

Umwelt

DOK-Versuch: Phosphor-Bilanz und -Verfügbarkeit über 21 Jahre

Hans-Ulrich Tagmann, Astrid Oberson, Fritz Oehl und Emmanuel Frossard, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich (ETHZ), Institut für Pflanzenwissenschaften, CH-8315 Lindau

David Dubois, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Reckenholz (FAL), CH-8046 Zürich

Paul Mäder, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick

Auskünfte: Astrid Oberson, e-mail: astrid.oberson@ipw.agrl.ethz.ch, Fax + 41 (0)52 354 91 19, Tel. +41 (0)52 354 91 32

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war, aufzuzeigen, inwiefern biologische Bewirtschaftungsverfahren den totalen Gehalt und die Verfügbarkeit von Phosphor (P) im Boden im Vergleich zu konventioneller Bewirtschaftung langfristig beeinflussen. Dazu wurden Bodenproben der ungedüngten Kontrolle (N) von zwei biologischen (D2, O2) und zwei konventionellen Verfahren (M2, K2) des 1978 in Therwil angelegten DOK-Feldversuches verwendet. Die Bodenproben wurden aus je zwei Bodenschichten (0-20 cm und 30-50 cm) vor Versuchsbeginn (1977) und jeweils am Ende der drei siebenjährigen Fruchtfolgeperioden (1984, 1991 und 1998) entnommen und auf totalen P-Gehalt und in 1 Minute isotopisch austauschbares, pflanzenverfügbares P (E1) untersucht. Über die 21 Versuchsjahre war die mittlere P-Zufuhr durch die Düngung ausser in K2 kleiner als der P-Entzug durch die Ernteprodukte, woraus mehrheitlich negative mittlere P-Bilanzen resultierten (N, -21; D2, -8; O2, -6; M2, -5; K2, +4 kg P/ha/Jahr). Zudem ergab sich in den gedüngten Verfahren im Oberboden von 1977 bis 1998 ein mittlerer P-Verlust von 5,5 bis 10,9 kg P/ha/Jahr, währenddem im Unterboden der P-Gehalt um 7,0 bis 8,7 kg P/ha/Jahr anstieg. Im Oberboden sanken die E1-Werte von 12 mg P/kg Boden bei Versuchsbeginn bis 1998 auf 11 in K2, 8 in M2, 6 in O2, 5 in D2 und 2 in N. Bedingt durch die stets negativen P-Bilanzen in D2 und O2 sinkt E1 noch weiter ab. Ob durch das angewandte Düngungsniveau P-Limitierungen an den Kulturpflanzen auftreten werden, gilt es abzuklären.

Der DOK-Feldversuch wurde 1978 zum Vergleich der drei Landbausysteme biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell in Therwil angelegt (Besson und Niggli 1991). Diese drei Systeme werden in zwei Düngungsstufen im Versuch geführt. Ergänzend besteht ein seit Versuchsbeginn ungedüngtes sowie ein seit 1985 rein mineralisch gedüng-

tes Verfahren. Zeitlich verschoben wird die siebenjährige Fruchtfolge auf drei Schlägen mit je vier Wiederholungen angebaut. Daraus entsteht eine Versuchsanlage mit 96 Einzelparzellen von 5 m x 20 m Grösse (Abb. 1).

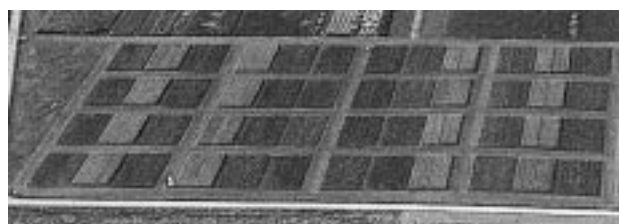
Am Versuchsort auf 300 m ü.M. beträgt die jährliche Niederschlagsmenge ca. 800 mm und die mittlere Jahrestemperatur 9,0 °C. Die auf einer 90 - 130 cm mächtigen Lössschicht liegende schwach pseudovergleyte Parabraunerde ist durch eine Kornverteilung von 10 % Sand, 73 % Schluff und 17 % Ton als lehmiger Schluff charakterisiert.

