet (Mac 68) was used further to isolate high temperature resistant (HT) mutants (HT 54, HT 57 etc.) by simple selection at 42°C. HT 54, found to be the best inoculate on various crops was used further to derive mutants resistant to MSX also and are named HT 54(1), HT 54 (2).

Results and Discussion

Pot experiments carried out on mustard treated with the above mentioned mutants showed increase in various morphological attributes. Increase in bacterial count in rhizospheric soil ranging from 5 to 30 fold was seen on 40 days after sowing.

Pot house experiments on spinach showed significantly higher yields with some improved mutants.

Field experiments carried out with potato revealed that out of three strains tested (Ala 27, PS 2 and MSX 9) MSX 9 showed significantly higher tuber yields at 0N, 50 KgN, 75 KgN and 100 kg N. In case of haulm, plant height and number of stems per hill also significant increase in yields were absorbed with the culture.

Pot house experiments carried out on flowering plants viz., cosmos, corn flower and benedium showed significant increase in root biomass and shoot biomass. Significantly increase in root mass was also seen in most of the cases.

Conclusion

The results revealed that improvement of *Azotobacter chroococcum* aimed at deriving NH_4^+ depressed strains, early ammonia excreting strains and high temperature resistant mutants can result in superior biofertilizers capable of increasing crop yields greatly.

Table 1. Effect of *Azotobacter chroococcum* mutants on wheat (*Triticum aestivum*) WH 147 under pot house conditions*

Treatment	Height	Root dry weight	Shoot dry weight
Control	34.5	0.46	0.43
Control +90 kg N	48.0	1.33	1.68
Control +120 kg N	54.4	1.36	1.92
Mac 27	49.3	0.86	1.18
Mac 27+2 N	56.5	1.31	2.30
Ala 27	45.4	0.42	0.66
Ala 27 + N	49.3	0.68	1.10
MSX 9	48.4	0.48	1.08
MSX 9+N	55.8	0.60	1.93
PS 2	50.5	0.76	1.68
PS 2 + N	62.5	0.93	2.70
HT 54	44.3	0.43	0.80
HT 54+N	64.3	1.25	2.38
HT 54(i)	57.7	1.47	1.60
HT 54(i)+N	58.0	1.02	1.66
HT 54(ii)	46.2	1.10	1.06
HT 54(ii)+N	53.0	1.03	1.67
Pseudomonas	48.2	0.55	1.06
Pseudomonas + N	58.2	0.65	1.83

* Average of three observations

Table 2. Effect of *Azotobacter* inoculation on mustard (*Brassica campestris*) Var. RH-30 (Average of three observations)

Treatment	Height/p (cm)	Root wt./p (g)	Shoot wt./p (g)	No.of pods/p	Seed yield/p (g)	Wt. of 100 seeds (g)	Azotobacter count		
							40 d	75 d	at harvest
							X 10 ⁵		
Control	38.1	0.06	0.39	7.4	0.20	0.40	0.11	2.61	0.35
Control +30 kg N	54.1	0.15	1.05	10.1	0.40	0.55	0.11	2.92	0.55
Control +60 kg N	68.8	0.42	2.30	25.5	0.85	0.49	0.12	3.75	0.33
Ac18	39.5	0.06	0.38	5.6	0.14	0.39	3.86	4.21	0.59
Ac18+30 kg N	60.7	0.36	1.70	17.1	0.59	0.49	6.97	8.46	0.67
Ac29	41.6	0.17	0.59	7.6	0.26	0.45	1.03	2.47	0.36
Ac29+N	64.8	0.27	1.57	17.1	0.56	0.49	1.61	2.32	0.30
Ala27	41.6	0.07	0.44	7.9	0.23	0.41	2.90	3.50	0.98
Ala27+N	55.3	0.09	0.99	12.0	0.33	0.51	3.15	6.79	0.90
E12	52.8	0.11	0.90	9.8	0.31	0.44	0.18	3.05	0.15
E12+N	63.8	0.17	1.21	11.8	0.42	0.49	0.14	4.15	0.33
HT 54	49.7	0.10	0.70	9.1	0.31	0.49	0.15	1.28	0.08
HT 54+N	66.7	0.29	1.61	17.3	0.56	0.47	0.67	5.17	0.45
HT 54(i)	43.3	0.10	0.60	9.4	0.27	0.47	0.17	8.87	0.29
HT 54(i)+N	67.1	0.34	1.60	14.0	0.56	0.48	0.44	3.01	0.90
HT 54(ii)	40.8	0.09	0.54	7.0	0.18	0.42	0.67	3.03	0.44
HT 54(ii)+N	63.0	0.20	1.34	13.7	0.28	0.49	0.70	1.79	0.44
Mac 68	43.2	0.09	0.76	7.9	0.23	0.46	2.53	2.30	1.32
Mac 68+20 kg N	63.6	0.24	1.34	13.3	0.45	0.53	1.51	14.04	1.94
MSX 9	41.2	0.06	0.47	7.7	0.22	0.44	0.59	1.12	0.53
MSX 9+N	66.3	0.22	2.10	19.3	0.62	0.56	0.67	4.62	0.52
PS6	40.7	0.11	0.46	7.9	0.18	0.38	2.67	5.31	0.33
PS6+N	59.6	0.21	1.07	11.8	0.39	0.46	3.35	5.36	0.72
Pseudo(Sat)	44.0	0.08	1.34	7.1	0.18	0.50	-	-	-
Pseudo (Sat)+N	65.3	0.28	1.63	16.8	0.44	0.46	-	-	-

Table 3. Effect of *Azotobacter chroococcum* inoculation on spinach (palak)

Treatment	Root dry weight/pl (g)	Shoot dry weight/pl (g)
Control	0.18	0.20
Control +16 kg N	0.36	0.28
103+N	0.25	0.34
Ala 27 + N (16 kg)	0.75	0.62
E12 + N	0.67	0.22
Mac 21 + N	0.96	0.48
IS-16 + N	0.47	0.42
Mac 27 + N	0.45	0.46
Mac 68 + N	0.55	0.75
PS 2 + N	0.44	0.74
PS 6 + N	0.42	0.41
PS 21 + N	0.39	0.39
HT 54	0.40	0.47
HT 57 + N	0.39	0.48
HT 54(i)	0.50	0.56
HT 54(ii)	1.15	0.41

Table 4. Effect of *Azotobacter chroococcum* inoculation in potato under field conditions

Treatment	Tuber yield q/acre	Haulm Plant yield q/acre	Plant height cm	Number of stems per hill
0 kg N + No strain	105.97	52.47	53.73	3.7
0 kg N + Ala 27	113.78	61.73	54.53	4.7*
0 kg N + MSX 9	115.64	67.90	60.67	5.7*
0 kg N + PS 2	109.05	55.56	54.53	4.3*
50 kg N + No strain	112.14	58.64	56.20	4.4
50 kg N + Ala 27	116.67	64.82*	60.60	5.3*
75 kg N + MSX 9	127.40	74.07*	64.30	6.5*
75 kg N + PS 2	113.17	64.82*	58.6	5.3*
75 kg N + No strain	118.31	67.90	60.13	4.7
75 kg N + Ala 27	120.37	74.07*	62.43	5.7*
75 kg N + MSX 9	137.87*	86.42*	68.80	6.7*
75 kg N + PS 2	122.44	70.99	60.13	5.8*
100 kg N + No strain	127.57	70.99	64.73	5.5
100 kg N + Ala 27	124.48	74.07	65.93	6.5*
100 kg N + MSX 9	139.91*	89.51*	77.47	6.9*
100 kg N + PS 2	124.48	70.99	63.83	5.8
C.D. 5 % inoculation & nitrogen	10.98	6.18	7.53	0.48

Table 5. Effect of *Azotobacter chroococcum* inoculation on cosmos*

Treatment	Root dry weight	Shoot dry weight
Control	0.60	1.10
103	0.73	3.00
Ala 27	0.63	1.83
E12	0.82	0.95
Mac 27	0.93	2.00
MSX 9	0.46	2.00
PS-6	0.40	1.30
IS-16	0.90	1.70
HT 54	0.63	2.30
HT 57	1.46	1.73
CD at 5 %	0.1824	0.4078

* Average of three observations

Interaction of P-solubilising *A. chroococcum* with various varieties of wheat

Narula, N. and Kumar, V.

Department of Microbiology,
CCS Haryana Agricultural University, Hisar, India.

Abstract

Five mutant strains of *A. chroococcum* which solubilized more P compared to the parent soil isolates were selected for field studies with three P-responsive cultivars of wheat i.e. C 306, WH 542, HD 2009 using five fertility levels. Application of 90 N + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹ significantly increased 27 % of grain yield plant⁻¹. Mutants M 15 and M 37 recorded an increase of 19.4 % in plant, 10.7 % spike length and 10.5 % of grain weight over control. Mutant M 15 recorded significantly higher grain yield with variety WH 542 than C 306 and HD 2009 under field conditions.

Key words : *A. chroococcum*, P-solubilization, wheat cultivars inoculant, mutants, grain yield

Phosphorus is one of the most important plant nutrients and the second most critical nutrient, next only to N, in influencing plant growth and is involved in the energy transformation in plants and living organisms. Different bacteria have been studied by several workers for solubilizing wide range of inorganic and organic phosphates under laboratory conditions (Sen and Paul, 1957; Sundra Rao, 1968; Kothari and Saraj, 1986; Salmeron *et al.*, 1990). Inoculation of soil with phosphate solubilizing microorganisms helps in releasing P from native soil P pool. Observation of beneficial effect of inoculation on the availability of P to crops further led to the development of inocula in countries like former USSR and several East European countries, under a popular name of phosphobacteria (Mishustin and Naumova, 1962). Most of the work on P solubilization in soil using plant growth tests have been carried out under green house conditions, although few results of field studies are also available (Kucey *et al.*, 1989). Over the years, scientists are testing P-solubilizing bacteria in increasing the crop yield of rice (Mohad *et al.*, 1989) and cotton etc. (Kundu and Gaur, 1980).

Keeping in view the usefulness of different microorganisms, P-solubilizing mutants from the best natural P-solubilizing *A. chroococcum* isolate were isolated and tested for their interaction with

three popularly used wheat cultivars under field conditions with three fertility levels.

Material and Methods

Phosphate solubilizing *A. chroococcum* isolates were isolated from wheat (*Triticum aestivum* L.) rhizosphere by enrichment culture technique (P 1, P 2, P 9, P 11 and P 12) and mutants (M 14, M 15, M 22, M 26, M 37) were developed from parent P 4 as described by Vivek (1998). All these parents/mutants were made resistant to 10 mg ml⁻¹ of methyl ammonium chloride for survival studies.

Field experiment was conducted at Research Farm, CCS Haryana Agricultural University, Hisar (India) using three fertility levels; control (F 0), 90 kg ha⁻¹ (F 1); 90 N kg + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹ (F 2), 120 N kg ha⁻¹ (F 3) and 120 N + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹ (F 4) with three wheat varieties i.e. C 306 (V 1) WH 542 (V 2) and HD 2009 (V 3) and *Azotobacter* inoculant (five each of parent and mutant isolates). Parameters studied were growth, yield attributes like grain yield and straw yield and survival of inoculant strains.

Results and Discussion

Among all the parent and mutant isolates of *A. chroococcum* tested as inoculants with various varieties, mutant M 15 showed better response in increasing plant height, dry matter production and total number of tillers (meter - 1 row length). Yield attributing characters were significantly benefitted with the application of mutant M 15 followed by M 37 (in number of grain per spike and 1000 grain wt. and M 22 (in spike wt.).

Inoculation of wheat seeds with inoculant M 15 was found significantly better in producing grain as well as straw yield. Significantly higher grain yield was recorded when the crop was fertilized with 120 N + 60 P₂O₅ kg ha⁻¹ and inoculated with M 15 and M 37.

Variety, C 306 was highly responsive when inoculated with M 15 followed by mutant M 37. The per cent increase in grain yield due to inoculation with mutant M 15 was 26.4, 21.7 and 17.8 with varieties C 306, WH 542 and HD 2009 respectively over control. Biological yield as well as

productivity index was found significantly more when crop was inoculated with mutant M 15. All the isolates maintained their higher survival number in the inoculated treatment throughout the growth period of wheat crop. Similar studies were conducted by Kundu and Gaur (1982) and Kucey *et al.* (1989) who observed that grain N and P content was more with inoculation of phosphate solubilizing bacteria like *Pseudomonas strata* and *B. polymyxa*.

Bibliography

1. Kothari, S.K. and Saraj, C.S. 1986. Solubilization of single super phosphate and rock phosphate by *Azotobacter chroococcum*. *J. Agric. Sci.* **107**: 463-466.
2. Kucey, R.M.N., Janzen, H.H. and Legget, M.E. (1989). Microbially mediated increases in plant available phosphorus. *Adv. Agron.* **42**: 199-221.
3. Kundu, B.S. and Gaur, A.C. (1982). Yield increase of wheat after inoculation with *A. chroococcum* and phosphobacteria. *Curr. Sci.* **51**: 291-293.
4. Mishustin, E.N. and Nanwova, A.N. 1962. Bacterial fertilizers, their effectiveness and mode of action. *Microbiologiya* **31**: 442-452.
5. Salmeron, V., Martinez-Toledo, M.V. and Gonzalez-Lopez, J. (1990). Nitrogen fixation and production of auxins, gibberellins and cytokinins by an *A. chroococcum* strain isolated from root of *Zea mays* in the presence of insoluble phosphate. *Chemosphere*, **20**(3-4): 417-422.
6. Sen, A. and Paul, N.B. (1957). Solubilization of phosphate by some common soil bacteria. *Curr. Sci.* **26**: 222-225.
7. Sundra Rao, W.V.B. (1968). Phosphorus solubilization by microorganisms. Pp. 210-229. In: Proceedings of All India Symposium on Agric Microbiology, Univ. of Agric. Sci. Bangalore.
8. Vivek Kumar (1998). Phosphate solubilization by *A. chroococcum* strains and their interaction with wheat cultivars. Doctoral Thesis, HAU, Hisar (India).

Longterm multilocation field evaluation of chickpea Rhizobia in India

Dudeja, S. S. and Khurana, A. L.

Department of Microbiology,
CCS Haryana Agricultural University, Hisar - 125 004, Haryana, India.

Both partners, the rhizobia and the host plant have key roles in the process of biological nitrogen fixation by legumes. There are many constraints limiting the success of rhizobia as inoculants. These includes : host, soil N and phosphorus, native rhizobial population and environmental conditions. To study the performance of different rhizobial strains selected from all over India, multilocation experiment was conducted for 3 years for adaptability and effectiveness under different agroecological conditions.

Eighteen chickpea-*Rhizobium* strains were evaluated at Hisar (Haryana), Sehore (Madhya Pradesh), Coimbatore (Tamil Nadu), Durgapura (Rajasthan) and Rauhri (Maharashtra) with local best variety. Alongwith uninoculated, control of 30 kg N/ha was also kept for comparative performance. Experiment was conducted for 3 years 1993 - 1994, 1994 - 1995 and 1995 - 1996. Soil characteristics and other characters are given in the Table 1.

On overall mean basis of three years 1993 - 1994, 1994 - 1995 and 1995 - 1996, all the eighteen rhizobial strains alongwith 30 kg N ha⁻¹ in the form of urea recorded higher grain yield over the uninoculated control (Table 2). Performance of different strains across different years, over different agroecological zones were variable. Averaged results of 15 experiments with 3 replicates showed that 5.9 per cent increase in grain yield was observed with the application of 30 kg of chemical N per ha. Increase in grain yield with different rhizobial strains ranged from 6.7 to 18.3 per cent, indicating that about 20 - 40 kg of N could be saved by the application of rhizobial inoculants. Wide spectrum rhizobial strains like GTB - 5 - 88 should be preferred as this performed better across years and locations and such strains would be able to sustain the chickpea production.

Table 1. Characterisation of sites at sowing and some agronomic information, multilocation experiment at 5 locations in India, post rainy season 1993/94, 1994/95 and 1995/96

Character	Hisar	Sehore	Coimbatore	Durgapura	Rauhri
1. Soil characteristics at sowing					
i) Soil type	Sandy loam	Vertisol	Black to red soil	Loamy sand	nk
ii) Soil pH (1:2)	7.6-7.8	7.6	7.6	nd	nd
iii) Total N %	0.061-0.065	0.045-0.082	nd	nd	nd
iv) Mineral N ($\mu\text{g g}^{-1}$)	14-16	13-19	nd	nd	nd
v) Organic matter (%)	0.42-0.44	0.55	0.24	nd	nd
vi) EC (dSm^{-1})	0.30	0.34	nd	nd	nd
vii) Olsen P ($\mu\text{g g}^{-1}$)	9-10	16	nd	nd	nd
2. Sowing time	Nov.	Nov.	Oct.-Nov.	Nov.	nk
3. Crop variety	HC-1	JG315	CO2-CO3	RSG44	nk
4. Final harvest (days after sowing)	150-165 days	133-140 days	80-95 days	133-136 days	-

nd = Not determined, nk = Not known

Table 2. Overall grain yield of chickpea inoculated with different rhizobial strains at different locations in India

	Grain yield (q ha ⁻¹)						Per cent increase over control
	Hisar	Sehore	Coimbatore	Durgapura	Rauhri	Mean	
DGB34C	28.79	11.75	7.72	22.69	24.88	19.17	11.00
GHUR15	29.72	11.90	8.14	22.63	22.40	18.97	9.80
GHUR 16	29.78	11.55	8.40	19.42	25.15	18.86	9.20
G567 SM	27.03	10.61	8.34	22.48	24.50	18.59	7.70
UASB 732	28.12	11.96	8.29	23.20	23.86	19.09	10.50
Ca181 SM	27.49	10.54	8.27	22.18	25.24	18.74	8.50
GRS-6	29.16	11.77	8.60	23.49	23.88	19.38	12.20
H 58	29.16	11.93	8.19	20.60	24.39	18.85	9.20
H60	28.11	12.22	7.96	23.52	24.38	19.24	11.40
SP4	28.52	12.32	7.78	23.52	25.00	19.42	12.50
H68	27.16	11.92	8.01	25.14	24.48	19.34	12.00
G567EMR	26.98	10.70	8.76	21.14	25.72	18.66	8.00
SG-8-87	27.14	12.09	7.83	21.31	23.76	18.43	6.70
GTB-5-88	30.55	11.84	8.39	25.46	25.91	20.43	18.30
GNA-3-88	28.46	11.34	6.85	22.45	24.99	18.82	9.00
GR-2	28.59	11.50	7.79	22.56	22.85	18.66	8.00
DG 34-2	27.06	11.04	8.32	30.35	24.85	20.32	17.70
PR 15	28.52	11.11	7.44	21.76	24.62	18.69	8.20
30 kg N ha ⁻¹	29.28	11.86	7.75	23.15	24.38	18.28	5.90
Uninoculated	26.73	9.59	6.73	20.92	22.38	17.27	-

Source : All India Coordinated Project on Improvement of Pulses, Microbiological Reports

Phosphatmobilisierung in der Rhizosphäre durch direkte und indirekte Wirkungen von Wurzelabscheidungen höherer Pflanzen

Gransee, A.; Wittenmayer, L.; Deubel, A.; Ležovič, G. und Merbach, W.

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Landwirtschaftliche Fakultät
Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung
Adam-Kuckhoff-Straße 17 b, 06108 Halle/Saale

Einleitung

Höhere Pflanzen geben beachtliche Mengen an organischen Verbindungen an die Rhizosphäre ab. Diese Wurzelabscheidungen können entweder direkt (über die Mobilisierung schwerlöslicher Verbindungen) oder indirekt (erhöhte Aktivität von Rhizosphärenmikroorganismen) die Mineralstoffernährung der Pflanzen beeinflussen. Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge sollte ein Verfahren zur Gewinnung der Wurzelabscheidungen aus festen Substraten entwickelt werden. Der Einfluß dieser abgegebenen Verbindungen auf das Phosphatlösungsvermögen von zwei Bakterienstämmen (*Pantoea agglomerans* und *Pseudomonas fluorescens*) und auf die Phosphatlöslichkeit im Boden wurde untersucht.

Material und Methoden

Pflanzenanzucht

Für die Untersuchungen wurden Erbsenpflanzen der Sorte Grapis oder Maispflanzen der Sorte Becemara verwendet. Die Anzucht erfolgte in Plaströhren (20 cm Höhe; 10 cm Durchmesser) in 4 Wiederholungen mit Quarzsand als Substrat. Die Wasser- und Nährstoffversorgung waren optimal mit Ausnahme des Phosphates, bei dem es bei den Erbsenpflanzen eine Mangelvariante gab. Die Erbsenpflanzen wurden im Alter von 3 Wochen für 3 Tage in eine $^{14}\text{CO}_2$ haltige Atmosphäre überführt, nach dieser Zeit vorsichtig aus dem Substrat entnommen und zur Gewinnung der wasserlöslichen Wurzelabscheidungen für 2 Minuten in Micropurhaltiges Wasser getaucht. Die Maispflanzen wurden der Abstauchung ohne vorherige $^{14}\text{CO}_2$ -Behandlung unterzogen. (Einzelheiten vgl. SCHULZE 1993; WITTENMAYER und GRANSEE 1992).

Fraktionierung der organischen Wurzelabscheidungen der Erbsenpflanzen (Einzelheiten vgl. WITTENMAYER und GRANSEE 1992)

Die Fraktionierung erfolgte nach der Gefriertrocknung der gewonnenen Abscheidungen mit Hilfe eines Kationenaustauschers (DOWEX 50 W, 20 bis 50 mesh). Durch Spülen mit 50%igem EtOH erhält man das Effluat I (Zucker, organische Säuren). Die Trennung dieses Effluates erfolgt mit Hilfe eines

Anionenaustauschers (DOWEX 1x2, Formiatform). Durch Spülen mit dest. Wasser erhält man das Effluat II (Zucker).