Seit der nachweisbaren Verfahrensdifferenzierung dient der einzigartige, von der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL) in Zusammenarbeit mit dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) betreute Versuch zahlreichen Instituten als Datenbasis zur Beurteilung von Bodeneigenschaften und der Leistungsfähigkeit von Kulturpflanzen. In der vorliegenden Arbeit wird der Verlauf von P-Gehalt und Verfügbarkeit des Bodens bei biologischer und konventioneller Bewirtschaftung während 21 Jahren dargestellt und diskutiert.

Fruchtfolge und Bodenbearbeitung

Die einheitliche, siebenjährige Fruchtfolge (FF) entspricht einem Kompromiss der im Feldversuch verglichenen Anbausysteme. Aus pflanzenbaulichen und arbeitswirtschaftlichen Gründen erfuhr die FF jeweils auf Beginn einer neuen Fruchtfolgeperiode (FFP) Anpassungen bezüglich Arten und Sorten. Während der dritten FFP wurden auf dem beprobten Schlag c zuerst während drei aufeinanderfolgenden Jahren Kunstweisse (SM430), in den folgenden Jahren Kartoffeln, Winterweizen, Randen und nochmals Winterweizen angebaut. Die Bodenbearbeitung im Feldversuch wurde ebenfalls vereinheitlicht, seit 1992 wird vor Getreide und Hackfrüchten in allen Verfahren auf 18-20 cm gepflügt. In den beiden vorausgegangenen FFP betrug die Pflügtiefe 15-20 cm in

Abb. 1. Vergleich verschiedener Anbausysteme: Anlage der 96 Parzellen im 1978 angelegten DOK-Feldversuch bei Therwil (Foto: Josef Hättenschwiler, FAL).



Tab. 1. Düngerform und mittlere N-, P- und K-Gaben während 21 Versuchsjahren sowie Pflanzenschutzmassnahmen in den untersuchten Anbausystemen

Verfahren	Düngung	Pflanzenschutz			
	Form	N	P	K	
		kg/ha/Jahr			
N	-	0	0	0	nach bio-dynamischen Richtlinien mechanische Unkrautbekämpfung keine synthetischen Pestizide
D2	Mistkompost belüftete Gülle	98	24,2	147	nach bio-dynamischen Richtlinien Unkrautbekämpfung mechanische keine synthetischen Pestizide
O2	angerotteter Mist, Gülle, Gesteinsmehl	96	26,5	134	nach org.-biologischen Richtlinien mechanische Unkrautbekämpfung keine synthetischen Pestizide
M2	nur NPK-Mineraldünger	82	27,4	169	konventioneller Pflanzenschutz seit 1991 nach den IP-Richtlinien chemisch-mech. Unkrautbekämpfung
K2	Stapelmist, Gülle, Mineraldünger	148	43	266	konventioneller Pflanzenschutz seit 1991 nach den IP-Richtlinien chemisch-mech. Unkrautbekämpfung

den biologischen und 20-25 cm in den konventionellen Verfahren (Besson und Niggli 1991). Die Anbausysteme im DOK-Versuch unterscheiden sich somit hauptsächlich bezüglich Düngung und Pflanzenschutz (Siegrist *et al.* 1998; Fliessbach und Mäder 2000).

Düngung und Pflanzenschutz

Die untere Düngungsstufe erhält je die halbe Düngermenge der höheren Stufe. Nachfolgend werden nur die Verfahren mit dem praxisüblichen höheren Düngungsniveau betrachtet. Die durchschnittlich gedüngten N-, P- und K-Mengen sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Düngung im biologisch-dynamischen (D2) und organisch-biologischen (O2) Verfahren basierte während der 1. und 2. FFP auf dem Hofdüngeranfall von 1,2 Düngergrossvieheinheiten (DGVE) pro ha und wurde zu Beginn der 3. FFP auf 1,4 DGVE/ha erhöht. Im gemischt organisch-mineralisch gedüngten konventionellen Verfahren (K2) werden Hofdünger gemäss derselben Viehbesatzstärke wie in den beiden biologischen Verfahren ausge-

bracht und mit Mineraldüngern auf die Normdüngung ergänzt. Das konventionelle Verfahren mit rein mineralischer Düngung (M2) wurde erst 1985 auf dem zuvor ungedüngten, konventionell bewirtschafteten Verfahren etabliert. Mit Beginn der dritten FFP wurde das Düngungsniveau beider konventionellen Verfahren von der 1,2-fachen auf die einfache Normdüngung gemäss Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau herabgesetzt. Ab der dritten FFP wurden die Düngungsrichtlinien von 1987 angewendet. Dies ergab gegenüber den bis dahin geltenden Richtlinien von 1972 eine Reduktion des Düngereinsatzes in den konventionellen Verfahren. Als Kontrolle besteht das ungedüngte Verfahren (N) mit biologisch-dynamischem Pflanzenschutz. Die im DOK-Versuch eingesetzten Hofdünger stammen von Betrieben, die gemäss den Richtlinien der jeweiligen Produzentenorganisation wirtschaften.