Die Zuckerfraktion wurde mit HPLC unter Nutzung eines Radioaktivitätsdurchflußdetektors in die Einzelverbindungen aufgetrennt. (Säule Bio-Sil NH₂ Bio-Rad 150 mm x 4,6 mm, 5 µm Korngröße, Laufmittel Acetonitril : Wasser 85 : 15 v/v isokratisch, Durchfluß 1,5 ml/min)

Bakterienkultivierung

Für die Untersuchungen wurden die Bakterienstämme *Pantoea agglomerans* und *Pseudomonas fluorescens* ausgewählt. Das Phosphatlösungsvermögen der beiden Stämme wurde in MUROMCEV-Nährlösung (bestehend aus Glucose, Asparagin und Salzen) mit Zusatz von tertiärem Calciumphosphat quantitativ bestimmt. Die Hauptkultur erfolgte 7 d bei 28 °C in Blutkonservenflaschen mit 30 ml Nährlösung + 29 mg Ca₃(PO₄)₂, die mit 500 µl Inokulum beimpft wurden. Die Glucose wurde dann durch die prozentuale Zusammensetzung der Zucker, wie sie in Wurzelabscheidungen der Erbsenpflanzen gefunden wurden, ersetzt. Der Gesamtanteil der Zucker blieb dabei stets 1%. Das gelöste Phosphat wurde nach Ende der Wachstumszeit in der Nährlösung gemessen.

Diffusionsuntersuchungen

Für diese Untersuchungen wurden kleine Modellbodenblöcke in Plexiglascontainern benutzt, die folgende Maße aufweisen: 24 mm x 30 mm x 12 mm. Bei dem Versuchsboden handelt es sich um eine Sandlehm-(Braun-) Schwarzerde. Die Bodenblöcke wurden in der Mitte getrennt und ein Teilblock mit Boden befüllt, dem zusätzlich 10 mg P/100 g Boden in Form von KH₂PO₄ zugemischt wurden. Der andere Teilblock enthielt den gleichen, jedoch ungedüngten Boden. Die Wurzelabscheidungen der Maispflanzen wurden ohne vorherige Fraktionierung in den Mengen 0 g; 0,1 g und 0,2 g eingesetzt. Nach der Auflösung in Wasser wurden die Wurzelabscheidungen auf die Bodenblöcke getropft und diese für 3 d gelagert. Danach wurden die Teilblöcke an den Auftropfstellen (Kontaktgrenze) zusammengefügt und mit Paraffin verschlossen. Nach einer Versuchsdauer von 3 d trennte man die Teilblöcke voneinander und fro sie mit flüssigem Stickstoff ein. Mit Hilfe eines Gefriermikrotoms wurden 0,8 mm breite Schnitte angefertigt und in diesen die DL-lösliche P-Menge bestimmt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzung der Zuckerfraktion von Erbsenwurzelabscheidungen in Abhängigkeit von der P-Versorgung der Pflanzen. Die analysierten Einzelverbindungen zeigen sowohl qualitativ als auch quantitativ eine deutliche Abhängigkeit von der P-Versorgung der Pflanzen. Zuerst fällt auf, daß sich bei einem ausreichenden P-Angebot nur vier Zucker nachweisen lassen, wobei Glucose mit fast der Hälfte den größten Anteil hat. Wurden die Erbsenpflanzen unter P-Mangel

angezogen, fanden sich in den über die Wurzel abgegebenen Verbindungen drei weitere Zucker (Xylose, Fucose und Galactose). Außerdem änderte sich auch die Zusammensetzung der Zuckerfraktion, was am deutlichsten bei der Glucose sichtbar wird, deren Anteil auf 17% zurückgeht.

Tab.1: Relative Verteilung der ¹⁴C-Aktivität in der Zuckerfraktion von Wurzelabscheidungen von Erbsen in Abhängigkeit von der P-Ernährung (P-Mengen in mg/Gefäß)

Sorte	P-Ernährung	Fructose	Glucose	Ribose	Xylose	Fucose	Galactose	Sucrose
Grapis	0	17	17	16	9	5	17	19
	100	29	47	7	-	-	-	17

Es stellte sich nun die Frage, welche Auswirkungen diese Verschiebungen in der Zuckerfraktion auf das Phosphatlösungsvermögen P-mobilisierender Bakterienstämme haben. Die Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der entsprechenden Versuche mit Ca₃(PO₄)₂ als P-Quelle.

Es ist zu erkennen, daß die zwei Bakterienstämme in der Lage sind, beträchtliche P-Mengen in der Standardvariante zu lösen.

Wurden ihnen Zucker angeboten, die denen von Erbsenpflanzen entsprachen, reagierten die Bakterien darauf deutlich. Dabei verringerte sich bei *Pseudomonas fluorescens* die gelöste P-Menge. Bei *Pantoea agglomerans* stieg sie dagegen an, und zwar besonders stark, wenn Zucker von Wurzelabscheidungen der P-Mangelpflanzen angeboten werden. Die Versuche zeigen, daß die unterschiedliche

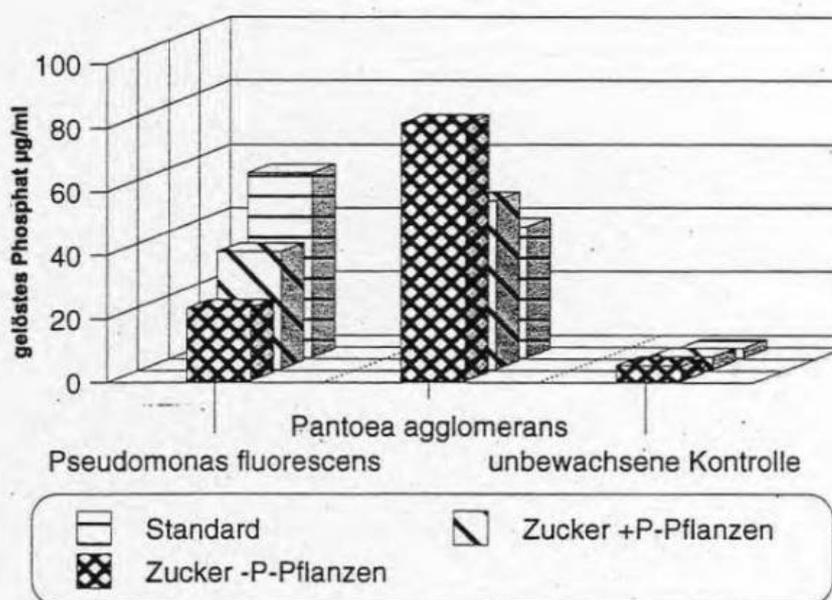
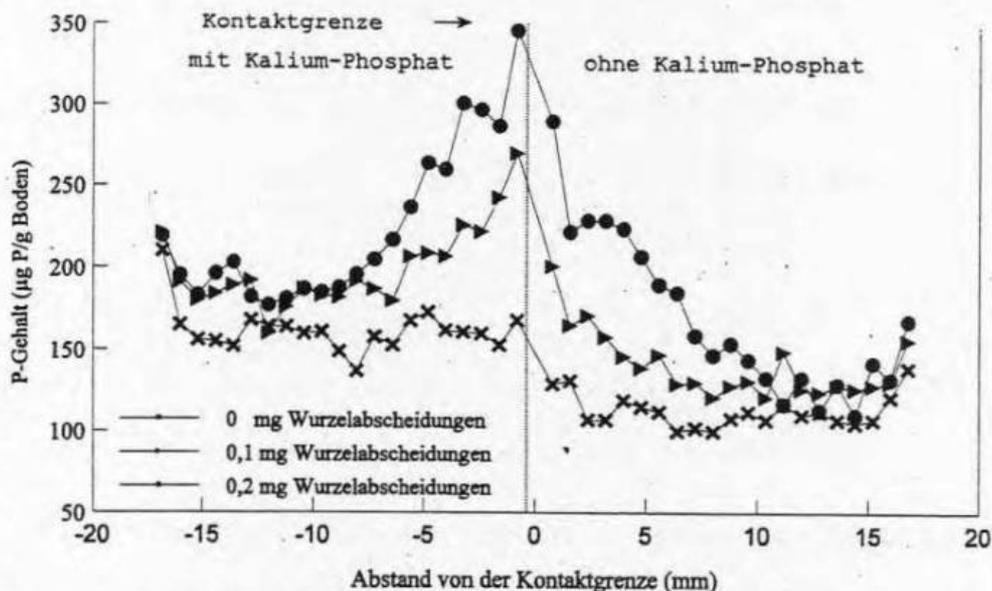


Abb. 1: Einfluß der Zuckerzusammensetzung von Wurzelabscheidungen von Erbsenpflanzen der Sorte „Grapis“ auf das Phosphatlösungsvermögen von zwei Bakterienstämmen

Zusammensetzung der Wurzelabscheidungen von Erbsenpflanzen einen großen Einfluß auf die physiologischen Leistungen (in diesem Fall das P-Lösungsvermögen) von

Rhizoshärenmikroorganismen ausüben. Die Prüfung des direkten Einflusses der Wurzelabscheidungen auf die Löslichkeit des Phosphates im Boden zeigt die Abbildung 2.

Die DL-lösliche Phosphatmenge war in den Varianten, zu denen wasserlösliche organische Wurzelabscheidungen zugesetzt wurden, deutlich gegenüber der Kontrollvariante erhöht. Diese Aussage trifft vor allem



für die ersten 8 mm von der Kontakt-

fläche her zu. Interessanterweise stieg mit der Menge verabreichter Wurzelabscheidungen zu den Bodenblöcken auch die DL-Löslichkeit des Phosphates. Da dieser Effekt vor allem in unmittelbarer Nähe zur Kontaktfläche zu beobachten war, an der die Wurzelabscheidungen aufgetropft wurden, kann vermutet werden, daß sich die Wurzelabscheidungen in den ersten Millimetern des Bodenblockes angereichert hatten und somit die erhöhte Phosphatlöslichkeit verursachten. In weiteren Untersuchungen ist daher mit Hilfe ¹⁴C-markierter Wurzelabscheidungen deren räumliche Verteilung zu prüfen und der Mechanismus der Erhöhung der P-Löslichkeit zu ergründen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Wurzelabscheidungen von Erbsen- und Maispflanzen (Ergebnisse für Mais hier nicht im einzelnen gezeigt) in ihrer Zusammensetzung in starkem Maße von der P-Ernährung der Pflanzen abhängen und diese Wurzelabscheidungen einen deutlichen Einfluß auf das P-Lösungsvermögen von Bodenbakterien und die P-Löslichkeit im Boden ausüben.

Literatur:

- Schulze, J.: Untersuchungen zur Kohlenstoffbilanz bei Leguminosen und Nichtleguminosen unter besonderer Berücksichtigung der organischen Wurzelabscheidungen. Diss A., MLU Halle — Wittenberg, 1993
- Wittenmayer, L. und A. Gransee: Untersuchungen zur quantitativen und qualitativen Bestimmung von organischen Wurzelabscheidungen bei Mais und Erbsen. In: Ökophysiologie des Wurzelraumes. Vorträge zur 3. wissenschaftlichen Arbeitstagung, 1992, 81-85

Untersuchungen mit einem spezifischen Inhibitor deuten darauf hin, daß PEPC eine Rolle bei der Regulation einer variablen Sauerstoffdiffusionsbarriere im Kortex von Leguminosenknöllchen spielen könnte.

Schulze, J.; Beschow, H. und Merbach, W.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung,
Professur für Physiologie und Ernährung der Kulturpflanzen,
Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Adam-Kuckhoff Str. 17b
D-06108 Halle/Saale

Es gibt direkte und indirekte Hinweise dafür, daß eine im Kortex von Leguminosenknöllchen vermutete variable Sauerstoffdiffusionsbarriere über osmokontraktile Reaktionen der dortigen Zellen funktioniert (zur Übersicht siehe Minchin, 1997). Bei Phosphatmangelpflanzen, die eine veränderte Sauerstoffdiffusion in die Knöllchen zeigten, konnten Veränderungen von Zellgröße und Zellform im inneren Kortex beobachtet werden (Drevon et al., 1998). Als Reaktion auf Streßeinfluß wurden an dort lokalisierten Zellen eine Membrandepolarisation (Denison und Kinraide, 1995) wie auch Kationeneinflüsse (Minchin et al., 1995) gemessen. Derartige Kationeneinflüsse zur Turgorveränderung müssen durch die Bildung von Gegenionen elektrisch ausgeglichen werden. Dies könnte, ähnlich der Funktionsweise von Nebenzellen der Stomata, durch die Bildung von organischen Anionen, besonders Malat, erfolgen. Malat wird im Knöllchen hauptsächlich durch die Phosphoenolpyruvatcarboxylasereaktion (PEPC) mit anschließender Reduktion des Oxalacetats zu Malat durch Malatdehydrogenase (MDH) gebildet. Hierbei ist die PEPC-Reaktion der geschwindigkeitsbestimmende Schritt.

Wir untersuchten die Wirkung eines PEPC-spezifischen Inhibitors (3,3-Dichloro-2-dihydroxyphosphoinoymethyl-2-propenoat, [DCDP]) auf die *in-vitro* PEPC-Aktivität sowie auf die *in-vivo* $^{14}\text{CO}_2$ - und $^{15}\text{N}_2$ -Aufnahme von abgeschnittenen Knöllchen. Der Inhibitor reduzierte die PEPC-Aktivität (Enzymaktivitätstest - Verbrauch von NADPH bei Zusatz des Substrates) in einem Proteinextrakt aus Luzerneknöllchen stark und spezifisch (auf etwa 30 % der Aktivität ohne Inhibitorzusatz [10 mM], ohne Wirkung auf GS, GOGAT, AS, AAT und GDH, leichtes Absenken [etwa 10 %] von MDH-Aktivität).

Ließ man den Inhibitor 5 Minuten bei leichtem Vakuum auf frisch abgeschnittene Knöllchen wirken, war die in den darauffolgenden 20 min gemessenen $^{14}\text{CO}_2$ -Aufnahme der Knöllchen nur leicht abgesenkt (auf etwa 90 %). Bei gleicher Vorgehensweise, jedoch Angebot von $^{15}\text{N}_2$ über eine

Stunde anstelle von $^{14}\text{CO}_2$, war die Aufnahme des ^{15}N gegenüber einer nicht behandelten Kontrolle überraschenderweise signifikant erhöht (auf etwa 140 %).

Dies bestätigte sich auch in einer aufgenommenen Zeitreihe der $^{15}\text{N}_2$ -Aufnahme nach Abschneiden von Luzerneknöllchen im Vergleich mit und ohne Inhibitorbehandlung (Tabelle 1).

Tabelle 1: Vergleich der $^{15}\text{N}_2$ -Aufnahme von frisch abgeschnittenen Luzerneknöllchen mit und ohne PEPC-Inhibitorapplikation kurz nach dem Abschneiden.

Der Inhibitor (10 mM) wurde über 5 min. bei leichtem Vakuum appliziert. Die Angaben sind eingetragen als **ng ^{15}N -Aufnahme/mg Trockenmasse Knöllchen und Minute**. Angaben als Mittel aus 6 Wiederholungen, * signifikant verschieden zu „ohne Behandlung“, t-Test, 5 %.

Behandlung	30 min $^{15}\text{N}_2$ - Applikation nach dem Abschneiden	60 min $^{15}\text{N}_2$ - Applikation nach dem Abschneiden	90 min $^{15}\text{N}_2$ - Applikation nach dem Abschneiden	120 min $^{15}\text{N}_2$ - Applikation nach dem Abschneiden
Ohne Behandlung	15,8 (100)	9,7 (100)	9,45 (100)	7,5 (100)
5 min Inhibitorapplikation direkt nach dem Abschneiden	14,1 (89,2)	13,5* (139)	11,85* (125)	11,08* (147)

Während die $^{15}\text{N}_2$ -Aufnahme in der ersten halben Stunde nach dem Abschneiden tendenziell leicht verringert war, erhöhte sie sich im Vergleich zur Kontrolle bei den weiteren Messungen signifikant. Das Abschneiden der Knöllchen führt zu einem schnellen Absinken der N_2 -Fixierungsraten, da die Sauerstoffzufuhr zum Knöllcheninneren über die Sauerstoffdiffusionsbarriere eingeschränkt wird (Sung et al., 1991). Die obigen Resultate können so interpretiert werden, daß der ohne Inhibitor-einfluß infolge des Abschneidens der Knöllchen erfolgende Aufbau der Sauerstoffdiffusionsbarriere bei Inhibitoreinsatz eingeschränkt war. Dies hält die Sauerstoffversorgung des Knöllchens und somit die N_2 -Fixierung zunächst länger aufrecht (führt dann allerdings wahrscheinlich zur Beschädigung des „Stickstofffixierungsapparates“). Auch dürfte das ja von außen angebotene $^{15}\text{N}_2$ besser in die Infektionszone gelangen (gleiches gilt für das von außen angebotene $^{14}\text{CO}_2$, (siehe oben), wodurch sich die kurzfristig ausbleibende *in-vivo* Einschränkung der $^{14}\text{CO}_2$ -Aufnahme erklären könnte).

Diese Resultate deuten darauf hin, daß die Einschränkung der PEPC-Aktivität an abgeschnittenen Knöllchen möglicherweise einen Einfluß auf den Aufbau der variablen Sauerstoffdiffusionsbarriere hat. Von Interesse in diesem Zusammenhang ist, daß ein kürzlich erschienener Artikel zeigen konnte, daß DCDP-Applikation auch den Stomataschluß verlangsamt (Parvathi und Raghavendra 1997).

Literatur:

- Denison, F. R., und Kinraide, T. B. (1995).** Oxygen-induced membran depolarization in legume root nodules. *Plant Physiology* 108, 235-240.
- Drevon, J. J., Frangne, N., Fleurat-Lessard, P., Payre, H., Ribet, J., Vadez, V., und Serraj, R. (1998).** "Is nitrogenase-linked respiration regulated by osmocontractile cells in legume nodules?" Proceedings of the 11th International Conference on Nitrogen Fixation. Biological Nitrogen Fixation for the 21st Century, Paris, 465-466.
- Minchin, F. R. (1997).** Regulation of oxygen diffusion in legume nodules. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 881-888.
- Minchin, F. R., Iannetta, P. P. M., James, E. K., Sprent, J., Thomas, B. J., und Witty, J. F. (1995).** "Mechanisms for short-term (15 min) changes in the oxygen diffusion barrier of legume nodules." Proceedings of the 10th International Conference on Nitrogen Fixation. Nitrogen Fixation: Fundamentals and Applications, Petersburg, 600.
- Parvathi, K., und Raghavendra, A. S. (1997).** Both rubisco and phosphoenolpyruvate carboxylase are beneficial for stomatal function in epidermal strips of *Commelina Benghalensis*. *Plant Science* 124, 153-157.
- Sung, I., Moloney, A. H., Hunt, S., und Layzell, D. B. (1991).** The effect of excision on O₂ diffusion and metabolism in soybean nodules. *Physiologia Plantarum* 83, 67-74.

Über welchen Mechanismus regulieren Leguminosen den C-Verbrauch der Stickstofffixierung?

Schulze, J.; Beschow, H. und Merbach, W.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung,
Professur für Physiologie und Ernährung der Kulturpflanzen,
Landwirtschaftliche Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Adam-Kuckhoff Str. 17 b
D-06108 Halle/Saale

Die symbiontische Reduktion von Luftstickstoff in den Knöllchen von Leguminosen ist mit einem hohen Energie- und Kohlenstoffverbrauch für die Pflanze verbunden, da große Mengen ATP am Enzym gespalten und Reduktionsäquivalente für die Bereitstellung der Elektronen verbraucht werden (Schulze et al., 1994). Erschwerend kommt hinzu, daß die Atmungsprozesse im Knöllchen unter mikroaeroben Bedingungen ablaufen müssen. Der oftmals limitierende und in Bezug auf viele Streßfaktoren auch regulierende Faktor der N_2 -Fixierungsrate ist eine für diese Atmung ausreichende Bereitstellung von Sauerstoff. Dies wird über ein mehrstufiges Regulationssystem erreicht (Minchin, 1997). Die Assimilatbereitstellung kommt trotz der erwähnten enormen Anforderungen im Knöllchen nur unter bestimmten Bedingungen ins Minimum, etwa während der Hülsenfüllung. Offenbar können manche Leguminosen in solchen Fällen die C-Effizienz der Luftstickstofffixierung erhöhen. Dies zeigten langjährige Versuche an Ackerbohnen und einigen Erbsensorten. Hierbei wurde oftmals etwa eine Halbierung des C-Verbrauchs während der generativen Phase im Vergleich zu vor der Blüte gefunden² (Schulze und Adgo, 1995). Über einen verminderten Kohlenstoffverbrauch der N_2 -Fixierung während des generativen Wachstums wurde auch für Sojabohnen und Weißklee berichtet (Ryle et al., 1979 a; Ryle et al., 1979 b). Es ist vorstellbar, daß es sich hier um einen Anpassungsmechanismus handelt, der bei intensiver Stickstofffixierung und starker Assimilatkonkurrenz innerhalb der Pflanze zu einer C-effizienteren N_2 -Fixierung führt. In dieses Bild paßt auch die Tatsache, daß offenbar unter Streßbedingungen, also bei verminderter N_2 -Fixierung, der C-Verbrauch je Einheit fixierten Stickstoffs im allgemeinen höher ist als bei intensiver N_2 -Fixierung (zur Übersicht siehe Vance und Heichel 1991). Über den Mechanismus einer Adaptionreaktion des C-Verbrauchs der N_2 -Fixierung ist wenig bekannt. Grundsätzlich ist 1. eine Verschiebung des Elektronenallokationskoeffizienten hin zur N_2 -Reduktion, möglicherweise in Verbindung mit verstärkter Recyclierung des gebildeten

² Für methodische Einzelheiten zur Bestimmung des C-Bedarfs der N_2 -Fixierung (-Reduktion) siehe Schulze et al. (1999).

Wasserstoffs (hup-Aktivität) denkbar (Pate und Layzell, 1990; Merbach, 1998). Weiterhin könnte 2. die Effizienz der Assimilatveratmung im Knöllchen - etwa durch die Verschiebung des Anteils einzelner Atmungsarten mit unterschiedlicher ATP-Effizienz - erhöht werden (Lambers et al., 1980). Schließlich ist 3. eine verstärkte Refixierung veratmeten Kohlenstoffs über Phosphoenolpyruvatcarboxylase als eine aneuplerotische Reaktion (Warembourg und Roumet, 1989) denkbar.

Untersuchungen im Vergleich von vegetativer und generativer Wachstumsphase zeigten zwar teilweise eine leichte Verschiebung der Elektronenallokation (siehe auch Bethlenfalvay und Phillips, 1977) und/oder des Anteils unterschiedlich effizienter Atmungsarten (Adgo, 1995), in allen Fällen reichten jedoch die beobachteten Veränderungen bei weitem nicht aus, um die verbesserte C-Effizienz der N_2 -Fixierung zu erklären.

Eine mögliche Erklärung wäre jedoch eine verstärkte Refixierung von veratmeten CO_2 über Phosphoenolpyruvatcarboxylase (PEPC). Eine solche CO_2 -Fixierung findet in Leguminosenknöllchen in beachtlichem Umfang statt. Die PEPC-Konzentration kann die von jungen Maisblättern erreichen (Abb. 1), und es werden auch ähnliche Fixierungsraten je Einheit Trockensubstanz gemessen (Maxwell et al., 1984).

Abbildung 1: Vergleich der PEPC-Konzentration in jungen Maisblättern und Luzerneknöllchen

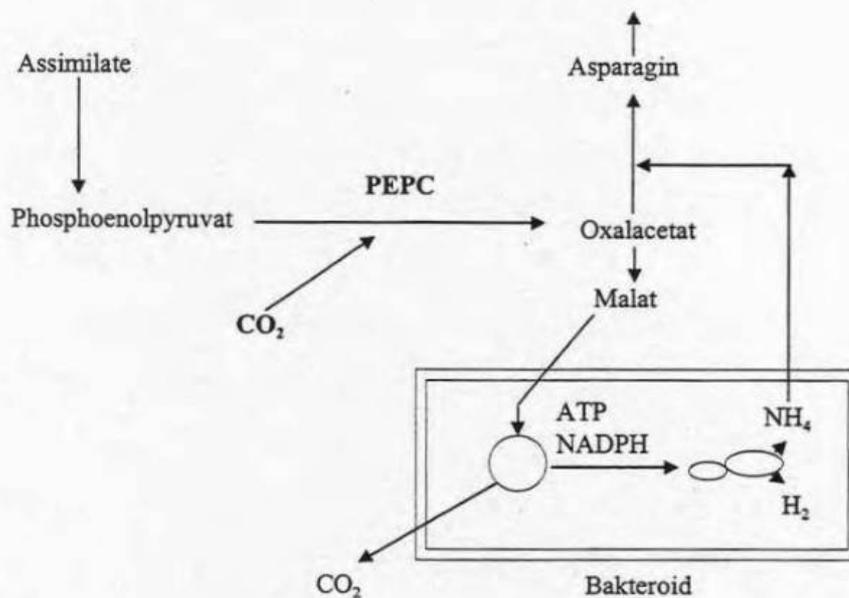
Das PEPC-Protein wurde auf diesem Western-Blot mit einem aus Kaninchen gewonnenen Antikörper sichtbar gemacht. Von links nach rechts: 1,5 μ g Proteinextrakt aus Luzerneknöllchen, 2 μ g Proteinextrakt aus Luzerneknöllchen, 1,5 μ g Proteinextrakt aus jungen Maisblättern, 2 μ g Proteinextrakt aus jungen Maisblättern je Bande aufgetragen.



Das auf diesem Wege gebildete Oxalacetat (Abb 2) kann entweder nach Reduktion zu Malat dem energetischen Antrieb der N_2 -Fixierung dienen, wodurch nur ein innerer Kreislauf für Kohlenstoff entsteht. Wird das Oxalacetat jedoch als Kohlenstoffgerüst für den Einbau von Ammonium genutzt, handelt es sich um eine Netto-Refixierung von Kohlenstoff. Erhöht sich also die CO_2 -Fixierungsrate der Knöllchen oder erhöht sich der Anteil des davon für den Stickstoffeinbau genutzten Kohlenstoffs, verbessert sich die C-Effizienz der N_2 -Fixierung. Um einen solchen Mechanismus für die Verschiebung der C-Effizienz der N_2 -Fixierung zweifelsfrei nachzuweisen, müssen sowohl die Gesamt- CO_2 -Fixierungsraten als auch die folgende Nutzung des fixierten Kohlenstoffs im Vergleich beider Wachstumsstadien bestimmt werden. Für ersteres gibt es auf der Basis von $^{14}CO_2$ -Applikation zur Wurzel experimentelle Hinweise, die sich jedoch noch nicht genau quantifizieren lassen (fehlende parallele Atmungsmessungen, Schulze, unveröffentlicht). Zwischen den CO_2 -

Fixierungs- und den N_2 -Fixierungsraten von Knöllchen lässt sich, zumindest bei Luzerne, eine enge Beziehung feststellen (Schulze et al., 1998). Möglicherweise können über die Beeinflussung dieses Prozesses kohlenstoffeffizientere Symbiosen erzeugt werden, die hohe N_2 -Fixierungsraten auch bei starker Assimilatkonkurrenz innerhalb der Pflanze oder in Zeiten verminderter Assimilatbereitstellung realisieren.

Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung der Rolle der CO_2 -Fixierung von Leguminosknöllchen über PEPC für den energetischen Antrieb der N_2 -Fixierung und den Stickstoffeinbau. Einzelheiten im Text.



Literatur:

- Adgo, E. (1995). Kohlenstoffbedarf der symbiontischen N_2 -Fixierung bei unterschiedlichen Kombinationen von *Rhizobium leguminosarum* mit Erbsen (*Pisum sativum* L.) und Ackerbohnen (*Vicia faba* L.). Diss. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
- Bethlenfalvay, G. J., und Phillips, D. A. (1977). Ontogenetic interactions between photosynthesis and symbiotic nitrogen fixation in legumes. *Plant Physiology* 60, 419-421.
- Lambers, H., Layzell, D. B., und Pate, J. S. (1980). Efficiency and regulation of root respiration in a legume: effects of the N source. *Physiologia Plantarum* 50, 319-325.
- Maxwell, C. A., Vance, C. P., Heichel, G. H., und Stade, S. (1984). CO_2 fixation in alfalfa and birdsfoot trefoil root nodules and partitioning of ^{14}C to the plant. *Crop Science* 24, 257-264.

- Merbach, W. (1998).** "Symbiontische N₂-Fixierung und N-Umsatz bei Leguminosen." In: Beiträge aus der Hallenser Pflanzenernährungsforschung, W. Merbach und L. Wittenmayer, eds., Universität Halle-Wittenberg, 43-70.
- Minchin, F. R. (1997).** Regulation of oxygen diffusion in legume nodules. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 881-888.
- Pate, J. S., und Layzell, D. B. (1990).** "Energetics and biological costs of nitrogen assimilation." In: The Biochemistry of Plants. A Comprehensive Treatise, B. J. Miflin und P. J. Lea, eds., Academic Press, San Diego · New York · Boston · London · Sydney · Tokyo · Toronto, 1-42.
- Ryle, G. J. A., Powell, C. E., und Gordon, A. J. (1979a).** The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover I. Nitrogen fixation and the respiration of the nodulated root. *Journal of Experimental Botany* 30, 135-144.
- Ryle, G. J. A., Powell, C. E., und Gordon, A. J. (1979b).** The respiratory costs of nitrogen fixation in soyabean, cowpea, and white clover II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. *Journal of Experimental Botany* 30, 145-153.
- Schulze, J., und Adgo, E. (1995).** Unterschiedliche C-Effizienz von Rhizobium-Leguminosen-Kombinationen bei Erbsen- und Ackerbohnen. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 76, 693-696.
- Schulze, J., Adgo, E., und Merbach, W. (1999).** Carbon costs associated with N₂ fixation in *Vicia faba* L. and *Pisum sativum* L. over a 14-day period. *Plant Biology*, in press.
- Schulze, J., Adgo, E., und Schilling, G. (1994).** The influence of N₂-fixation on the carbon balance of leguminous plants. *Experientia* 50, 906-912.
- Schulze, J., Shi, L., Blumenthal, J., Samac, D. A., Gantt, J. S., und Vance, C. P. (1998).** Inhibition of alfalfa root nodule phosphoenolpyruvate carboxylase through an antisense strategy impacts nitrogen fixation and plant growth. *Phytochemistry* 49, 341-346.
- Vance, C. P., und Heichel, G. H. (1991).** Carbon in N₂ fixation: limitation or exquisite adaptation. *Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 42, 373-392.
- Warembourg, F. R., und Roumet, C. (1989).** Why and how to estimate the cost of symbiotic N₂ fixation? A progressive approach based on the use of ¹⁴C and ¹⁵N isotopes. *Plant and Soil* 115, 167-177.

Veränderungen des pH-Wertes in der Nährlösung und im Xylemsaft von *Ricinus communis* in Abhängigkeit von der in der Nährlösung angebotenen Kationen- und Anionenart

Krähmer, R.

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Universität Kiel, Olshausenstraße 40,
D-24118 Kiel

Einleitung

Veränderungen des pH-Wertes in der Rhizosphäre sind bekanntlich in starkem Maße davon abhängig, zu welchen Anteilen der Stickstoff in der Nitrat- und Ammoniumform angeboten und von der Pflanze aufgenommen wird. Über den pH-verändernden Einfluß aller übrigen Kationen und Anionen ist jedoch wenig bekannt.

Zum Mechanismus der Nährstoffaufnahme und damit verbundener pH-Veränderungen wird folgende These aufgestellt:

Die Plasmalemma-gebundene ATPase erzeugt ein Potential, indem sie H^+ in den Apoplasten und anorganisches Phosphat (P_i) (vgl. Übersicht 1) in das Cytoplasma abgibt. Nährstoffaufnahme ist stets mit einer Erniedrigung dieses Potentials verbunden. Die ATPase wirkt dieser Erniedrigung durch entsprechende Aktivität entgegen. Dies ist jedoch nur zum Teil mit pH-Veränderungen in Apoplast und Cytoplasma verbunden.

Wenn Kationen und Anionen ladungsmäßig mit gleicher Rate aufgenommen werden, führt die Aufrechterhaltung des Potentials durch die ATPase nicht zu einer pH-Veränderung; denn diese Konstellation entspricht der Summe der in den Übersichten 1 und 2 angegebenen Abläufe. Befinden sich im Apoplasten keine Ionen (keine Nährstoffaufnahme), so tritt keine meßbare pH-Veränderung auf, da das durch die ATPase erzeugte Potential räumlich sehr begrenzt ist.

Werden jedoch Kationen und Anionen ladungsmäßig nicht mit gleicher Rate aufgenommen, so führt dies zu meßbaren pH-Veränderungen in Apoplast und Cytoplasma:

Besteht die Nährlösung aus leicht aufnehmbaren Kationen und schwer aufnehmbaren Anionen (z. B. K_2SO_4), so erniedrigen die vom Apoplasten in das Cytoplasma überführten K^+ -Ionen das Potential (vgl. Übersicht 1). Die ATPase wird in Gang gesetzt. Sie pumpt eine den K^+ -Ionen äquivalente Menge H^+ in den Apoplasten und P_i in das Cytosol. Diese Wiederherstellung des Potentials ist mit meßbaren pH-Veränderungen in beiden Kompartimenten verbunden: Im Apoplast sinkt der pH-Wert. Im Cytoplasma steigt er, weil P_i infolge Hydrolyse OH^- erzeugt, z. B. gemäß $HPO_4^{2-} + H_2O \rightarrow H_2PO_4^- + OH^-$.

Der pH-Anstieg im Cytoplasma induziert Carboxylierung, wobei OH^- verbraucht werden. Dadurch wird der pH-Wert im Cytoplasma wieder auf das ursprüngliche Niveau abgesenkt. Die Pflanze weist einen erhöhten Gehalt an organischen Säuren (HIATT, 1967) und erhöhte CO_2 -Fixierung (HIATT u. HENDRICKS, 1967) auf.

Besteht die Nährlösung aus schwer aufnehmbaren Kationen und leicht aufnehmbaren Anionen (z. B. $CaCl_2$), so werden 1 Cl^- und 2 H^+ an ein Proteinmolekül gebunden und als $[H_2TPCl]^+$ durch das Plasmalemma transportiert (vgl. Übersicht 2). Die damit verbundene Erniedrigung des Potentials setzt die ATPase in Gang; diese stellt das ursprüngliche Potential wieder her. Aus $[H_2TPCl]^+$ werden 2 H^+ und 1 Cl^- in das Cytoplasma freigegeben. Im Apoplasten steigt der pH-Wert an. Im Cytoplasma erniedrigt er sich, da in diesem Kompartiment im Vergleich zum Ausgangszustand 2 H^+ und 1 P_i (Σ der Ladungen = -1) zusätzlich gebildet wurden.

Der pH-Abfall im Cytoplasma induziert Decarboxylierung (H^+ -Verbrauch), wodurch der pH-Wert stabilisiert, d. h. auf das ursprüngliche Niveau wieder angehoben wird. Die Pflanze weist einen

verminderten Gehalt an organischen Säuren (HIATT, 1967) und verminderte CO₂-Fixierung (HIATT u. HENDRICKS, 1967) auf.

Die Netto-Ionenaufnahme der Pflanze ist am größten, wenn Kationen und Anionen gleichermaßen leicht aufnehmbar sind (z. B. KCl). Sie ist vermindert, wenn Kationen und Anionen nicht in gleichem Maße leicht aufnehmbar sind (z. B. K₂SO₄ oder CaCl₂), weil es dann zu pH-Veränderungen kommt, denen durch energieaufwendige Carboxylierung bzw. Decarboxylierung entgegengewirkt werden muß. Wenn Kationen und Anionen in gleichem Maße schwer aufnehmbar sind, ist die Netto-Ionenaufnahme ebenfalls beeinträchtigt; es kommt jedoch nicht zu pH-Veränderungen.

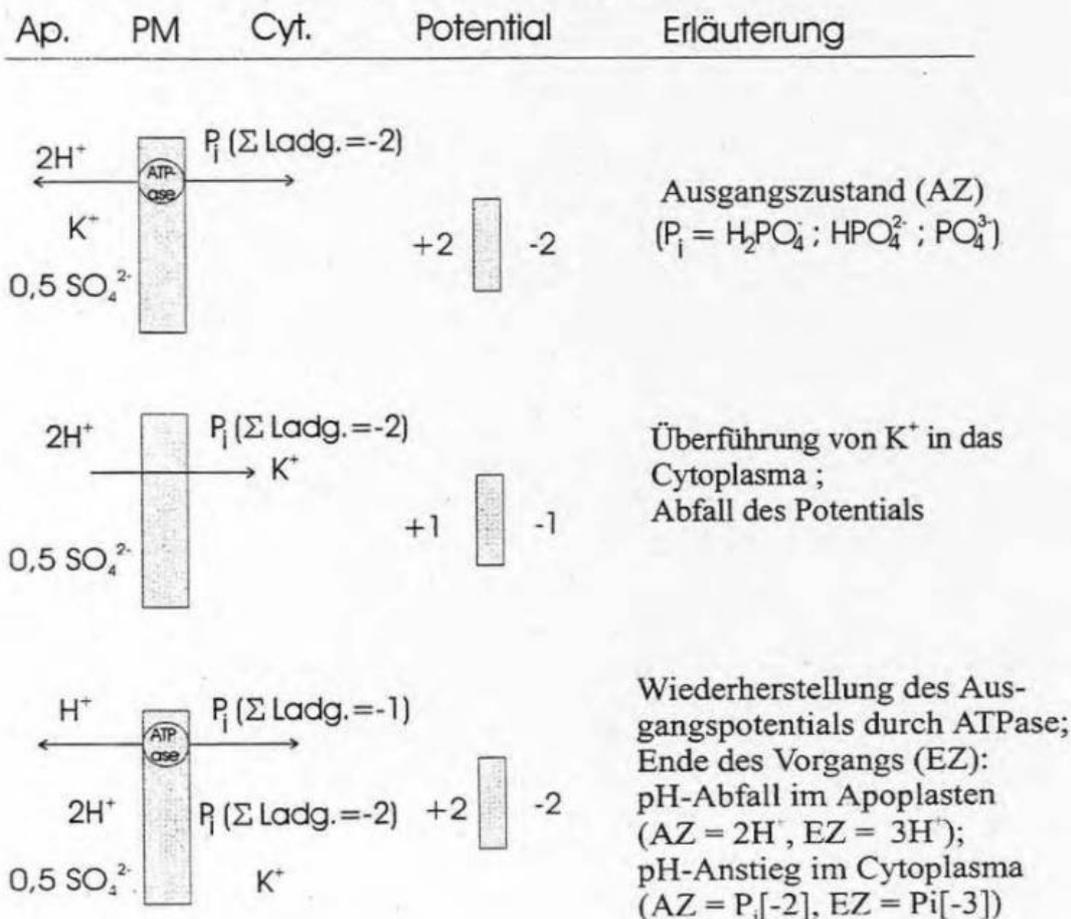
Die pH-Veränderung setzt sich über den Apoplasten und das Xylem bis in die Rhizosphäre fort, ganz gleich, ob es einen symplastischen oder apoplastischen Weg des Nährstofftransports gibt. Für die zu erwartende pH-Änderung ist das Verhältnis der Konzentrationen von leicht aufnehmbaren Kationen zu leicht aufnehmbaren Anionen (in mVal) maßgebend.

Das Ziel der Untersuchungen bestand zunächst darin, für einzelne Kationen und Anionen die pH-verändernde Wirkung in der Nährlösung zu bestimmen.

Material und Methoden

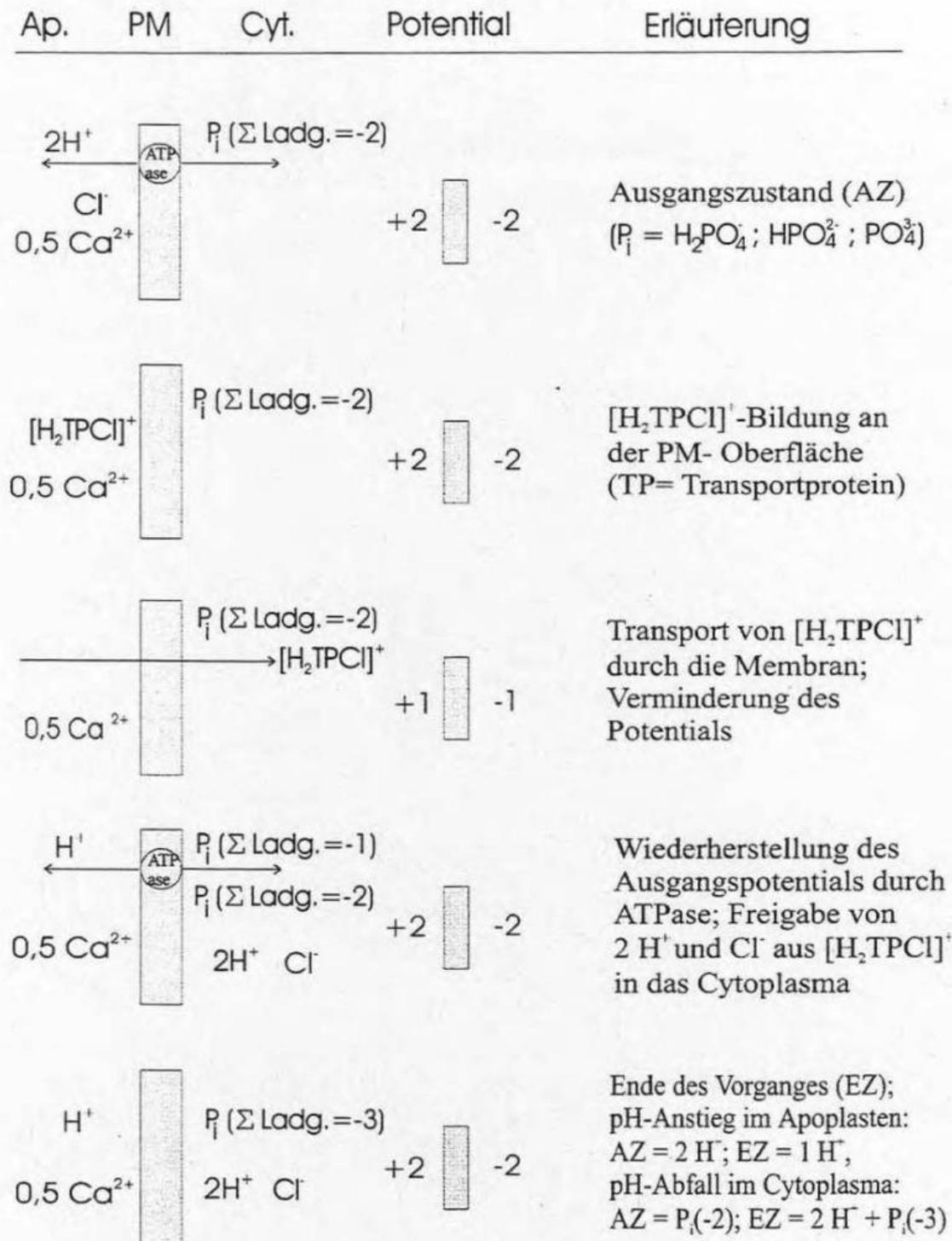
Harmonisch ernährte juvenile Ricinuspflanzen wurden auf 15 verschiedene Einzelsalz-Nährlösungen (Kationen: NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺; Anionen: NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) umgesetzt und in kurzen Abständen wurden die pH-Veränderungen in diesen Nährlösungen gemessen. Nach etwa 53 h war Konstanz erreicht. Zu diesem Zeitpunkt erfolgte unmittelbar unterhalb der Ansatzstelle des ersten Blattes die Dekapitierung. In etwa 10-minütigem Abstand wurde Xylemsaft entnommen, jedoch nur bei den Pflanzen der Prüfglieder KNO₃ und NH₄NO₃.