Probenahme und Behandlung

Die Bodenproben wurden dem Oberboden (0-20 cm) sowie dem

Unterboden (30-50 cm) vor Versuchsbeginn im November 1977 (Kleegraswiese) und nachfolgend am Ende jeder FFP nach der Winterweizenernte in den Jahren 1984, 1991 und 1998 entnommen. Die bei 40 °C luftgetrockneten und nachfolgend auf 2 mm gesiebten Böden wurden am Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) in Liebefeld-Bern gelagert. Untersucht wurden die Auswirkungen der berechneten Bilanzen auf den gemessenen totalen P-Gehalt und das isotopisch austauschbare P.

Phosphor-Bilanzen

Die vereinfachte Input-Output-Bilanz wurde als Differenz zwischen der P-Zufuhr mittels Düngern und dem P-Entzug durch die Ernteprodukte berechnet (Oehl *et al.* 2001). Die mittlere jährliche Bilanz des ungedüngten N-Bodens nahm von -26,2 kg P/ha/Jahr in der ersten auf -15,8 kg P/ha/Jahr in der dritten FFP ab (Tab. 2). Während der ersten FFP waren die Getreideerträge noch mit jenen der gedüngten Verfahren vergleichbar, was auf die gute Nährstoffversorgung des Bodens bei Versuchsbeginn

Tab. 2. Mittlere jährliche P-Zufuhr und P-Bilanz der untersuchten Böden je Fruchtfolgeperiode und im Mittel über alle drei Fruchtfolgeperioden (in kg P/ha/Jahr)

Verfahren	1. Fruchtfolgeperiode 1978-1984		2. Fruchtfolgeperiode 1985-1991		3. Fruchtfolgeperiode 1992-1998		gesamte Versuchsdauer 1978-1998	
	Input	Bilanz	Input	Bilanz	Input	Bilanz	Input	Bilanz
N	0	-26,2	0	-20,7	0	-15,8	0	-20,9
D2	28,5	-2,0	27,5	-5,1	16,6	-16,4	24,2	-7,8
O2	29,3	-1,8	25,2	-8,5	25,0	-6,6	26,5	-5,7
M2	0	-27,5	46,1	+12,0	36,3	+0,5	27,5	-5,0
K2	51,1	+15,2	43,9	+4,8	34,0	-8,6	43,0	+3,8
sem		0,74		0,82		0,79		0,65

Die mittleren Bilanzen wurden als Differenz zwischen der P-Zufuhr durch Düngung und dem P-Entzug durch die Ernteprodukte aus vier Feldwiederholungen berechnet. sem: mittlerer Fehler vom Mittelwert (standard error of the mean).

sowie auf sein hohes Nachlieferungsvermögen hinweist. In der Folge nahmen in N sowohl die Kornerträge als auch die P-Entzüge deutlich ab. In den biologischen Verfahren resultierten in den einzelnen FFP ebenfalls durchwegs negative Bilanzen. Der P-Entzug überstieg die P-Zufuhr, obwohl die angestrebte Soll-Düngung von 1,2 beziehungsweise 1,4 DGVE/ha deutlich übertroffen wurde. Zur Erreichung einer ausgeglichenen P-Bilanz wäre gemäss den Entzügen der ersten FFP mindestens die P-Zufuhr einer Besatzdichte von 2 DGVE/ha nötig gewesen. Im M2-Verfahren ergab sich in der dritten FFP eine ausgeglichene Bilanz. Aufgrund der ungedüngten ersten FFP fiel die Gesamtbilanz aber negativ aus

und lag im Bereich jener der biologischen Verfahren. Das organisch-mineralisch gedüngte K2-Verfahren zeigte bis zur dritten FFP eine kontinuierlich abnehmende Bilanz. Aufgrund der auf die einfache Normdüngung reduzierten P-Zufuhr, der erstmaligen Anwendung der Düngungsrichtlinien von 1987 und der guten P-Versorgung des Bodens durch P-Bilanzüberschüsse in den Vorjahren ergab sich in der dritten FFP erstmals eine negative Bilanz. Über die gesamte Versuchsdauer erreichte K2 dennoch eine positive Bilanz.