Übersicht 1: Mechanismus bei überschüssiger Kationenaufnahme



Übersicht 2:

Mechanismus bei überschüssiger Anionenaufnahme



Ergebnisse

Für die Kationen ergab sich hinsichtlich ihrer pH-erniedrigenden Wirkung in der Nährlösung im Mittel der 3 Reihen mit verschiedenem Anion die Rangfolge $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ (vgl. Abb. 1) und für die Anionen wurde hinsichtlich ihrer pH-erhöhenden Wirkung in der Nährlösung im Mittel der 5 Kationreihen die Rangfolge $\text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ erhalten (vgl. Abb. 2). Im Xylemsaft zeigten sich die für KNO_3 und NH_4NO_3 in der Nährlösung erzielten pH-Veränderungen in stark abgeschwächter Form.

Diskussion und Schlußfolgerungen

Insgesamt bestätigen diese ersten Versuchsergebnisse, daß pH-Veränderungen in der Nährlösung nicht nur von der angebotenen N-Form, sondern vom Gesamtionenangebot abhängig sind. Im Vergleich zu NH_4^+ und NO_3^- ist die pH verändernde Wirkung der übrigen Kationen und Anionen jedoch nur gering.

Die stark pH verändernde Wirkung von NH_4^+ und NO_3^- dürfte weniger eine Folge der hohen Aufnahmeraten dieser Ionen sein, sondern eher eine Folge ihrer Metabolisierung, bei der H^+ bzw. OH^- entstehen.

Die Ernährung der Pflanzen einerseits mit KNO_3 und andererseits mit NH_4NO_3 bewirkte im Xylemsaft nur einen geringen pH-Unterschied. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, daß H^+ bzw. OH^- -Ionen entweder nicht über das Xylem in die Rhizosphäre gelangen oder bereits vor der Dekapitierungsstelle des Xylems freigegeben werden. Dies würde auch verständlich machen, daß bei NH_4^+ -Ernährung der Pflanze im Xylem zum Teil erhöhte pH-Werte gefunden werden.

Bestand die Nährlösung aus leicht aufnehmbaren Anionen (NO_3^- , Cl^-) und schwerer aufnehmbaren Kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+), so führte dies nur zu geringfügig höheren pH-Werten in der Nährlösung als beim Vorhandensein dieser Anionen und K^+ (leicht aufnehmbares Ion) in der Nährlösung (vgl. Abb. 1). Dieser Befund könnte ein Hinweis darauf sein, daß in solchen Fällen zur Ladungskompensation nicht OH^- -Ionen, sondern Anionen organischer Säuren in den Apoplasten abgegeben werden.

Literatur

Hiatt, A. J. (1967). Relationship of cell sap pH to organic acid change during ion uptake. *Plant Physiol.* 42, 294-298.

Hiatt, A. J. and Hendricks, S. B. (1967). The rôle of CO_2 -fixation in accumulation of ions by barley roots. *Z. Pflanzenphysiol.* 56, 220-232.

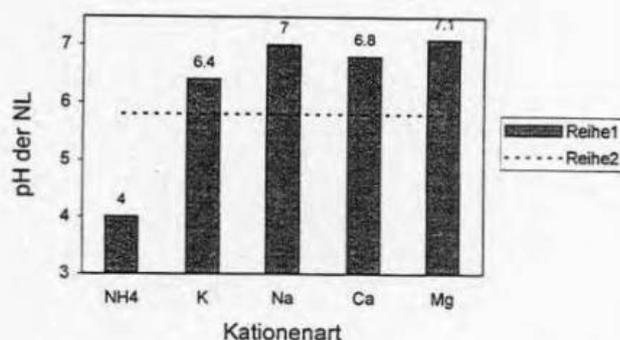


Abb. 1: Einfluß der Kationenart auf den pH-Wert der Nährlösung (NL) bei Nitrat (2 mM) als Anion (Reihe 1: pH nach 53 h; Reihe 2: Ausgangs-pH)

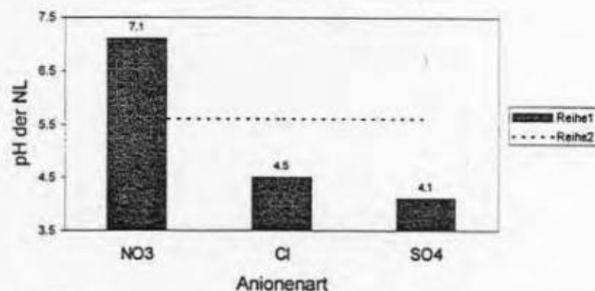


Abb. 2: Einfluß der Anionenart auf den pH-Wert der Nährlösung (NL) bei Mg^{2+} (2 mM) als Kation. (Reihe 1: pH nach 53 h; Reihe 2: Ausgangs-pH)

Weitere Untersuchungen, insbesondere über eine mögliche Abgabe organischer Anionen in die Nährlösung und zur Quantifizierung der Ionenaufnahme aus der Nährlösung, sind erforderlich.

Migration von Verbindungen aus den Wurzelabscheidungen von Apfelsämlingen (*Malus × domestica*) der Sorte ‚Bittenfelder Sämling‘ im Boden

Wittenmayer, L. und Merbach, W.

Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung,

Martin-Luther-Universität Halle – Wittenberg, Adam-Kuckhoff-Straße 17b, D-06108 Halle, e-mail:
wittenmayer@land.uni-halle.de

Einleitung

Nach bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen (Westcott und Beer, 1987) wird die Bodenmüdigkeit beim Apfel mit ziemlicher Sicherheit durch wurzelpathogene Actinomyceten hervorgerufen. Über den Infektionsmechanismus ist wenig bekannt. Ein starker Actinomycetenbefall der Wurzel wird im Zeitraum des intensiven Sproßwachstums bei aktiver Terminalkospe beobachtet. Stellt die Terminalkospe ihr Wachstum ein, geht auch die Neuinfektion zurück. Eine Sproßbehandlung von Apfelsämlingen mit Phytohormonen (1-Naphthyllessigsäure) erhöhte die Infektionsrate der Wurzel (Winkler *et al.*, 1995). Die Erkrankung zeichnet sich durch eine gewisse Spezifität aus, da z. B. Kirschpflanzensämlinge auf apfelmüdem Boden sich normal entwickeln.

Diese Befunde könnten sich so deuten lassen, daß Wurzelabscheidungen von Apfelpflanzen Ruheformen des Erregers aktivieren, die dann virulent werden. Wenn diese Vermutung zutrifft, sollten die fraglichen Substanzen nur bei Apfelsämlingen, und zwar nur in der zur Infektion fähigen Wachstumsphase in den Wurzelabscheidungen auftreten. Die Abgabe der Verbindungen sollte durch entsprechende Hormonbehandlung gefördert werden.

Tatsächlich wurden in den Wurzelabscheidungen von Apfelsämlingen zwei Substanzen — Mannitol und Sorbitol — identifiziert, die diese Kriterien erfüllen. In der vorliegenden Untersuchung wurde der Frage der Bewegung dieser Verbindungen von der Wurzeloberfläche in den Boden nachgegangen, um abschätzen zu können, welchen Aktionsradius diese potentiellen Signalstoffe besitzen.

Methode

Bodenblockmethode

Zur Beurteilung der Migration von Sorbitol und Mannitol im Boden kam die Bodenblockmethode zur Anwendung (Ležovič, 1998). Hierzu wurde lufttrockener, gemörserter und auf 0,2 mm abgesiebter, apfelmüder Boden (*pH* 7,0) in einen Plexiglascontainer (1 cm × 2 cm × 2 cm) eingefüllt und auf 1,5 g/cm³ verdichtet. Auf die Stirnseite des Bodenblockes wurden 1,8 ml einer 14 mM Zuckeralkohol-Lösung getropft (jeweils 25 µmol Mannitol und Sorbitol). Die Substratfeuchte des Bodens erreichte

dabei 24 % der maximalen Wasserkapazität. Die offenen Stirnseiten des Bodenblockes wurden mit Parafilm überzogen, anschließend der gesamte Container mit Klebeband, Aluminiumfolie und Paraffin abgedichtet, um Wasserverluste durch Verdunstung auszuschließen. Bis zum Eintauchen der Blöcke in flüssigen Stickstoff lagerten die versiegelten Container 72 h bei Raumtemperatur. Mit Hilfe eines Gefriermikrotoms wurden 0,4 mm starke Schnitte angefertigt, von denen jeweils vier aufeinanderfolgende vereinigt wurden. Eine separat untersuchte Bodenschicht entsprach somit einer Bodenblocklänge von 1,6 mm. Insgesamt ergaben sich zwölf Schnitte pro Bodenblock. Die Bodenschnitte wurden bei $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ gefriergetrocknet. Als Vergleich dienten mit Gammastrahlen sterilisierte Bodenblöcke (^{60}Co , 40 kGy).

IEC

Die Ionenaustauscher-Chromatographie diente der präparativen Aufbereitung der Proben. Es kam hierbei ein starker Anionenaustauscher vom Typ SAX und ein starker Kationenaustauscher vom Typ SCX — jeweils mit einem 500-mg-Säulenbett — zur Anwendung (Johnson *et al.*, 1996). Zunächst wurde der Anionenaustauscher mit 2 ml 100%igem Methanol konditioniert und mit 4 ml 50%igem EtOH vorgewaschen. Anschließend erfolgte die Beladung der Säule mit den in 2 ml 50%igen EtOH aufgenommenen Bodenschnitten. Saure Verunreinigungen verblieben auf der SAX-Säule, während basische und neutrale Bestandteile den Ionenaustauscher ungehindert passierten. Nachfolgendes Waschen der Säule mit 2 ml 50%igem EtOH diente zur Absicherung der quantitativen Ausbeute. Anschließend war eine Aufkonzentrierung der Lösung mit den neutralen und basischen Verbindungen am Vakuumrotationsverdampfer bei $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ erforderlich. Der Rückstand wurde in 1 ml 50%igem EtOH (mit 1 N HCl auf *pH* 2 eingestellt) gelöst und auf einen mit 2 ml 100%igem MeOH konditionierten und anschließend mit 2 ml eines EtOH-HCl-Gemisches (absolutes EtOH : 37%ige HCl, 98 : 2 v/v) vorgewaschenen Kationenaustauscher geladen. Im Unterschied zu den neutralen Verbindungen verblieben die basische Verunreinigungen auf der SCX-Säule. Zur Absicherung einer quantitativen Ausbeute (Wiederfindungsquote in der IEC für Sorbitol und Mannitol betrug über 95 %) wurde die Säule mit 2 ml 50%igem EtOH gewaschen. Die Lösung mit den neutralen Verbindungen wurde am Vakuumrotationsverdampfer bei $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis zur Trockne eingeeengt und der Rückstand in 0,5 ml deionisiertem Wasser gelöst.

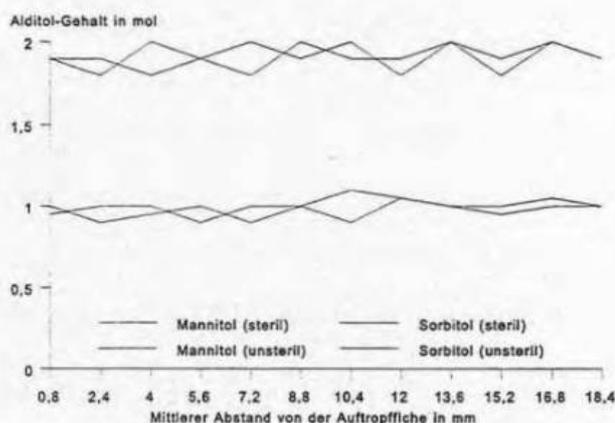
HPLC

100 μl dieser Lösung wurde für die Analyse verwendet. Die Probentrennung erfolgte auf einer Rezex-Säule (RCM-Monosaccharide, 300 mm \times 7,8 mm) mit Vorsäule. Die Säulentemperatur betrug $75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Als Laufmittel kam Wasser zur Anwendung, das mit einer Fließgeschwindigkeit von 0,6 ml/min bei

einem Druck von 29 bar durch die Säule gepumpt wurde. Die Detektion erfolgte mit Hilfe eines Brechungsindex-Detektors. Die Retentionszeiten für Mannitol und Sorbitol betragen 19,7 bzw. 23,6 min.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Bodenblockanalyse zeigt Abb. 1.



Aus der Abbildung geht hervor, daß sich nach drei Tagen Inkubation die beiden untersuchten Zuckeralkohole im gesamten Bodenblock gleichmäßig ausgebreitet haben. Zwischen Mannitol und Sorbitol konnten keine Unterscheide hinsichtlich ihrer Verteilung im Boden festgestellt werden. Dieses Ergebnis stimmt gut mit Resultaten von Ležovič (1998) überein, die nach einer Inkubationszeit von drei Tagen für Zucker (Glucose) ebenfalls eine weitestgehend gleichmäßige Verteilung über eine Distanz von 2 cm festgestellt hat, während für Aminosäuren und Carbonsäuren ein Konzentrationsgefälle von der Auftropfstelle zur gegenüberliegenden Bodenblockseite bestand. Neutrale Verbindungen besitzen somit gute Voraussetzungen für einen weiten Transport innerhalb des Bodens und könnten somit als Signalstoffe über größere Distanzen wirksam werden. Die geringe Wechselwirkung zwischen Boden und Alditolen zeigt sich auch in der nach drei Tagen aus dem sterilisierten Boden extrahierbaren Mannitol- bzw. Sorbitol-Menge.

Beim Vergleich von apfelmüden mit sterilisiertem Boden ist festzustellen, daß sich im nichtsterilisierten Boden jeweils nur noch die Hälfte des betreffenden Zuckeralkohols nachweisen ließ, was auf eine mikrobielle Aktivität und damit verknüpfte Metabolisierung der beiden Zuckeralkohole im apfelmüden Boden hinweist.

Literatur

- Johnson, J. F.; Allan, D. L.; Vance, C. P.; Weibeln, G., 1996: Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient *Lupinus albus*. Contribution to organic exudation by proteoid roots. *Plant Physiol.* **112**: 19-30.
- Ležovič, G., 1998: Verhalten und Metabolisierung wasserlöslicher Wurzelabscheidungen in der Rhizosphäre. In: *Pflanzenernährung, Wurzeleistung und Exsudation*. 8. Borkheider Seminar zur Ökophysiologie des Wurzelraumes. Hg. W. Merbach. Stuttgart, Leipzig: Teubner Verlagsgesellschaft, 230-237.
- Westcott, S. W. III., und S. V. Beer, 1987: Invasion of the epidermis and cortex of apple roots by actinomycetes. *Current Plant Sci. Biotechnol. Agricult.* **4**: 717-721.
- Winkler, H.; Szabó, K.; Wittenmayer, L.; Gransee, A., 1994: Unterschiedliche Wurzelabscheidungen als mögliche Ursache für die Spezifität der Bodenmüdigkeit bei Obstgehölzen? Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Pflanzenernährung. Kurzfassungen der Vorträge und Poster. PII-

Timing effect of in-season N application and planting date on yield and smut disease potentials in corn cultivars

Soliman, M. F.*; Kostandi, S. F.** and Ghaly, A.A.*

*Agricultural research centre, Soil, Water and Environment Research Institute, Soil Salinity Research Department, 21616 Bacos, Alexandria, Egypt and ** Agricultural Research Center, Plant Pathology and Crop Protection Research Station, 21616 Bacos, Alexandria, Egypt.

Abstract

The timing effect of in-season N application, planting date and cultivar response to grain yield (GY), dry matter (DM) and smut disease performances were studied under field conditions in 1992 and 1994. A 5 x 2 x 2 factorial experiment, including: 5-timing of N treatments, applied at a rate of 120 kg/acre (all preplant; 2-splits, 1:1 pp/GS8, 1:1 pp/GSk, 1:1 GS8/GSk and 3-splits, 1:1:1 pp/GS8/GSk), two planting dates (early on May and late on July) and two different corn cultivars (Giza 2 and D.H. 215) were used in randomized block design with three replications. The plants were artificially infected with *U. maydis* spores, at 8-leaf growth stage, and the severity was rated. At maturity, GY, DM and DM/GY ratio were recorded. Results have shown that yield performance varied markedly among N-timing treatments, being the lowest at pp and pp/GS8 and the highest at the 3-splits or pp/GSk. The yield advantage of the 3-splits application, as opposed to the pp treatment, was about 8.9 %. Mixed results were found on DM yield along all N treatments. The relationship between DM/GY ratio was positively correlated ($r = 0.8810$). Corn plants grown on a late season were lower in GY, higher in DM/GY ratio and more susceptible to smut disease than those planted early. Significant differences in GY data, DM and SI were clearly manifested among corn cultivars. Recommendation is being suggested to the application of DM/GY ratio in evaluating smut disease reaction among corn hybrids and lines.

Introduction

The prevalence of smut disease in corn, induced by *U. maydis* (D.C.) Corda, is governed by numerous interacting genetic and environmental factors. Despite the impressive progress that has been maintained for a longer time for improving the resistance to smut disease (Bojanowski, 1969, Kostandi, 1987 and Krueger, 1985), considerable interest is being centred on environmental factors, as a management practice, to manipulate disease reaction. Previous studies showed that N fertilization (Milis et al., 1982 and Kostandi and Soliman, 1997a), soil moisture supply (Kostandi and Soliman, 1997b), salt stress (Soliman and Kostandi, 1997) and plant density (Kostandi, 1992) are among variables that induce changes in plant growth and subsequently exert marked deviations in smut severity.

In-season N application and planting date are additional factors that affect yield and smut disease potentials in corn genotypes. Earlier reports (Bundy et al., 1983 and Timmons and Backer, 1991) showed increased grain yields and more N efficient use by corn when N was delayed several weeks postemergence rather than before planting. Unlike, delayed N applications resulted in either no effect or slight decrease in dry matter yield (Jokela and Randall, 1989). Additional data (Jung et al., 1972) demonstrated that excessive delay in N application was conducive for further yield reductions. Reported data on the effect of in-season N application and planting date on smut disease occurrence in corn are still limited and incomplete. Preliminary results revealed that smut severity was increased when corn was seeded early (Dracea, 1970). In contrast, Polyakov et al. (1976) and Ullstrup (1969) reported less and/or no remarkable differences in smut incidence on the delayed dates. Based on the contradictory results, the present study was undertaken to provide further information on the timing effect of in-season N application and planting date on yield and smut disease potentials of different smut susceptible corn cultivars.

Materials and methods

Field trials were conducted at the Experimental Research Station, Alexandria, Egypt, in 1992 and 1994. The experiments were arranged in a complete randomized block design with three replicates. Treatments were a factorial combination of 120 kg N/acre, applied at 5 different times through the growth period in each year, two sowing dates and two corn cultivars, differing in their smut reaction. Timing of N applications were: preplant (pp); 2-splits, 1:1 pp/GS8 (8-leaf growth stage),

1:1 pp/GSk (silking growth stage), 1:1 GS8/GSk and 3-splits, 1:1:1 pp/GS8/GSk. Corn cultivars, namely, Giza 2 and D.H. 215, were used to evaluate their smut reaction. Each individual plot contained five rows, 70 cm apart and 3.0 m long.

Prior planting, all plots were fertilized with K and P fertilizers. The kernels of corn cultivars were planted early and late during the first week of May and July, respectively, in each year, keeping the population density 19000 plant/acre. Nitrogen was hand applied, 5 cm deep in the midway between rows. The plants were artificially infected at 6- and 10-leaf stages, by dropping 2 ml of *U. maydis*-spore suspension (0.1 %) from an automatic syringe, into leaf whorl. Whenever the disease symptoms appeared, the severity was rated on a 1 - 9 scale, according to Kostandi and Geisler (1989). To follow up the effect of planting date on smut incidence, the meteorological data were collected from the Meteorological Department, Ministry of Agriculture and the mean values over the respective two growing seasons are summarized in table 1. At maturity, dry matter (DM) and grain yield (GY) were determined on 5 random plants in each plot. Analysis of variance (ANOVA) and correlation analysis were carried out on a 2-year combined data, using SAS program. The least significant difference (LSD) was calculated to compare the treatments' means.

Table (1): Mean monthly temperature (T), relative humidity (R.H.), sunshine duration (Sun D.), Solar radiation (Sol. R.), rainfall (P) and evapoation rate (ET) prevailing in Alexandria region during the two growing seasons.

Month	Aver. T, C	R.H., %	Sun D., hr.	Sol. R., MJ/m/day	P, Mm	ET, mm/day
Early planting						
May	21.30	67	9.20	23.60	1.50	4.90
June	24.30	69	11.50	27.30	0.00	5.70
July	25.90	72	10.90	26.10	0.00	5.80
August	26.50	71	10.00	23.80	0.30	5.50
Late planting						
July	25.90	72	10.90	26.10	0.00	5.80
August	26.50	71	10.00	23.80	0.30	5.50
September	25.60	68	8.80	20.20	1.00	4.90
October	22.50	68	7.60	15.80	9.30	3.70

Recorded data were received from the Meteorological Department, Ministry of Agriculture.

Results and discussion

Of the plots receiving preplant N application (pp), lower GY was generally observed. Conversely, corn plants supplied with 3-split N additions produced the highest yield, as opposed to the other N treatments. The yield performance associated with 2-split N applications are quite different, varying from lower records, when N was equally supplied at GS8/GSk or pp/GSk, to a higher yield at pp/GS8 treatment. The advantage in GY for the 3-split N application, over the pp treatment, averaged 8.9 %, followed by 7.0 % for the 2-splits at pp/GS8. The lower GY response for the preplant N treatment indicates that when N is applied in excess over the needs at the early vegetative stage, large amounts of the applied N fertilizer was subjected to losses by leaching, denitrification and volatilization, associated with low N uptake efficiency and grain yield production.