Phosphor-Verlagerung

Über die 21 Versuchsjahre traten im Oberboden Veränderungen im P-Gehalt auf, die sich nicht anhand der Gesamtbilanzen er-

klären liessen. Um diese Diskrepanz zu erklären, wurde die Veränderung des totalen P-Gehaltes im Unterboden mitberücksichtigt. Die Umrechnung in den totalen P-Gehalt je Flächeneinheit erfolgte mit den über die Versuchsdauer unveränderten mittleren Lagerungsdichten von 1,25 kg/dm³ im Oberboden und 1,47 kg/dm³ im Unterboden (Stauffer, persönliche Mitteilung).

Nach drei FFP stimmte die Rangfolge der totalen P-Gehalte im Oberboden weitgehend mit jener der P-Gesamtbilanz überein (Tab. 3). Mit zunehmender P-Bilanz stiegen die nicht aufgefundenen P-Mengen im Oberboden an. Im Unterboden jedoch konnte in allen gedüngten Ver-

Tab. 3. Vergleich der Veränderung des totalen P-Gehaltes (P_t) und der Bilanz in den Oberböden sowie die Entwicklung des totalen P-Gehaltes in den Unterböden während 21 Versuchsjahren (in kg P/ha)

Verfahren	Oberboden (0 bis 20 cm)					Unterboden (30 bis 50 cm)		
	P _t 1977	P _t 1998	ΔP _t 1977-1998	Bilanz 1977-1998	nicht aufgefundene P _t -Menge	P _t 1977	P _t 1998	ΔP _t 1977-1998
N	2010	1498	-512	-439	-73	1388	1388	0
D2	2025	1743	-282	-166	-116	1370	1519	+148
O2	1958	1736	-223	-120	-103	1370	1501	+131
M2	2018	1758	-260	-105	-155	1379	1519	+140
K2	1958	1810	-148	+80	-228	1388	1571	+183
sem	42	46	44	14	52	38	57	41

Mittelwerte aus vier Feldwiederholungen, sem: mittlerer Fehler vom Mittelwert (standard error of the mean).

fahren ein Anstieg der P-Gehalte festgestellt werden, der in etwa dem Verlust im Oberboden entspricht. Unberücksichtigt blieben allerdings die Veränderungen des P-Gehaltes in der Bodenschicht von 20-30 cm und unterhalb von 50 cm. Dieser P-Verlust im Oberboden von 3,5 bis 10,9 kg P/ha/Jahr mit gleichzeitiger P-Akkumulierung im Unterboden dürfte auf eine Abwärtsverlagerung durch Wasserperkolat und Wurzeldeposition zurückzuführen sein (Campbell *et al.* 1993). Die grösste geschätzte Tiefenverlagerung (13-27 kg P/ha/Jahr) erfolgte während der ersten FFP (Abb. 2). Tendenziell nahm die Verlagerung aus dem Oberboden während der zweiten FFP in allen Verfahren ab. Im Oberboden des ungedüngten N-Verfahrens resultierte bereits Ende der zweiten FFP ein höherer P-Gehalt als aufgrund des Gehaltes 1985 und der Bilanz von 1985 bis 1991 zu erwarten war, was einem Nettoanstieg des P-Gehaltes entspricht. Somit stellte sich eine aufwärts gerichtete P-Bewegung ein. Am Ende der dritten FFP zeichnete sich für sämtliche Verfahren ausser K2 ein Nettoanstieg des P-Gehaltes im Oberboden ab. Die Aufwärtsbewegung lässt sich durch eine erhöhte P-Aufnahme in tieferen Bodenschichten und nachfolgender Deposition in höheren Schichten durch absterbendes Pflanzenmaterial sowie durch oberflächliche Ernterückstände erklären (Stumpe *et al.* 1994). Zusätzlich dürfte die Aktivität von Bodentieren einen Beitrag zum P-Transport leisten, wobei vertikale Regenwurmröhren auch den Partikeltransport nach unten begünstigen.