On the contrary, by 3 split-applying fertilizer more available and continuous N supply was released to meet the crop needs during the course of growth period. Furthermore, delayed N fertilizer supply, particularly at silk emergence was less efficiently utilized by plants than its applications at 8-leaf stage. These results are in agreement with the data reported by Jung et al. (1972) and Russelle et al. (1983), who found that N applications during thr 5th, 6th, 7th or 8th week after planting produced similar corn grain yields, while its addition after the 8th week acted to reduce the GY sharply. Additional data (Bundy et al., 1983) showed increased yield and more efficient N fertilizer by corn when N was delayed several weeks postemergence rather than preplanting.

Table (2): Effect of in-season N applications(120 kg/acre), planting dates on grain yield (GY), dry matter (DM), DM/GY ratio and smut index (SI) in corn cultivars.

Treatment	GY, g/plant	DM, g/plant	DM/GY ratio	SI, rel. value
Timing of N application (Ti)				
pp	158	196	1.24	2.25
pp/GS8, 1:1	169	218	1.29	2.37
pp/GSk, 1:1	162	199	1.23	2.05
GS8/GSk, 1:1	158	205	1.30	2.60
pp/GS8/GSk, 1:1:1	172	210	1.22	2.09
LSD, 5%	6	8	0.04	0.10
Planting date (D) :				
Early	169	198	1.17	2.21
Late	159	213	1.34	2.33
LSD, 5%	4	5	0.03	0.06
Corn cultivars (C) :				
Giza 2	170	208	1.22	1.77
D.H. 215	157	204	1.30	2.77
LSD, 5%	4	n.s.	0.03	0.06
ANOVA				
Source	d.f	F significance		
Ti	4	**	*	**
D	1	**	*	**
C	1	**	n.s	**
Ti x D	4	n.s	*	n.s
Ti x C	4	n.s	*	**
D x C	1	n.s	n.s	n.s.
Ti x D x C	4	n.s	*	n.s

*, ** significant at P = 0.05 and 0.01, respectively; n.s not significant at P = 0.05

The timing effect of in-season N application on DM yield did not coincide quite closely with GY data. The results showed that 2-split N applications (pp/GS8) was more superior over the 3-splits or any other N treatments. Mixed results with different significant effects were, however, existed on DM along the N treatment variables (Table 2). Because of the differential effects of in-season N applications on GY and DM yield potentials, growth vigor expression, as defined by DM/GY ratio, was introduced to better understand the role of in-season N applications on the deviation of smut disease severity in corn. Results have shown that the plants characterized by higher DM/GY ratio were more subjected to severe smut infection than those having lower ratios (Table 2). It is evident that 2-split N additions (pp/GS8) enhanced the vigor growth, creating more favourable conditions to fungus attack with subsequent severe infection. Similar results were detected on plants receiving N supply at SG8/GSk. Unlike, limited smut infection was observed on plants provided with 3-split N applications, indicating that the management of N supply throughout the growth period was beneficial, not only for avoiding excessive vegetative growth, but also for producing a balanced DM/GY ratio. The relationship between DM/GY ratio and SI, as estimated by the correlation coefficient, was positively correlated ($r = 0.8810$). The calculated value of the

determination of coefficient proved that 77.6 % of SI variations were attributed to the changes in DM/GY ratio.

Plants seeded early yielded greater grains with lower DM than those planted on a late date (Table 2). On average, the advantage in GY at early planting date, was 6.3 %. The comparable reduction in DM accounted for 7.0 %. Several explanations were offered to explain why early planted corn generally yielded better. One factor often mentioned is that the grain formation occurs when days are longer and the sun is at a steeper angle of incidence and thereby more radiant energy becomes available for leaf expansion and photosynthesis (Graybill et al., 1991 and Otegui et al., 1995). The results also showed that corn plants grown on a late season were more vigorous, higher in DM/GY ratio and more susceptible to smut infection than those planted early (Table 2). Taking the second and third month of each planting date, as a critical period for smut incidence, it is evident that although the mean monthly temperature was lower during the early planting date, sunshine duration, solar radiation and evaporation demand (pan evaporation) were relatively higher than the corresponding data of the late planting date (Table 1). Obviously, the increase in SI during the late planting could be inferred to the changes in weather conditions in August and September that might induce alterations in growth pattern, expressed by increasing number of meristematic tissues and nodel bunds for a longer time period (Christensen, 1963 and Krueger, 1973) and encouraging plant succulence (Kommedahl, 1984), causing the cell wall thinner and vulnerable to penetration by fungus. This explanation holds true, as far the SI was positively correlated with the DM/GY data.

Varietal response to GY and DM and SI potentials are quite different. The Giza 2 cultivar was relatively less infected and more superior in GY performance, as opposed to the D.H. 215. The results also proved that DM/GY ratio was the best expression to describe the deviation in smut disease severity than the absolute DM yield. In drawing conclusion, attention should be given to the 3-split N application and early planting to achieve better results on GY and smut disease potentials. Recommendation is being awarded to the application of DM/GY ratio in evaluating smut disease reaction of corn hybrids and lines.

(The given literature may be viewed at the author.)

Long-term field experiments - Basis and touchstone of agroecosystem modelling

Schultz, A.; Mirschel, W.; Lutze, G. and Wenkel, K.-O.

ZALF, Institute for Landscape Modelling,
Eberswalder Str.84, D-15374 Müncheberg

1 Introduction and Problem

Agroecosystem modelling particularly deals with the mathematical-cybernetic description of matter, energetic and informational interactions of cultivated plants with their abiotic (weather, site conditions a. o.) and biotic (wild plants and animals, pests and diseases a. o.) environment as well as the controlling influence of man. Theoretical agroecosystem studies are the main goal of scientifically, and risk assessments and forecasts of future developments are the main goal of practically oriented agroecosystem modelling.

Experimental data and knowledge are indispensable to the whole process of model creation, testing and application. Agroecosystem modelling especially needs information on water and nutrient flows, biomass accumulation and yield formation, courses of pests and diseases and the influence of cultivation practices within standing crops. The expectation to abolish existing knowledge and data deficits and to create continuously better models by expanding investigation intervals and measuring more intensively, cannot be fulfilled. Data on agroecosystems are never free from uncertainty as well as particular local and temporal features. Natural variability, and uncertainty dependent on persons and equipment act likewise. Beside this, the model developer is actually in the following dilemma:

- (1) extensive and long-run measurements are necessary to derive hierarchies, functional dependencies and adaptation mechanisms of agroecosystem components,
- (2) experimental time and resources are limited conditioned by economic reasons,
- (3) obtained knowledge will become depreciated for a practical use due to e.g. breeding progress, new and modified cultivation practices or arising resistance of pests against pesticides

2 Experimental designs for modelling requirements

Agroecosystem modelling is asked to create special model guided experimental plans in order to consider the conflicting data and knowledge requests. The certain challenge is to realize relevant observations and measurements of the interaction system atmosphere – plant – soil - man accessible on the standing crop level over a longer period with the same time at the same site. This holistic principle of data acquisition was realized with a holistic field experiment at the experimental station

of Hohenfinow from 1987 till 1997 in order to develop, improve and test complex dynamic simulation models for describing agroecosystems.

3 Geographic location of experimental station

The experimental station of Hohenfinow is located in the district of Barnim in the northeast of the federal state of Brandenburg (52.1 °N, 14 °E, 55 - 62 m above NN). The site is typical for the older young moraine landscape of Northeast Germany. The site conditions are characterized by the regional site type D3a2 and the predominant soil formation 'sandy layer overlaying loam layer - lessivé' (Ah/Bt/C-profile) and 'sandy brown soil' (Ah/Bv/C-profile). The average site quality index is 36. From the viewpoint of climate the experimental station is situated in the transition area from subatlantic to subcontinental climate (1951 - 1980: yearly mean temperature 8.16 °C, yearly mean precipitation sum 547 mm).

4 Measurements and observations

The experiment contains a six field crop rotation (potatoes, winter wheat, winter barley, oil seed rape, winter rye and maize). Primary data collection concentrated on:

- Weathering within the standing crops and on a neighbouring short cut lawn area (daily courses for minimum and maximum temperatures, global radiation, precipitation, wind speed and air humidity);
- Crop stand information (ontogenesis, above and below-ground biomass in fractions, nutrition uptake by crop stand);
- Soil information (moisture and nutrients dynamics in three layers up to 90 cm and daily soil temperature courses in three depths up to 50 cm);
- Population and epidemics courses of pests and diseases;
- Management information (tillage, sowing/planting, fertilization, plant protection, harvest).

5 Results

On the basis of different data and information sources (closed growth chamber experiments, holistic field experiments at different locations like e. g. at Hohenfinow) the agroecosystem model family AGROSIM was developed (Wenkel and Mirschel, 1995). Till now the winter wheat component model of AGROSIM was successfully applied to different German and other European locations (Mirschel et al., 1999). Figure 1 shows exemplarily the comparison between simulated and measured soil moisture courses for field 5 at the Hohenfinow experimental station during the time

period 1991 - 1997. For the same time period the AGROSIM simulated above-ground biomass courses for winter wheat, winter barley and winter rye are shown in figure 2.

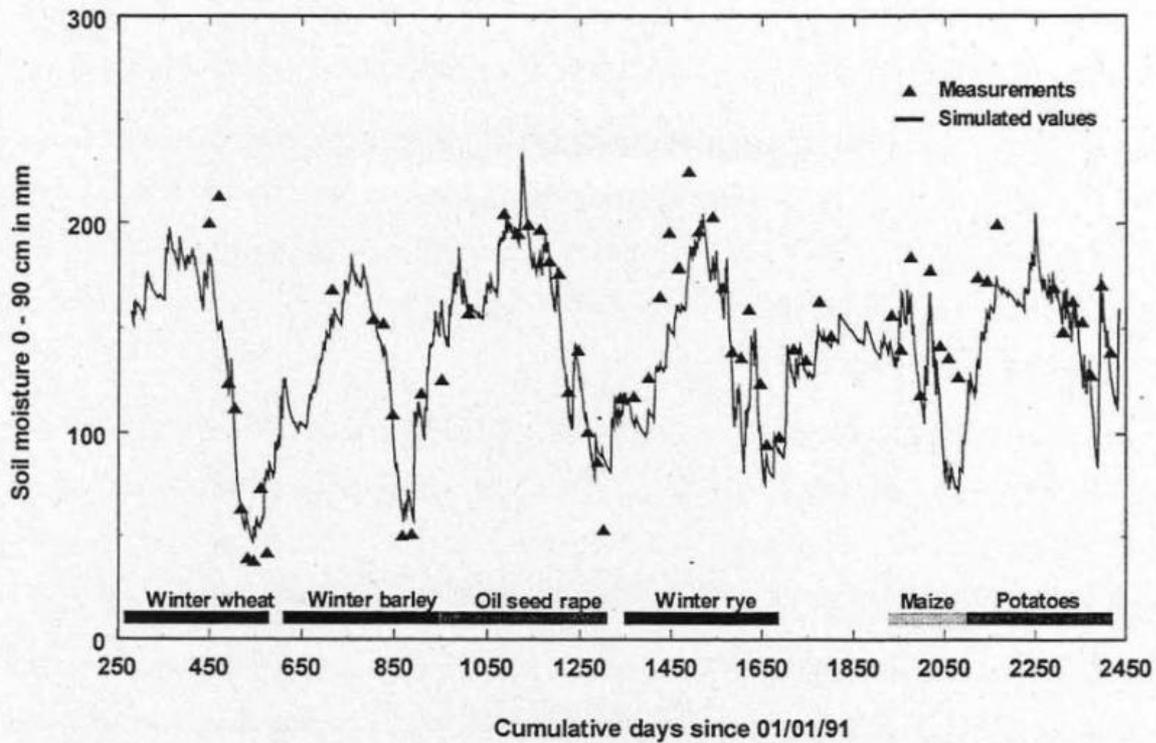


Fig. 1: Simulated and measured soil moisture course (Hohenfinow, field 5, 1991 - 1997)

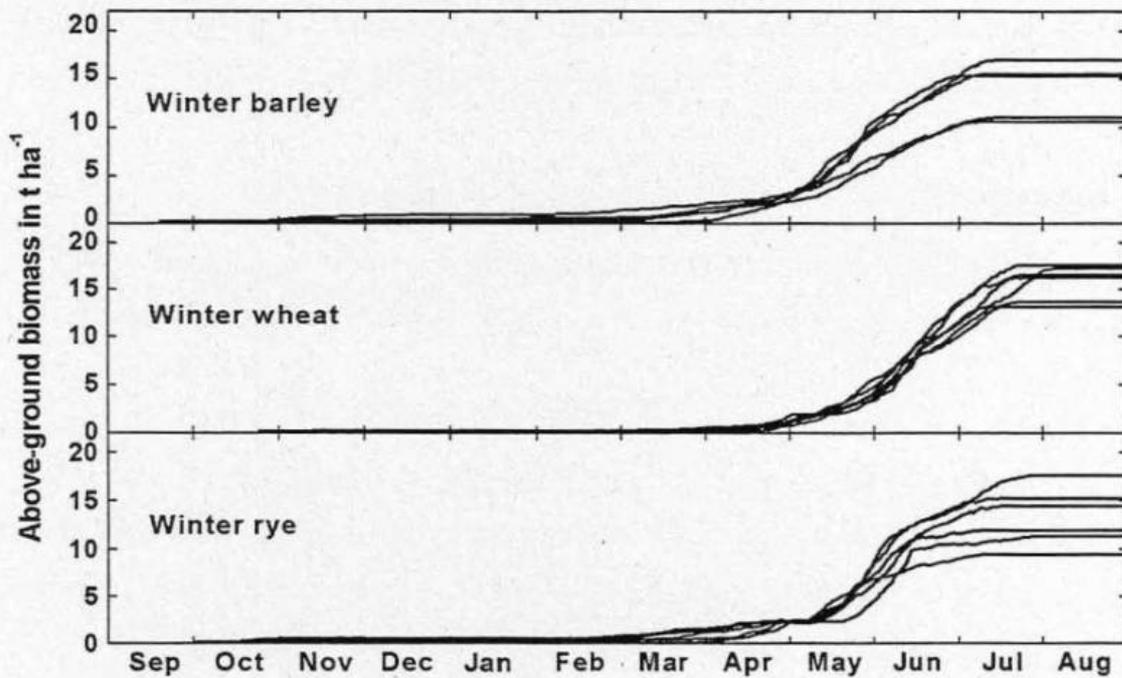


Fig. 2: AGROSIM simulated above-ground biomass courses (Hohenfinow, 1991 - 1997)

6 Conclusions

- 1 To create reliable agroecosystem models, it is necessary to dispose of data and knowledge particularly related to the modelling goal. Because it is not sufficient to trust in the general knowledge increase, agroecosystem modelling requires special model guided experiments.
- 2 Scientific objectives or intended practical applications of an agroecosystem model influence the extent and the required quality of data collection. Emphasis on a few system components only, or comprehensive description of agroecosystem interactions including self organization and adaptation mechanisms, determine to a high degree whether long-term experiments are needed as data or information source.
- 3 To secure the desired validation consistency of agroecosystem models, it is necessary to dispose of data from different combinations of site and weather. The combinatorial effects of natural variations can be substituted by controlled short-time experiments only to a limited degree.
- 4 Especially models for agricultural practice are faced with an increasing devaluation of cultivar and management specific knowledge (e.g. breeding progress, new cultivation practices) and an economic-temporal limitation of modelling activities.
- 5 To cover the different data requirements of agroecosystem models, it is necessary to find a compromise between long and short-term experiments. Long-term experiments should be especially used for what they are suited best: to derive and to verify qualitative dependencies, behaviour patterns and adaptation mechanisms in agroecosystems.

7 Acknowledgement

This work was supported by the German Federal Ministry for Nutrition, Agriculture and Forestry and the Ministry for Nutrition, Agriculture and Forestry of the federal state of Brandenburg.

8 References

- Mirschel, W., Schultz, A., Wenkel, K.-O., Bindi, M., Bussay, A., Delécolle, R., Jadczyzyn, T., Marracchi, G., Topaj, A.G., (1999). Biomass and grain yield estimation for winter cereals on different spatial scales. In: Proceedings of 7th ICCTA - International Congress for Computer Technology in Agriculture, 15 - 18 November 1998, Florence, Italy (under press).
- Wenkel, K.-O, Mirschel, W., (1995). Agroökosystemmodellierung - Grundlage für die Abschätzung von Auswirkungen möglicher Klima- und Landnutzungsänderungen. ZALF-Bericht Nr. 24, ZALF, Müncheberg.

Risikofunktionen für Erträge, basierend auf Feldversuchsdaten sowie Experten- vorgaben

Hahn, S.

Damaschkestr. 3,04159 Leipzig

1. Einleitung

Die Landwirtschaft unterliegt in besonderem Maße zahlreichen Unsicherheitsfaktoren, z. B. Witterung; Ertrag; Schädlingsbefall; Tierkrankheiten; Technikstörungen; Agrarpreise; Kosten; Investitionen; Zinsen; Prämien und Markt, und es ist möglich und wäre effektiv, wenigstens die wichtigsten Unsicherheiten bei der Planung, Vorhersage und Entscheidung zu berücksichtigen.

Definition:

- Wenn eine Unsicherheit durch eine problemspezifische Wahrscheinlichkeitsfunktion quantitativ beschrieben wird, so ist das eine **Risikofunktion**.
- Risikofunktionen, z.B. für Erträge, lassen sich anhand von empirischen Daten wie - Feldversuchsergebnisse - oder anhand subjektiver Expertenvorhaben ermitteln.
- Risiko ist zu verstehen:
 - entweder als GEFÄHR, die Zielerreichung nicht im erwarteten Umfange realisieren zu können
 - oder aber als CHANCE, das Ziel zu übertreffen.

Der Landwirt hat eine subjektive Risikoeinstellung: risikoneutral; risikoavers oder risikofreudig.

Der vorliegende Beitrag demonstriert Risikofunktionen für Erträge, basierend auf Feldversuchsergebnissen sowie auf subjektiven Expertenvorgaben und zeigt computergestützte Wege zur Quantifizierung und Generierung von problemkonkreten Risikofunktionen, welche u. a. als kumulative Verteilungsfunktionen Angaben über die Wahrscheinlichkeit machen, daß der Ertrag über bzw. unterhalb eines bestimmten Zielwertes liegt.

2. Zur Auswertung von Feldversucherträgen mittels Excel und Risikosimulationen

Es liegen beispielsweise empirische 17-jährige Ertragsreihen vom Seehausener Fruchtfolgeversuch vor.

Charakteristik des Fruchtfolgeversuchs (F1-07) Seehausen (1982 - 1998)

für folgende 5 Fruchtarten (A3, B4, C2):

Winterweizen, Winterroggen, Sommergerste, Zuckerrüben, und Kartoffeln

A = Fruchtfolge (FF) A3 = FF 40 % Getreide ; 60 % Hackfrüchte

B = min. N-Düngung B4 = FF mit hoher min. N-Düngung

C = org. N-Düngung C2 = FF mit org. Düngung

D = Beregnung D1 = FF ohne Beregnung

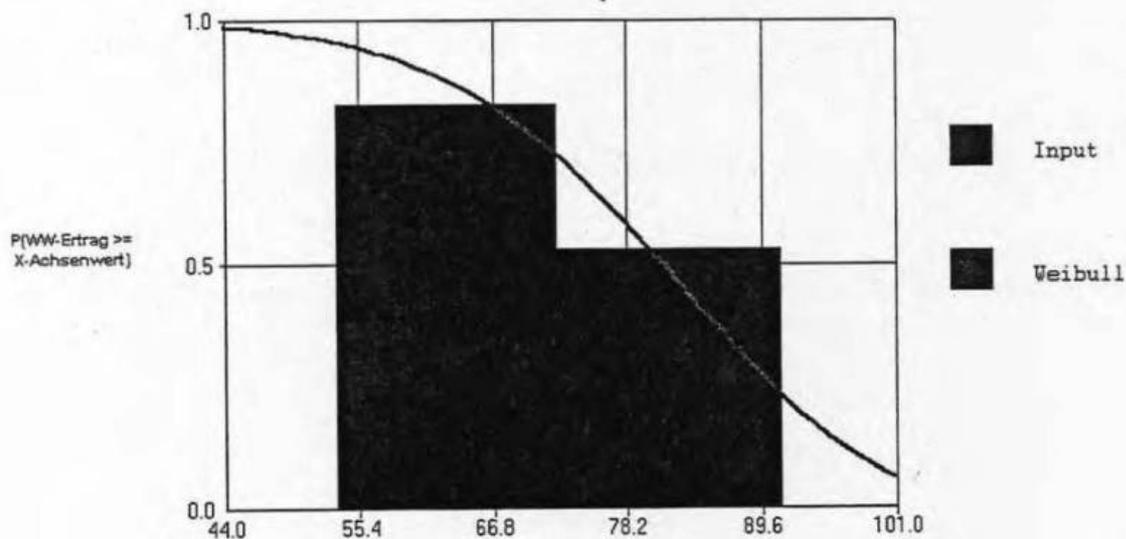
- Anhand von vorliegenden Ertragsreihen können mittels „EXCEL“ - Statistikfunktionen die wichtigsten statistischen Maßzahlen wie Mittelwert, Standardabweichung, Modalwert, Schiefe und Wölbung der Häufigkeitsverteilung, lineare Trends sowie Korrelationen und Kovarianzen zwischen Erträgen verschiedener Fruchtarten ermittelt werden.
- „Risk Best Fit“ quantifizierte Risikofunktionen für die fünf Fruchtarten des o. g. Fruchtfolgeversuchs, z. B. für den Winterweizenertrag werden 21 verschiedene kontinuierliche Risikofunktionen und, basierend auf programminternen Tests, folgende Rangfolge signifikanter Risikofunktionen vorgeschlagen:
 - Rang 1: Risk Beta(1,03; 0,61)
 - Rang 2: Risk Weibull(6,44; 86,04)
 - Rang 3: Risk Normal(79,73; 16,98)

Die statistischen Parameter und Grafiken der ermittelten Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktionen werden bereitgestellt inklusive charakteristischer statistischer Maßzahlen (s. Abb. 1).