Phosphor-Verfügbarkeit

Mit chemischen Extraktionsverfahren lässt sich die pflanzenverfügbare P-Menge im Boden nur ungenau abschätzen. Die extrahierbaren Mengen schwanken in

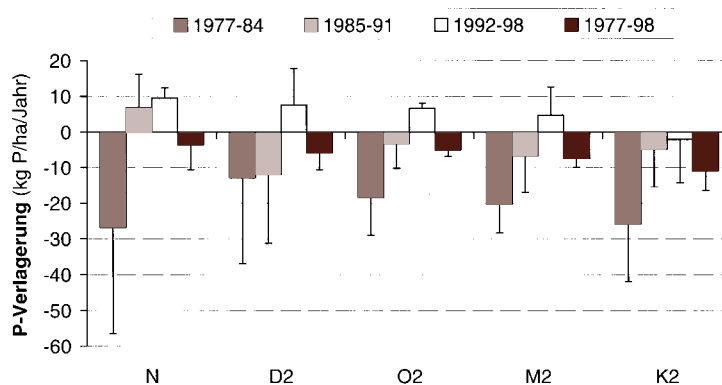


Abb. 2. Geschätzte netto abwärtsgerichtete P-Verlagerung aus dem Oberboden (negative Werte) und netto aufwärtsgerichtete P-Bewegung in den Oberboden (positive Werte) während der einzelnen Fruchtfolgeperioden und über 21 Jahre; Mittelwerte mit Standardabweichungen aus vier Feldwiederholungen.

Abhängigkeit der Aggressivität der Extraktionsmittel sowie der bodenchemischen Eigenschaften. Hingegen ermöglicht die Zugabe von P-Isotopen das verfügbare P im Boden anhand der Austauschdynamik ohne Zerstörung des Systems zu ermitteln. Mittels Isotopaustausch-Kinetik-Technik (Fardeau 1993) wurde die verfügbare P-Menge (E_1) in den beiden Bodenschichten bestimmt. Der Parameter E_1 (mg P/kg Boden) bezeichnet die sofort ohne chemische Transformationen pflanzenverfügbare P-Menge.

Bei Versuchsbeginn lagen die Mengen an sofort pflanzenverfügbarem P in sämtlichen Oberböden auf demselben Niveau (Abb. 3). Bereits nach der ersten FFP zeigten sich indes verfahrensspezifische Unterschiede. Die E_1 -Werte sanken im ungedüngten N und den biologischen Verfahren D2 und O2 über die 21

Versuchsjahre kontinuierlich ab. Entsprechend den vergleichbaren Bilanzen von D2 und O2 wiesen die biologischen Verfahren 1998 noch eine ähnliche, deutlich höhere P-Verfügbarkeit auf als das ungedüngte N-Verfahren. Der E_1 -Wert des in der ersten FFP ungedüngten und nachfolgend rein mineralisch gedüngten M2-Verfahrens sank erwartungsgemäss bis 1984 gleichförmig mit dem ungedüngten Verfahren. Durch die zugeführte Düngung in der zweiten FFP und der resultierenden positiven P-Bilanz stieg die P-Verfügbarkeit bis 1991 auf das Niveau der biologischen Verfahren an. Mit einer ausgeglichenen P-Bilanz in der dritten FFP stabilisierte sich die P-Verfügbarkeit, so dass M2 1998 eine Zwischenstellung zwischen den biologischen und dem K2-Verfahren einnahm. Die deutlich positive Bilanz von K2 während der ersten FFP bewirkte einen

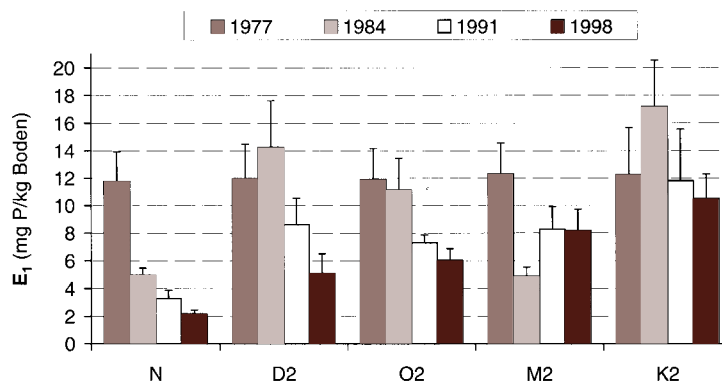


Abb. 3. Sofort pflanzenverfügbares P (E_1) in den Oberböden bei Versuchsbeginn und am Ende der siebenjährigen Fruchtfolgeperioden; Mittelwerte mit Standardabweichungen aus vier Feldwiederholungen.