- Anschließend kann eine Risikosimulation durchgeführt werden, wozu die erzeugten 5 Risikofunktionen als Inputvariable und die Korrelationstabelle in eine Excel-Tabelle eingetragen werden.
- Die Risikosimulation mittels „@Risk3.5e Risk Analysis and Simulation Add-In Microsoft Excel“ liefert u. a. eine Detailstatistik sowie Grafiken (s. Tabelle 1 und Abbildung 2).

Abbildung 1: Mittels Ris Best Fit erzeugte Risikofunktion für den Winterweizenertrag

Kumulative Verteilung Weibull(6,44;86;04) für WW-Ertrag



Kumul. Verteilungsfunktion f. WW-Ertrag nach der Risikosimulation

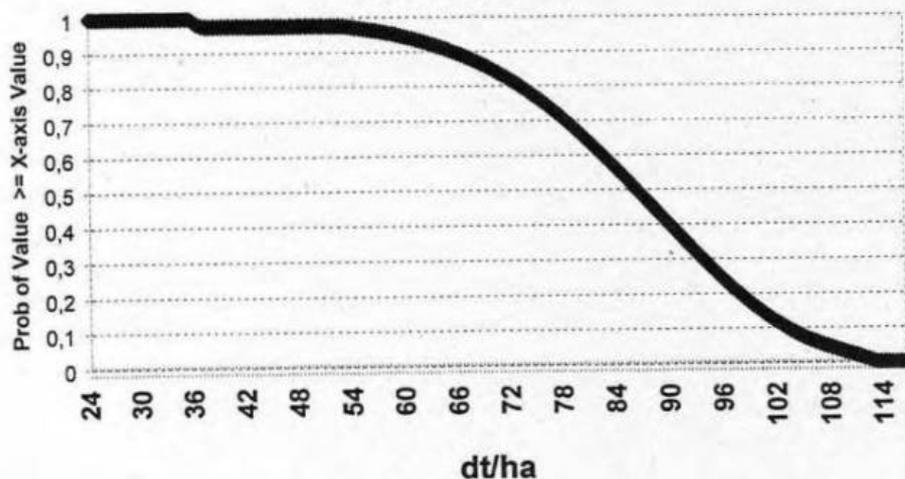


Abbildung 2: Kumulative Verteilungsfunktion f. WW-Ertrag nach der Risikosimulation
Tabelle 1:

Auszug aus der Detail-Statistik nach der Risikosimulation von 5 Risikofunktionen
Settings für die Risikosimulation:

Iterations = 1000

Random Generator Seed value = 1

Simulations = 3

Inputvariable = 10

Outputvariable = 5

Fruchtart:	Winterweizen	Winterroggen	Sommergerste	Zuckerrüben	Kartoffeln
	WW korr	WR korr	SG korr	ZR korr	KART korr
Cell	B19	B20	B21	B22	B23
Minimum =	24,18	41,85	11,24	195,18	210,47
Maximum =	116,80	92,84	93,20	1013,17	822,61
Mean =	80,12	65,91	55,88	634,09	516,45
Std Deviation =	14,57	7,50	12,63	129,53	176,97
Variance =	212,24	56,30	159,58	16777,89	31318,50
Skewness =	-0,42	0,01	-0,26	-0,32	0,00
Kurtosis =	3,11	3,01	2,91	2,95	1,80
s % =	18,18	11,38	22,60	20,43	34,27
Mode =	84,70	64,87	61,24	640,99	587,01

3. Zur Ermittlung von denkfundierten Risikofunktionen, basierend auf Expertenwissen

Die Quantifizierung kann auch durch subjektive Expertenvorgaben für spezielle Parameter einfach strukturierter Wahrscheinlichkeitsfunktionen erfolgen, z. B. einer Dreiecksverteilung:

- RISK Triang (Min; Modal; Max), wobei Min = pessimistischer Wert; Modal = Modalwert; Max = optimistischer Wert bedeuten.
- Nach subjektiver Eingabe konkreter Parameter, beispielsweise für den Winterweizenertrag

Risk Triang (60; 80; 100)

liefert „Risk View Pro“ das Histogramm oder kumulative Verteilungsfunktionen für den Weizenertrag:

- Nach Aufruf der aufeinanderfolgenden Optionen in „Ris View Pro“: *Draw/distribution atrist/canvas/get Best fit* wird, ausgehend von der vorgegebenen Dreiecksverteilung, die folgende, auf integrierten Tests basierende verbesserte Risikofunktion Risk Triang (60,04; 79,8; 100) vorgeschlagen.

4. Generierung von zusammengesetzten Risikofunktionen

Es wird eine Excel-Tabelle erstellt zur Generierung einer Risikofunktion für den Erlös pro Hektar Winterweizen, wobei Erlös = Ertrag * Preis. (s. Tabelle 2).

5. Schlußfolgerungen

Mittels Risikosoftware erhaltene Risikofunktionen für Erträge von Fruchtarten lassen sich Ertragsprognosen ableiten und auch risikobehaftete ökonomische Erfolgskennzahlen, z. B. Erlös, Gewinn oder Deckungsbeitrag (DM/ha), berechnen. Durch Risikosimulation erhaltene Parameter für zusammengesetzte Risikofunktionen, beispielsweise für Deckungsbeiträge von im Optimierungsmodell zur Auswahl gestellten Aktivitäten x , eignen sich zur Formulierung stochastischer Zielfunktionen, z. B. als eine zu maximierende Nutzenfunktion für den Gesamtdeckungsbeitrag eines Unternehmens, wobei auch die Risikoeinstellung (risikoneutral, -avers oder -freudig) des Entscheidungsträgers im Modell berücksichtigt werden kann.

Tabelle 2:

	A	B	C	D	E	F	G
2	Risikofunktionen für den Ertrag, Preis und Erlös von Winterweizen(WW)						
3	kreiert mittels RiskViewPro, basierend auf Expertenvorgaben und						
4	Risikosimulation						
5	ErtrWW	79,9466667	=RiskTriang(60,04;79,8;100)				
6	PreisWW	22,5	=RiskNormal(22,5;0,43)		Vorgabe:RiskTriang(18;22;25)		
7	ErlösWW	1798,8	=B5*C5		(Ertrag*Preis= Erlös als zusammengesetzte		
8			Risikofunktion)				
9	Settings für die Risikosimulation:						
10	Iteration = 1000		Zufallsgenerator =1				
11	Simulation =3						
12	2 Input- und 1 Outputvariable						
13	Auszug aus der Detail Statistik nach der Risikosimulation						
14	@RISK Simulation of RIPOSS.xls						
15	Name	ErtrWW	PreisWW	ErlösWW			
16	Description	Input	Input	Output			
17	Cell	B5	B6	B7			
18	Minimum =	60,52	21,00	1369,74			
19	Maximum =	99,11	23,83	2285,83			
20	Mean =	79,95	22,50	1798,68			
21	Std Deviat	8,16	0,43	185,93			
22	Variance =	66,52	0,18	34569,88			
23	Skewness	0,01	-0,01	0,03			
24	Kurtosis =	2,40	2,99	2,45			
25	s% =	10,20	0,00	0,00			
26	Modal	80,83	22,53	1739,19			

6. Literatur

O.V. (1995-97): Risikosoftware von PALISADE Corporation, Newfield, NY, 14867, U.S.A.:

---- (1995): RiskViewPro

---- (1996): RiskBestFit2

---- (1997): RiskV.3.5e under Windows :Risk Analysis and Simulation - Add- In Microsoft EXCEL V. 5 bis 8.

HAHN, S., J. HEINRICH (1997): LP-Modell für einen 1000-ha-Gemischtbetrieb unter Einbeziehung von Risikoaspekten. Berichte der GIL, Band 9, S. 146-160

HAHN, S. (1997): Computer-Aided Generation of Risk Functions for Agricultural Modelling and Decisions. In: Proceedings of the First European Conference for Information Technology in Agriculture, EFITA Copenhagen (DK), p. 163-166

In situ-Bestimmung der Stickstoff-Nettomineralisation im Herbst/Winter nach dem Anbau von Winterraps

Lickfett, Th.

Institut für Agrikulturchemie der Georg-August-Universität

Von-Siebold-Str. 6, D-37075 Göttingen

Problem

Eine Vielzahl von Untersuchungen weisen nach Anbau von Winterraps zur Körnernutzung hohe Nitratmengen im Boden nach. Es wird vermutet, daß die gemessenen Nitratmengen aus der Mineralisation von Ernterückständen des Raps (Blätter, Schoten, Körner, Stengel und Wurzeln) und weniger aus ungenutztem Dünger-N stammen, da Raps während seines Wachstums den Boden nahezu vollständig von N_{\min} entleeren kann.

Zur umweltgerechten Gestaltung einer Rapsfruchtfolge ist daher besonders die Kenntnis des Umfanges der Stickstoff-Nettomineralisation (NNM) im Herbst/Winter nach Rapsanbau von Bedeutung. Aufgrund von Stickstoffverlagerungsprozessen ist sie i.d.R. größer als die N_{\min} -Anhäufung im Feld.

Vorgehensweise

In einem zweijährigen Feldversuch in der Nähe von Göttingen wurde die Stickstoff-Nettomineralisation (NNM) im A_p -Horizont (Mittlere bis tiefe Kolluvien, tU, nFKWE 240 – 280 mm) mittels Feld-Inkubation ungestörter Bodensäulen (RAISON et al., 1987; STENGER et al., 1993) ermittelt. Hierzu wurden in jeweils 10 Parallelen offene und überdachte PVC-Röhren für 6 - 8 Wochen am Standort inkubiert. Nach 3 - 4 Wochen erfolgte die Installation des nächsten Röhrensatzes. Nitrat- und Ammonium-N wurde im $CaCl_2$ -Extrakt an den feldfeuchten Bodenproben bestimmt. Die NNM wurde berechnet aus:

$$\begin{aligned} & N_{\min} \text{ in überdachten Röhren bei Inkubationsende} \\ & - N_{\min} \text{ im } A_p \text{ zu Inkubationsbeginn} \end{aligned}$$

= N-Nettomineralisation im Inkubationsintervall.

Die im Feldversuch geprüften Varianten mit Rapsvorfrucht unterscheiden sich hinsichtlich der Intensität der Bodenbearbeitung nach der Ernte (intensive Stoppelbearbeitung, Wendepflug/ bzw. ohne Bodenbearbeitung), der Nachfrucht (Weizen bzw. Hafer) und des Rapsstrohverbleibs (mit bzw. ohne); als Vergleich dient eine Parzelle mit Wintergerste nach Winterweizen (Tab. 1).

Tab 1: **Agronomische Daten der Vorfrüchte zu Versuchsbeginn**
(Fruchtfolge Winterraps/Winterweizen/Wintergerste)

		1997	1998
Kornertrag [kg TM ha ⁻¹]	Winterraps	3110	3080
	Winterweizen	7550	6900
N in oberirdischen Residuen zur Ernte [kg ha ⁻¹]	Winterraps	33	34
	Winterweizen	80	73
N-Saldo (N-Düngung minus N-Export Erntegut) [kg N ha ⁻¹]	Winterraps	84	65
	Winterweizen	38	39
N_{min} zur Ernte [kg N ha ⁻¹ 90cm ⁻¹]	Winterraps	41	27
	Winterweizen	32	39

Ergebnisse und Diskussion

Die kumulierte Stickstoff-Nettomineralisation war im Zeitraum von der Rapsernte bis ins nächste Frühjahr in beiden Versuchsjahren deutlich größer als nach Winterweizen (Abb. 1), obwohl die N_{min}-Werte zur Ernte ähnlich waren (Tab. 1). Die NNM belief sich auf bis zu 85 kg N ha⁻¹ 30cm⁻¹. Die Entfernung des Rapsstrohs (Versuchsjahr 1998/99) führte gegenüber der praxisüblichen Variante, in der das Rapsstroh auf dem Felde belassen wird, zu einer noch höheren NNM. Dies ist möglicherweise auf die Abfuhr nicht nur von ca. 35 kg N ha⁻¹, sondern auch Kohlenstoff, mit den Ernterückständen (C:N 40 - 60) verbunden. Maximale tägliche Raten der NNM traten in den ersten 10 Wochen nach der Rapsernte auf. Dieser Zeitraum ist für die Summe der herbstlichen NNM entscheidend. Nach Vorfrucht Winterweizen war die NNM unter der Wintergerste hingegen mit ca. 10 kg N ha⁻¹ 30cm⁻¹ eher gering. Schließlich konnte der Verzicht auf Bodenbearbeitung im Herbst/Winter nach Rapsanbau die NNM im Herbst vermindern (1997/98) bzw. zeitlich leicht verzögern (1998/99).

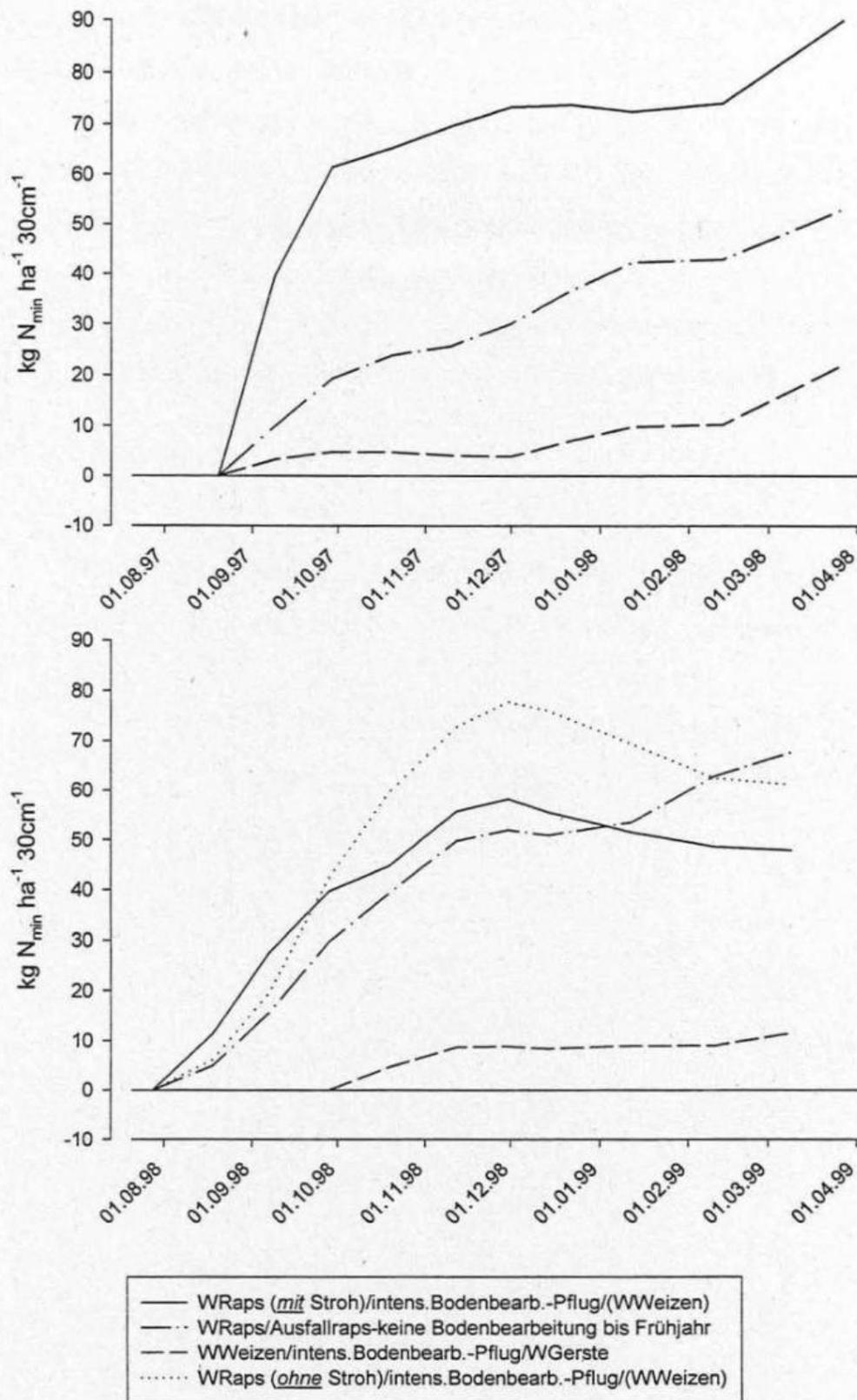


Abb. 1: Wirkung von Bodenbearbeitungsintensität und Strohverbleib auf die kumulierte Stickstoff-Nettomineralisation im Ap (0-30cm) nach Winterraps zur Körnernutzung

Folgerungen

Die Stickstoff-Nettomineralisation im Boden nach Rapsanbau überschreitet die vor-winterliche Aufnahmekapazität der Nachfrucht Winterweizen um ein Mehrfaches. Hierzu trägt das Rapsstroh selbst im Herbst nur zu einem geringeren Teil bei, kann andererseits aber auch die Mineralisationsrate herabsetzen. Vor-Ernte-Verluste (Blätter, Blüten, Schoten) spielen für die N-Freisetzung im Herbst vermutlich eine größere Rolle. Unter dem Aspekt der Verringerung von N-Verlusten kann z. B. in Wasserschutzgebieten und auf austrags-gefährdeten Standorten eine Verminderung der Bodenbearbeitungsintensität nach der Rapsernte, der Anbau leistungsfähiger Zwischenfrüchte und ggf. die Restriktion der Anbaudichte von Raps in Erwägung gezogen werden.

Literatur:

Raison, R. J.; Connell, M. J.; Khanna, P. K. (1987): Soil Biol. Biochem., 19/5, 521-530.

Stenger, R., Priesack, E. und Beese (1993): Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 72, 803-806

Nutzung von Böden aus Dauerfeldversuchen für Modelluntersuchungen zu Transfer- und Bindungsprozessen organischer Fremdstoffe im System Boden – Pflanze

Schulz, E. und Heinrich, K.

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH,
Sektion Bodenforschung,
Theodor-Lieser-Straße 4,
D-06120 Halle/Saale

Einleitung und Zielstellung

Das Verhalten von Fremdstoffen im Boden wird entscheidend durch die Bindung an die organische Bodensubstanz (OBS), an gelöste (DOC), an leicht umsetzbare oder stabilisierte Fraktionen der OBS bestimmt. Zur Untersuchung der Mobilität und Verfügbarkeit von organischen Schadstoffen sind Gefäßversuche zur Aufnahme dieser Stoffe aus dem Boden in die Pflanzen geeignet. Dabei sind Böden aus Dauerversuchen verschiedener Standorte von besonderer Bedeutung, da sowohl der Einfluß des organischen Kohlenstoffs (OBS) als auch der Bodenart (Ton Gehalt) geprüft werden können. Der Zusammenhang zwischen der Aufnahme von organischen Fremdstoffen aus dem Boden in die Pflanze und der Verteilung der Schadstoffe in unterschiedlich stabilisierten Fraktionen der OBS wird untersucht.

Material

Für die Untersuchungen wurden Böden von Dauerfeldversuchen verschiedener Standorte aus einer Tiefe von 0 – 30 cm entnommen: Löß-Schwarzerde des Statischen Dauerdüngungsversuches Bad Lauchstädt (20 % Ton, 1,57 – 3,07 % C_{org}); Tieflehm-Fahlerde des Nährstoffmangelversuches Thyrow (2 % Ton, 0,37 – 0,70 % C_{org}). Außerdem wurde Boden einer ortsüblich bewirtschafteten „Ausgleichsfläche“ (Thyrow) sowie einer ehemaligen Stallung-/Gülle-Deponie (Bad Lauchstädt) verwendet.

Im **Gefäßversuch** wurde die Aufnahme zweier Organochlorpestizide (Lindan und Methoxychlor) durch Kulturpflanzen untersucht (Heinrich, 1998). Im **Laborversuch** wurden die Böden einer physikalischen Fraktionierung der OBS nach Korngrößen- und Dichteunterschieden (Schaimuchametov et al., 1985) sowie nach dem Grad der Umsetzbarkeit der OBS einer Heißwasserextraktion unterzogen (Schulz, 1990, 1997; Schulz u. Körschens, 1998). Die Pestizidgehalte der Pflanzen, Böden, Bodenfraktionen und Wässer wurden nach unterschiedlichen Extraktions- und Aufarbeitungsverfahren kapillargaschromatographisch mittels ECD bzw. MSD ermittelt.

Ergebnisse

Im Gefäßversuch wurde der Einfluß der Bodenart sowie des Gehaltes der Böden an organischem Kohlenstoff auf die Aufnahme von Lindan bzw. Methoxychlor untersucht (Heinrich u. Schulz, 1996, 1997; Heinrich, 1998). Daraus konnte eine hochsignifikante negative Korrelation zwischen der Aufnahme der Pestizide und dem C_{org} -Gehalt des Bodens abgeleitet werden. Die Aufnahme der meist nur wenig wasserlöslichen Pestizide setzt eine Verfügbarkeit in der Bodenlösung voraus bzw. eine Nachlieferung aus leicht umsetzbaren OBS-Fractionen. Die Verfügbarkeit in der Bodenlösung wird drastisch herabgesetzt, wenn der Fremdstoff sorbiert wird bzw. bevorzugt Bindungen zu stabilisierten Bodenfraktionen eingeht wie z.B. zu stabilisierten Komplexen zwischen der OBS und der Mineralkomponente von Böden (Organomineralische Komplexe - OMK). Die physikalische Fraktionierung der Böden nach Korngrößen- und Dichteunterschieden ermöglicht die Isolierung von Fraktionen der OBS hinsichtlich ihres Stabilisierungsgrades ohne eine wesentliche Veränderung ihrer Eigenschaften. Nach Abtrennung einer Tonfraktion werden zwei „leichte“ Fraktionen (LF) mit geringer spezifischer Dichte (LF1: $< 1,8 \text{ g/cm}^3$; LF2: $1,8 - 2,0 \text{ g/cm}^3$) sowie der Fraktionierungsrückstand isoliert. Im Massenanteil der Tonfraktion spiegelt sich die Bodenart wider (Abb. 1). Gleichzeitig ist zu sehen, daß sich die Massenanteile der Summe der beiden LF wie auch deren Aufteilung in LF1 und LF2 bei beiden Bodenarten unterscheiden.

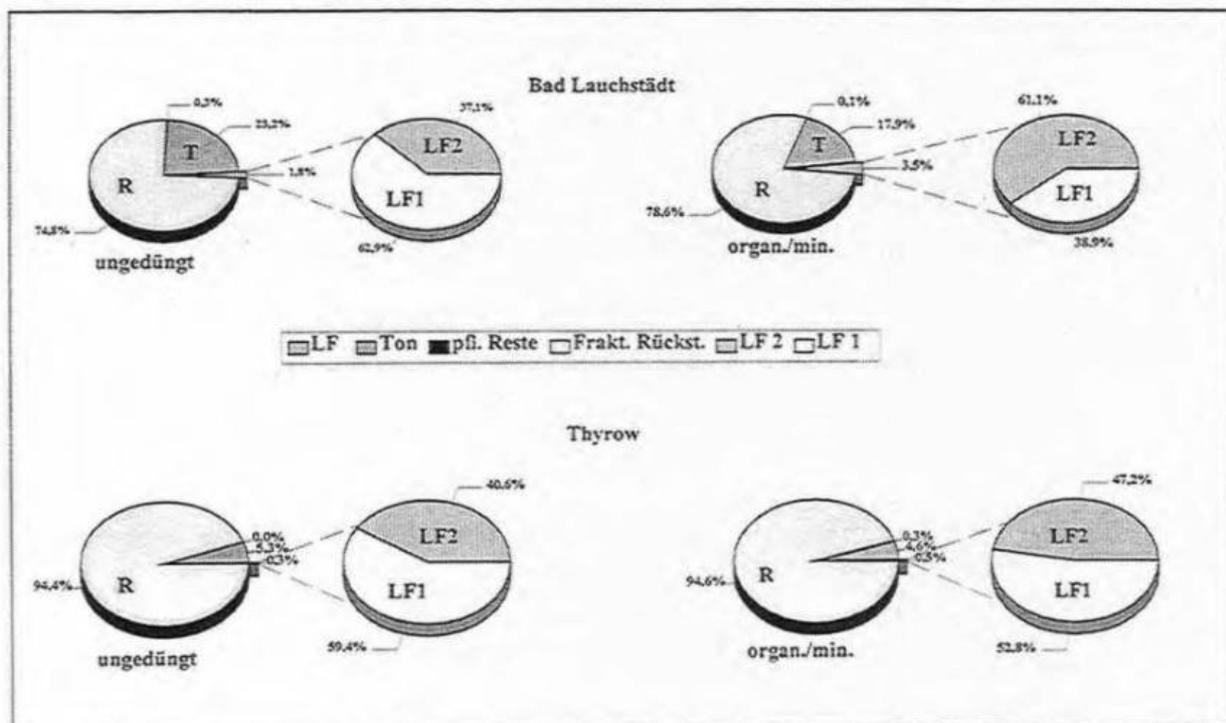


Abb. 1: Massenverteilung (%) von Korngrößen- und Dichtefractionen der OBS der ungedüngten bzw. organisch/mineralisch gedüngten Varianten des Statischen Düngungsversuches Bad Lauchstädt sowie des Nährstoffmangelversuches Thyrow

Der Anteil LF1 mit geringster Stabilität ist vergleichsweise in der Tieflehm-Fahlerde vom Standort Thyrow höher als in der Löß-Schwarzerde des Standortes Bad Lauchstädt. Das ist plausibel, da die OBS der Schwarzerde eine andere Qualität besitzt, die deren besondere Stabilität ausmacht. Zusammen mit den klimatischen Faktoren ist das auch ein Grund für die höhere wirksame Mineralisierungszeit (WMZ; Franko u. Oelschlägel, 1995) am Standort Thyrow.

Erste Hinweise auf die unterschiedliche Qualität der OBS auch im Zusammenhang mit der Bodenart ergaben sich bei der Erfassung von Verlustpfaden der Pestizide Lindan und Methoxychlor der verwendeten Böden bei Abtrennung der Tonfraktion. Durch 15-malige Ultraschall-Anwendung in wässriger Suspension sind in Abhängigkeit von der Wasserlöslichkeit der Substanzen bereits Anteile in der Wasserphase nachweisbar (Abb. 2). Während Lindan aufgrund seiner relativ guten Wasserlöslichkeit in teilweise hohen Konzentrationen im Wasser nachweisbar ist, wird das schlecht wasserlösliche Methoxychlor mehr an die Bodenmatrix gebunden. Es zeigt sich deutlich der Einfluß der Bodenart und der OBS (C_{org}) auf den Gehalt an Lindan in der Wasserphase.

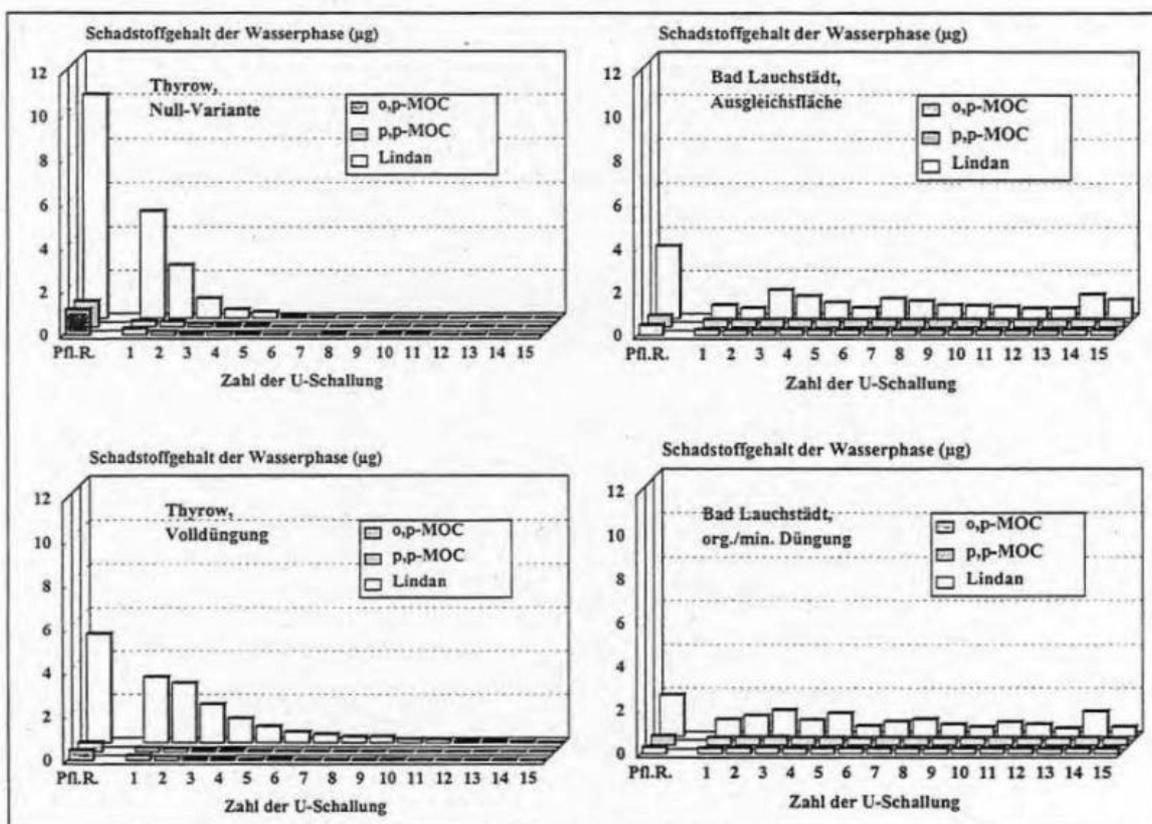


Abb. 2: Einfluß der Bodenart (Ton) und der OBS (C_{org} -Gehalt) auf die Verfügbarkeit von Organochlorpestiziden gemessen an deren Gehalt in der Wasserphase bei Ultraschall-Anwendung

Das Lindan wird in der Null-Variante des Dauerversuches Thyrow praktisch nicht sorbiert; durch Abtrennung der pflanzlichen Reste sowie der Tonfraktion ist Lindan praktisch vollständig in der Wasserphase enthalten. Der Einfluß der OBS zeigt sich bereits in der organisch/mineralisch

gedüngten Variante des Thyrower Versuches; die Wasserphasen enthalten in Summe nur noch rd. 75 % des Lindans. OBS- und Bodenarteinfluß wird anhand der Lindangehalte in den Wasserphasen der Bad Lauchstädter Böden sichtbar. Dort wurden rd. 50 % des Lindans sorbiert.

Zusammenfassung

Die Verfügbarkeit von Organochemikalien bzw. deren Stabilisierung im Boden ist neben den stofflichen Eigenschaften der Chemikalie selbst von den Standortfaktoren abhängig, wobei der Einfluß der OBS dominiert. Für eine Abschätzung des Verhaltens von Organika im System Boden – Pflanze ist es notwendig, deren Bindungen zu unterschiedlich stabilisierten Bodenfraktionen zu bestimmen. Korrelationen zwischen leicht umsetzbaren bzw. stabilisierten Fraktionen der OBS und daran gebundener (stabilisierter) organischer Fremdstoffe zu deren Verfügbarkeit (Aufnahme durch Pflanzen) werden erwartet und anhand von Experimenten mit Böden aus Dauerfeldversuchen analysiert.

Literatur

- Franko, U.; Oelschlägel, B. (1995): Einfluß von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz, Arch. Acker-Pfl. Boden., 39, 155-163
- Heinrich, K.; Schulz, E. (1996): Einfluß des Belastungsgrades unterschiedlicher Böden an ausgewählten pestizid wirkenden Chlorkohlenwasserstoffen auf deren Aufnahme durch Möhre im Gefäßversuch. Z. Pflanzenern Bodenkd. 159, 615-619
- Heinrich, K.; Schulz, E. (1997): Untersuchungen zum Schadstofftransfer ausgewählter Organochlorpestizide und polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe aus einer Löß-Schwarzerde des Standortes Bad Lauchstädt in Mais. Rhizosphärenprozesse, Umweltstress und Ökosystemstabilität, Hrsg. W. Merbach, B.G. Teubner Verlagsgesellsch. Stuttgart - Leipzig, 68-76
- Heinrich, K. (1998): Untersuchungen zum Boden/Pflanze-Transfer ausgewählter organischer Umweltschadstoffe in Abhängigkeit von Bodeneigenschaften. UFZ Bericht 11/1998, ISSN 0948-9452
- Schaimuchametov M S, Titova N A, Travnikova L S, Labenets Y M (1985) Use of physical fractionation methods to characterize soil organic matter. Soviet Soil Sci. 16, 117-128
- 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
- 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, 41, 465-483
- Schulz, E.; Körschens, M. (1998): Characterization of the decomposable part of soil organic matter (SOM) and transformation processes by hot water extraction. Eurasian Soil Science, Vol. 31, No. 7, 809-813, Translated from Pochvovedenie, No. 7 (1998), 890-894

Phosphorus balance under the conditions of long term experiment on light soil

Łabętowicz, J.; Korc, M.

Department of Agricultural Chemistry, Warsaw Agricultural University - SGGW

In the present work, a part of synthesis of long-term studies concerning the evaluation of the effect of individual fertilization components: N, P and K, and of liming and manuring (FYM) on the level and rate of accumulation of available phosphorus under the conditions of permanent fertilization experiment on light soil, was presented.

Material and methods

The research object has been a permanent field experiment in Łyczyn, conducted in 1965. It was established on light soil, with granulometric composition of light clayish sand. The 4-th crop rotation experiment covers 16 fertilization objects, constituting at random distribution of the main components: N, P, K and Ca in conditions with manure and without it (type of experiment 2⁵). Mineral fertilization was applied in rates 140 kg N, 50 kg P and 140 kg K per 1 ha a year. The rates of manure and lime were 50 t and 1,6 t CaO per 1 ha, in crop rotation, respectively. The level of the available P before the establishment of the experiment was 2,2 mg P x 100 g⁻¹ of the soil. In the present work, the results of the measurements of the available phosphorus in the soil, after 28 years of experiment, have been presented. The available phosphorus was determined by the Egner-Riehm method. The balance of phosphorus for the period of 28 years was presented for the selected fertilization combinations. On the grounds of the obtained yields and P content in the plants, the balance equivalent and the mean annual rate of the available P gain in the soil, was calculated.

Results

The content of the available P in the soil, was dependent not only on phosphorus fertilization but also it was determined by nitrogen fertilization, liming and manuring (tab. 1, fig. 1).

Nitrogen fertilization. On the N-fertilized objects, the level of the soil's abundance in phosphorus was lower, on average, by 30 % as compared to the objects without nitrogen (fig. 1). Especially strong N fertilization had an influence on the resources of the soil phosphorus in the conditions of P fertilization (fig. 2). This „negative” effect of nitrogen on the state of soil resource resulted, in a decisive degree, from the higher yields and greater uptake of phosphorus on the

Table 1: Effect of differentiated mineral fertilization (N, P, K), of liming and manure fertilization on the content of the available phosphorus in the light soil ($\text{mg P} \times 100 \text{ g}^{-1}$ of the soil)

Type of soil fertilization	pH of soil	Combinations of mineral fertilizers								Mean
		O	P	N	NP	K	PK	NK	NP	
		K								
Mineral	3,5 - 4,5	2,0	9,1	3,1	7,4	3,6	9,0	2,7	7,2	5,5
Mineral + Ca	5,6 - 6,7	2,9	18,9	2,7	10,8	5,5	15,7	1,5	8,3	8,3
Mineral + FYM	3,8 - 4,6	4,0	9,8	4,5	8,2	4,2	10,2	4,6	8,6	6,8
Mineral + FYM + Ca	5,8 - 6,6	5,0	20,9	4,5	12,2	6,0	18,2	3,6	10,8	10,1
Mean		3,5	14,6	3,7	9,7	4,8	13,3	3,1	8,8	7,7

- content of available P before establishment of the experiment $2,2 \text{ mg P} \times 100 \text{ g}^{-1}$ of the soil
- $\text{NIR}_{0,05} = 1,23 \text{ mg P} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$

N-fertilized objects as compared to the objects, being not fertilized with this component (tab. 2).

Liming. Similarly as nitrogen fertilization, liming increased strongly the yield as phosphorus intake under the conditions of the experiment (tab. 2). In spite of great differences in phosphorus uptake between the limed objects increased almost by 50 % (fig. 1) as compared to the non-limed objects. The favourable effect of liming comparable combinations, the content of the available phosphorus on the limed objects was on the reserves of the available phosphorus was considerably greater on the phosphorus-fertilized objects as compared to those ones, being not fertilized with the discussed component (fig. 2). The increase of the soils' pH as affected by liming increases the solubility of mineral forms of inorganic phosphates in the soil. In consequence, under the liming conditions, the rate of ageing of fertilizer phosphates in the soil, that is their transformation in the forms, non-available to the plants is significantly limited. The comparison of the object without liming: NPK (3,9 pH) and the limed one: NPK - Ca (6,0 pH) shows that from the quantity of fertilizer phosphorus, being introduced to the soil during 28 years, the similar P quantities of on the both objects (limed and non-limed) were accumulated in the soil in a form of available phosphorus (tab. 2). On the other hand, the principal differences were stated in the part of the soil phosphorus, being specified as „non-found quantity of phosphorus”. It is the part of fertilizer P that was subjected to transformation in the soil into forms, being not available to the plants or was lost from the soil. For example, as much as 70 % of fertilizer P in the non-limed object were transformed into non-available forms. On the other hand, under the liming conditions (NPK + Ca), this quantity is principally smaller and constitutes 45 % of fertilizer phosphorus.

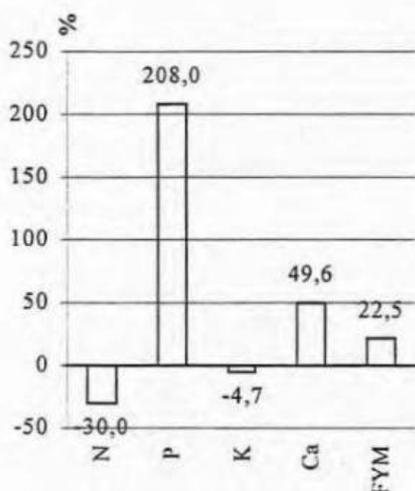


Fig.1. Changes content of available P in soil as affected by N, P, K fertilization liming and FYM being expressed as the main effects in % (O - content of the available phosphorus on the objects without N, P, K, liming and FYM, respectively)

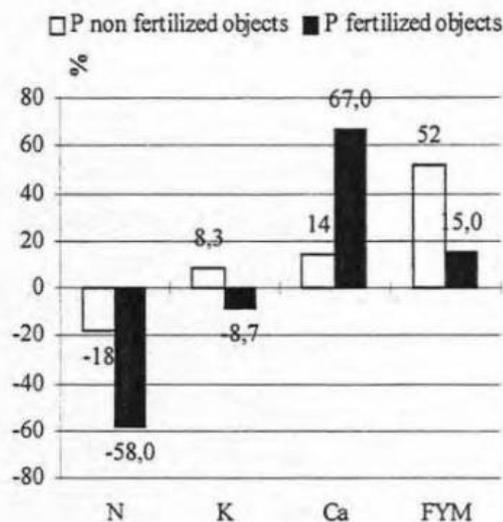


Fig.2. Changes in value of available P in soil on the non-fertilized and P-fertilized objects, as affected by N, P, K, Ca fertilization and FYM expressed as the main effects in % (O - content of P on the objects without N, K, Ca and FYM respectively)

Manure fertilization increased significantly the resources of the available phosphorus (tab. 2) what comes mainly from the introduction of this component to the soil. On the objects, fertilized with FYM the content of the available P in the soil was higher by about 22 % (fig. 1) as compared to the objects where this component was not employed. The favourable effect of manure on the resources of the available phosphorus, expressed in relative values was especially distinctly evident on the objects, non-fertilized with phosphorus (fig. 2).

Balance of phosphorus. Analysis of phosphorus balance in the field experiment demonstrated a considerable excess of the balance over the uptake by the plant, which varied from 60 % on the limed objects to 90 % in absence of liming (tab. 2). From fertilization viewpoint, it is significant to what degree this P excess (over the uptake by the plants) affects the increase of P resources, available to the plants. A detailed analysis showed that the balance excess of phosphorus in the experiment was transformed into form of P, non-available to the plants (fig. 3) in a decisive degree. Under the most favourable conditions in limed objects, only 26 % of balance excess were accumulated in the soil in a form available to the plants, and on the non-limed objects only 16 – 19 %. The index, characterising the effectiveness of the change of the phosphorus introduced in the fertilizers into the soil phosphorus, being available to the plants is a balance equivalent. The lowest consumption of fertilizer phosphorus for 1 unit of the available phosphorus in the soil in the examined objects was obtained under liming conditions (tab. 2). Value of balance index varied from 2,8 to 3,8 what shows that to obtain the gain of the soil's abundance in available phosphorus by

1 mg P x 100 g⁻¹ of the soil it is necessary to employ 84 - 114 kg of fertilizing P. On the objects without liming, the use of phosphorus for obtaining one unit of gain was about 2 times greater.

Table 2: Phosphorus balance in the field experiment for the selected objects in the years 1966 - 1993 (per 1 ha of field)

Selected fertilization combinations	Quantity of P, employed in fertilization		Change in the soil's abundance ¹		Quantity of P taken up by the plants		Non-found quantity of P a- (b+c)		Balance excess of P a-c		Balance equivalent e x c ⁻¹
	a	b	c	d	e	f					
	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	kg	%	-
NPK	1400	100	201	14,4	208	14,9	991	71	1192	85	5,9
NPK + Ca	1400	100	219	15,6	551	39,4	630	45	843	60	3,8
NPK + FYM	1785	100	231	12,9	543	30,4	1011	57	1242	70	5,4
NPK + Ca + FYM	1785	100	306	17,1	625	35,0	854	48	1160	65	3,8
PK	1400	100	204	14,6	141	10,1	1055	75	1259	90	6,2
PK + Ca	1400	100	405	28,9	268	19,1	727	52	1132	81	2,8
PK + Ca + FYM	1785	100	480	26,9	446	25,0	857	48	1339	75	2,8

¹ - in relation to the initial state in 0 - 20 cm layer

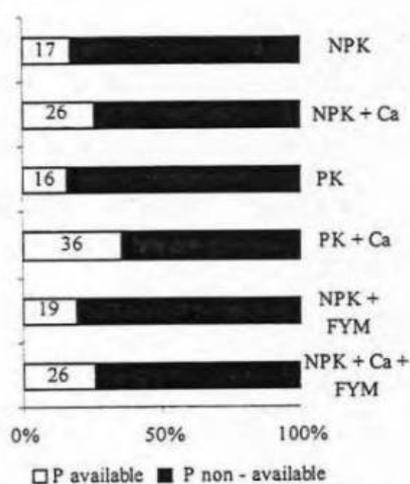


Fig.3. The share of available phosphorus in balance excess

Conclusions

1. The greatest influence on the accumulation of the available phosphorus in the soil was exerted by liming, the smallest by manure and the smallest one - by nitrogen fertilization. Potassium fertilization did not affect significantly the resources of the available phosphorus.
2. Balance of phosphorus on the fertilized objects during 28 years was strongly positive. The quantity of phosphorus, taken up by the plants during the discussed period in relation to the quantities introduced in phosphorus fertilization varied from 40 % under the most favourable conditions to 10 %

in the absence of liming.

3. The balance excess of phosphorus in relation to the uptake by the plants was accumulated in the soil in the form, available to the plants only in 30 % on the limed objects and in about 17 % on the non-limed objects. The remaining part of the balance excess was transformed into the forms, being non-available to the plants.

Energiebilanz im Feldversuch

Rathke, G.-W.; Biermann, St.; Hülsbergen, K.-J.; Diepenbrock, W.

Institut für Acker- und Pflanzenbau der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Ludwig-Wucherer-Straße 2, D-06099 Halle (Saale)

Einleitung

Die Energiebilanzierung in landwirtschaftlichen Anbausystemen erlaubt sowohl Aussagen zu Produktionsintensität und zum Verbrauch endlicher Ressourcen als auch zur CO₂-Fixierung und Klimawirkung. Die Ergebnisse von Energiebilanzen werden maßgeblich durch die Wahl der Systemgrenzen (räumliche, sachliche und zeitliche Rahmenbedingungen) sowie die berücksichtigten Energieäquivalente beeinflusst. Anhand eines Dauerfeldversuches werden standort- und bewirtschaftungsbezogene Aussagen zum Energieeinsatz und zur Energieeffizienz im Pflanzenbau getroffen. Gleichzeitig werden deren Veränderungen im zeitlichen Verlauf aufgezeigt.

Material und Methoden

Grundlage der Energiebilanzierung bildet der Düngungskombinationsversuch F1-70, welcher 1967 in Leipzig-Seehausen angelegt wurde (Hülsbergen et al., 1992). Bei dem Standort handelt es sich um die Bodenform Sandlößtieflehm-Staugley, FAO-Klassifikation Gleyic Luvisol, Bodenschätzungsbeschreibung sL 4 LÖD 58/61. Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur beträgt 9,1 °C, die mittlere Jahresniederschlagssumme 552 mm (1961 - 1990). Geprüft werden die Faktoren Stallmist und Mineralstickstoff in den Stufen 0, 50, 100 und 150 kg N ha⁻¹ a⁻¹ sowie deren Kombinationen. Im Rahmen der Energiebilanz wurden der Energieeinsatz und die Energiebindung auf Basis der Düngungsvariante 100 kg Mineral-N ha⁻¹ a⁻¹ berechnet, Energiegewinn und Energieintensität auf sämtlichen Stufen alleiniger mineralischer N-Düngung. Um praxisbezogene Aussagen treffen zu können, wurde der Versuch mehrmals modifiziert. Dies bezog sich insbesondere auf den Einsatz neuerer Sorten sowie die Applikation von Wachstumsregulatoren und Pflanzenschutzmitteln. Von 1967 bis 1978 (Rotation I - III) lief der Versuch in der Fruchtfolge Kartoffeln – Winterweizen – Zuckerrüben – Sommergerste. Im Jahr 1979 wurde die Fruchtfolge auf Kartoffeln – Winterweizen – Wintergerste – Zuckerrüben – Sommergerste umgestellt (Rotation IV - VII). Für die Berechnung der Energiebilanz wurde der direkte (Diesel) und indirekte (Saat-/Pflanzgut, Pflanzenschutzmittel, Dünger, Maschinen und Geräte) Energieeinsatz berücksichtigt und bewertet. Die Energieäquivalente für den mineralischen Stickstoffdünger wurden dem technischen Fortschritt und der verbesserten Energieeffizienz in der Düngemittelproduktion angepaßt. Die Energieäquivalente betragen 1967 - 1979: 49,4 MJ kg⁻¹ N, 1971 - 1974: 47,0 MJ kg⁻¹ N, 1975 - 1978: 42,5 MJ kg⁻¹ N, 1979 - 1989: 38,0 MJ kg⁻¹ N sowie 1984 - 1998:

35,3 MJ kg⁻¹ N (Appel 1997). Für die Mineraldünger Phosphor (15,8 MJ kg⁻¹ P₂O₅), Kalium (9,30 MJ kg⁻¹ K₂O) und Kalk (2,97 MJ kg⁻¹ CaO) wurden konstante Energieäquivalente verwendet, da anhand der Literatur keine bedeutsamen Veränderungen des Energieeinsatzes für deren Herstellung und Transport innerhalb des Versuchszeitraumes ableitbar waren. Zur Bewertung des direkten und indirekten Energieeinsatzes über Maschinen und Geräte wurden alle Arbeitsgänge im Produktionsverfahren erfaßt. Den Arbeitsgängen wurden praxisrelevante Maschinen und Geräte zugeordnet und deren zeitliche Entwicklung berücksichtigt. Weitere methodische Grundlagen sind bei Biermann et al. (1999) beschrieben. Zur Quantifizierung der Energieeffizienz wurden die Kennwerte Energiegewinn (= Energiebindung im Ernteertrag – Einsatz fossiler Energie) und Energieintensität (= Einsatz fossiler Energie je Produkteinheit) berechnet. Den beiden Kennziffern der Energieeffizienz liegen unterschiedliche Zielstellungen zugrunde. Mittels des Energiegewinns kann der Düngeraufwand abgeleitet werden, der eine maximale Energiebindung je Flächeneinheit ermöglicht. Mit Hilfe der Intensität kann der Düngeraufwand ermittelt werden, bei dem ein minimaler Einsatz fossiler Energie je Produkteinheit erfolgt. Die Mineral-N-Mengen, welche zur höchsten Energieeffizienz führten, wurden jeweils mittels multipler Regressionsanalysen abgeleitet.

Ergebnisse

Der fossile Energieeinsatz (Abb. 1) war stark von der Fruchtart und dem Produktionsverfahren abhängig. Seine Höhe wurde wesentlich durch die mineralische Düngung, insbesondere die N-Düngung, sowie den direkten Energieeinsatz bestimmt. Der vergleichsweise hohe Energieeinsatz in der ersten Fruchtfolgerotation resultierte aus den höheren Mineraldüngergaben (140 statt 100 kg N ha⁻¹ a⁻¹). Unter Vernachlässigung dieser Rotation läßt sich kein eindeutiger Trend im Vergleich des fruchtartspezifischen Einsatzes fossiler Energie über den Versuchszeitraum erkennen. Es zeigt sich jedoch, daß es einerseits infolge der Verringerung des Energieäquivalentes für Mineral-N zu einem Rückgang des Energieeinsatzes für die Stickstoffdüngung kam, andererseits diese Verringerung durch die Zunahme des Energieeinsatzes für Pflanzenschutzmaßnahmen, Ernte und Transport kompensiert wurde. Der Energieeinsatz bei Hackfrüchten lag generell höher als bei Getreide.

Die Höhe der Energiebindung (Abb. 2) ergab sich aus dem Flächenertrag und dem Energiegehalt des Ernteproduktes. Die höchste Energiebindung wurde bei Berücksichtigung der Nebenernteprodukte (Stroh, Zuckerrübenblatt) erreicht. Mit Ausnahme von Kartoffeln und Sommergerste kam es im Versuchszeitraum tendenziell zu einem Anstieg der Energiebindung, wobei starke jahresbedingte Schwankungen auftraten. Unter Einbeziehung des Nebenernteproduktes lag die Energiebindung bei Kartoffeln deutlich niedriger als bei Getreide oder Zuckerrüben.

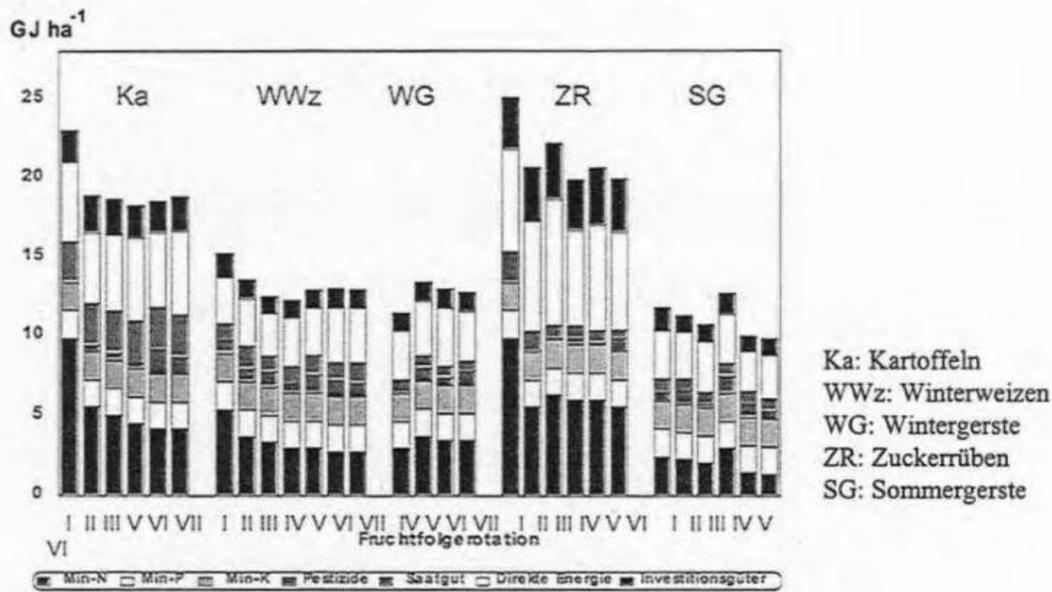


Abb. 1: Fruchtspezifischer Einsatz fossiler Energie (GJ ha⁻¹) im Dauerfeldversuch F1-70

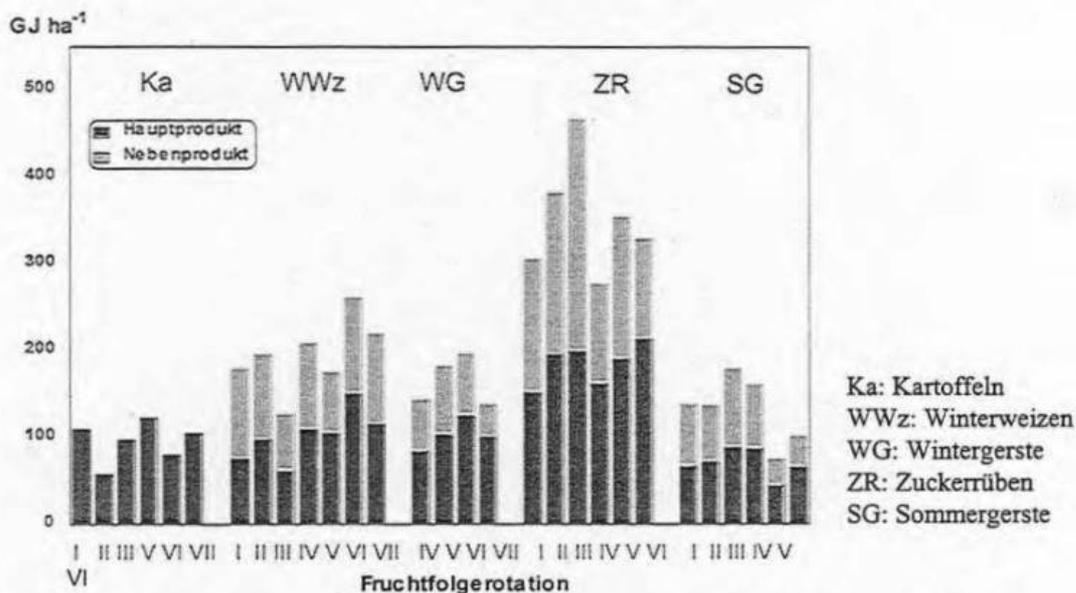


Abb. 2: Fruchtspezifische Energiebindung (GJ ha⁻¹) im Dauerfeldversuch F1-70

Die Höhe des Energiegewinns (Abb. 3) wurde wesentlich durch die realisierte Energiebindung bestimmt, unterlag damit fruchtart- und jahresspezifischen Schwankungen. Generell ergaben sich bei Einbeziehung der Nebenernteprodukte deutlich höhere Energiegewinne als bei alleiniger Berücksichtigung der Haupternteprodukte. Unter Vernachlässigung von Extremjahren konnte der Energiegewinn im Verlauf der Jahre erhöht werden. Der niedrigste Energiegewinn wurde allgemein bei Kartoffeln erzeugt, der höchste bei Zuckerrüben. Bei alleiniger Ernte des Hauptproduktes kam es zu einer Verminderung der zum maximalen Energiegewinn führenden N-Menge.

Die Energieintensität (Abb. 4) wurde maßgeblich durch den Einsatz fossiler Energie bestimmt; sie konnte im Laufe der Jahre verringert werden. Sie nahm mit steigender N-Düngung bis zu einem Minimum ab und stieg danach wieder an. Die Energieintensität bei Getreide lag generell niedriger als bei Hackfrüchten. Die zur minimalen Energieintensität führende N-Düngermenge war in allen Jahren niedriger als die für den maximalen Energiegewinn.

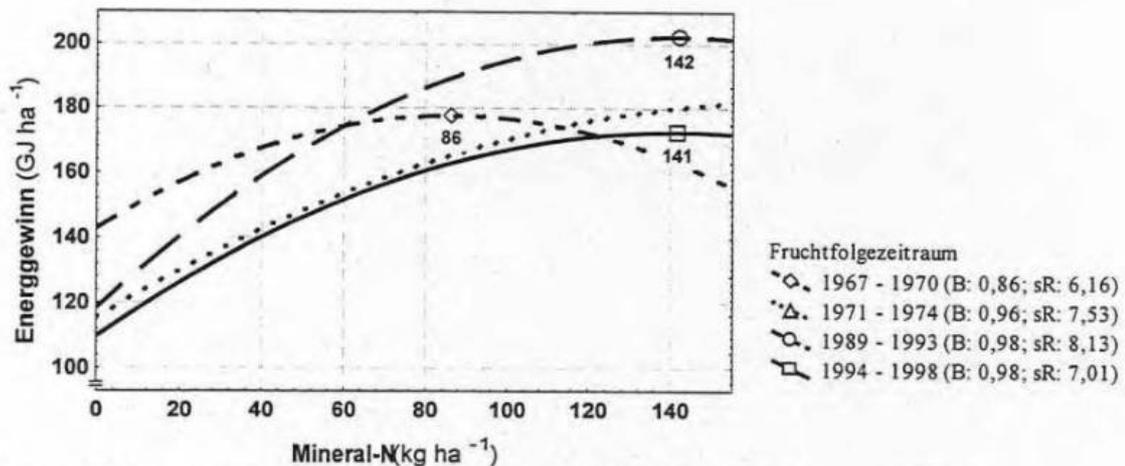


Abb. 3: Fruchtfolgespezifischer Energiegewinn (GJ ha^{-1}) im Dauerfeldversuch F1-70

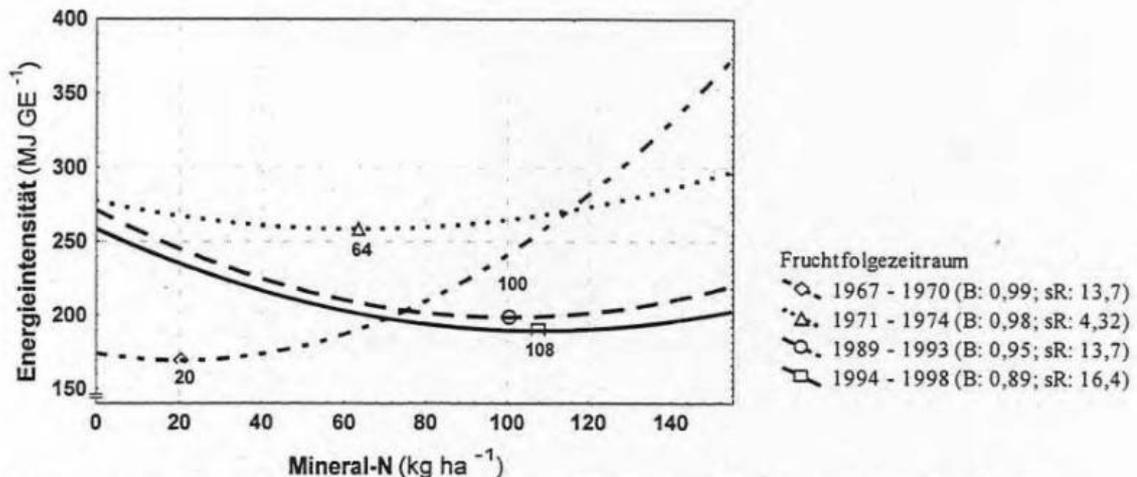


Abb. 4: Fruchtfolgespezifische Energieintensität (MJ GE^{-1}) im Dauerfeldversuch F1-70

Literatur:

- Appel, M., 1997: Modern production technologies – a review. Nitrogen – The Journal, 4-65.
- Biermann, St., G.-W. Rathke, K.-J. Hülsbergen und W. Diepenbrock, 1999: Energy recovery by crops in dependence on the input of mineral fertilizer. Final report. Im Auftrag der European Fertilizer Manufacturers Association (*efma*). Unveröffentlicht.
- Hülsbergen, K.-J., K. Rauhe, H. Scharf und H. Matthies, 1992: Langjähriger Einfluß kombinierter organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, Humusgehalt und Stickstoffverwertung. Kühn-Arch. 86 (2), 11-24.

Autorenverzeichnis	Seiten
Albert, E.	59
Anthes, J. G.	121
Antil, R. S.	137
Augustin, J.	251
Baier, J.	85
Baierová, V.	85
Balázs, J.	191, 195
Bapat, P. N.	145
Baumecker, M.	21, 187
Behl, R. K.	125, 133
Bergmann, H.	225
Beschow, H.	203, 285, 289
Biermann, St.	37, 325
Blume, H. P.	99
Bosak, V.	199
Böttcher, H.	163
Brenk, L.	63
Brookes, Ph.	99
Bruß, A.	225
Carlgren, K.	67
Cerhanová, D.	141
Chand, T.	71, 255
Chmielewski, F.-M.	21, 41
Christensen, B.	149
Claassen, N.	115, 117
Clemens, J.	103
Cretenet, M.	153
Debreczeni, K.	55, 79
Deubel, A.	281
Dev, S.	71
Diepenbrock, W.	37, 207, 217, 325
Dörfel, H.	167
Dudea, S.S.	129, 277
Ellmer, F.	21, 171, 179, 187
Erekul, O.	179
Fadegnon, B.	153
Gaborel, C.	153
Gaiser, T.	153
Garz, J.	1, 5, 9, 163
Ghaly, A. A.	301
Goldbach, H. E.	103
Gransee, A.	203, 281
Guggenberger, G.	149
Gupta, A. P.	137
Haferkorn, U.	75
Hahn, S.	309
Heckrath, G.	99
Heinrich, K.	317
Hoffmann, C.	247
Hoffmann, S.	191, 195

Hüging, A.	45
Hülsbergen, K.-J.	37, 325
Hütsch, B.	175
Isermann, K.	259
Isermann, R.	259
Karwasara, S. P. S.	71
Khurana, A. L.	129, 277
Kiryushin, B. D.	171
Kismányoky, T.	55, 79, 191, 195
Klir, J.	141
Knappe, S.	75
Koch, H.-J.	247
Köhn, W.	21, 41, 179, 183
Korc, M.	321
Körschens, M.	29, 45, 111
Kostandi, S. F.	301
Krähmer, R.	293
Kubát, J.	141
Kumar, V.	133, 273
Kuntzsch, E.	217
Łabętowicz, J.	51, 321
Lakshminarayana, K.	267
Lezovic, G.	281
Lickfett, Th.	313
Lindenthal, T.	107
Lodhi, G. P.	211
Lutze, G.	305
Malik, Y. S.	267
Meißner, R.	221
Merbach, W.	1, 5, 9, 203, 281, 285, 289, 297
Mercik, S.	51
Mirschel, W.	305
Mollenhauer, St.	183
Narula, N.	133, 267, 273
Narwal, R. P.	137
Nehra, B. K.	267
Oberholzer, H. R.	17
Orlovius, K.	89
Pagel, H.	229
Pahuja, S. K.	211
Peschke, H.	21, 183
Pfefferkorn, A.	29
Poonia, S. R.	93
Poulton, P.	25
Powison, D.	25
Rathke, G.-W.	325
Rauber, R.	121
Raupp, J.	237
Rogasik, J.	33, 251
Römer, W.	115, 117
Rubæk, G.	149

Rühlmann, J.	263
Rupp, H.	221
Ruppel, S.	263
Russow, R.	111
Schaecke, W.	111
Schellberg, J.	45
Scherer, H. W.	103
Schliephake, W.	1
Schmidt, L.	1, 5, 9
Schmidtke, K.	121
Schroetter, S.	33
Schultz, A.	305
Schulz, E.	317
Schulze, J.	285, 289
Schuster, C.	207
Schweitzer, K.	229
Seeger, J.	221
Sharma, S. P.	98
Sheoran, R. S.	211
Singh, A.	255
Singh, D. P.	157, 241
Singh, K.P.	125, 241
Singh, M.	129
Singh, N.	267
Singh, R.	125, 157
Soliman, M. F.	301
Spiegel, H.	107
Steffin, U.	187
Steingrobe, B.	233
Stępień, W.	51
Stock, H.-G.	207
Stockfisch, N.	247
Stumpe, H.	1, 9, 13
Subehia, S. K.	98
Suneja, S.	267
Tembhare, B. R.	145
Thakur, D. S.	145
Verma, O. P. S.	157
Vlek, P. L. G.	125
Walther, U.	17
Warnstorff, K.	167
Weigel, A.	111
Weipert, D.	163
Weisskopf, P.	17
Wenkel, K.-O.	305
Wenz, Ph.	115
Wittenmayer, L.	281, 297
Wulff, F.	117
Yadav, K. S.	267
Yadvika	241
Zerulla, W.	63

UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
Sektion Bodenforschung
Theodor-Lieser-Straße 4 • D-06120 Halle/Saale
Telefon 0049/345/5585-402
Telefax 0049/345/5585-449