Anstieg von E_1 . Allerdings reichte das Niveau der wiederum positiven Bilanz der zweiten FFP nicht, um die hohe P-Verfügbarkeit aufrechtzuerhalten. Die negative Bilanz der dritten FFP führte zu einer weiteren Abnahme vom E_1 -Wert, doch war K2 das einzige Verfahren, das keine signifikante Abnahme der Verfügbarkeit im Oberboden über die gesamte Versuchsdauer aufwies. Im Unterboden konnte tendenziell mit zunehmender P-Bilanz ein Anstieg der P-Verfügbarkeit und eine Abnahme der P-Sorptionskapazität beobachtet werden (Oehl *et al.* 2001).

Am Ende der ersten FFP erzielte das ungedüngte M2 mit einem E_1 -Wert von 4,9 einen Winterweizen-Kornertrag von 59,9 dt/ha mit 85 % TS (Spiess und Besson 1995). Diese Ertragsleistung stützt die Ergebnisse von Morel *et al.* (1992), wonach ein E_1 -Wert von 3,5 zur Ausschöpfung von 95 % des Ertragspotenzials von Winterweizen nötig ist. In den biologischen Verfahren (E_1 -Werte ≥ 5) ist demnach im Oberboden für die Weizenproduktion noch keine P-Limitierung zu erwarten. Zudem weist der Unterboden noch beträchtliche Reserven auf, um vorerst noch eine ausreichende P-Ernährung der Pflanzen zu gewährleisten. Im N-Verfahren dürfte nach drei ungedüngten FFP neben Stickstoff auch P ertragslimitierend wirken, obwohl die P-Verfügbarkeit im Unterboden mit 3,1 mg P/kg im Jahre 1998 jene des Oberbodens deutlich überstieg. Die höhere P-Verfügbarkeit trotz tieferem totalem P-Gehalt im Unterboden kann auf den geringeren organischen P-Anteil als im Oberboden zurückgeführt werden (Oehl *et al.* 2001).

Folgerungen

Eine ausgeglichene P-Bilanz reichte nicht aus, die anfänglich

hohe P-Verfügbarkeit ($E_1 = 12$ mg P/kg) des lehmig-schluffigen Bodens aufrechtzuerhalten. Mit der ausgeglichenen Bilanz in M2 während der dritten FFP konnte hingegen der E_1 -Wert auf tieferem Niveau bei rund 8 mg P/kg stabilisiert werden. Für die Ernährung der Kartoffeln mit höheren P-Ansprüchen als Winterweizen reichte die P-Verfügbarkeit dennoch aus, da der Kartoffelertrag in der dritten FFP in M2 nur unwesentlich unter jenem von K2 lag (Dubois *et al.* 1999). Aus Sicht der Ertragsicherheit ist somit das 1977 festgestellte hohe Niveau der P-Versorgung auf diesem Boden nicht notwendig.

Die Zunahme der P-Gehalte im Unterboden der gedüngten Verfahren kann weitgehend mit der P-Gehaltsabnahme von 5,5 bis 10,9 kg P/ha/Jahr im Oberboden erklärt werden, was auf eine Tiefenverlagerung von P hinweist. Der Anstieg des P-Gehaltes im Unterboden war mit einer Abnahme der P-Sorptionskapazität verbunden, wodurch die P-Mobilität und demzufolge das Risiko von Auswaschungsverlusten ansteigt.

Die P-Bilanzen der biologischen Verfahren waren auch in der dritten FFP negativ. Somit beruhen deren Erträge teilweise noch immer auf dem guten Versorgungszustand des Bodens bei Versuchsbeginn. Die P-Verfügbarkeit dürfte daher noch weiter sinken. Daher kann nach 21 Versuchsjahren noch nicht abschliessend beurteilt werden, ob das angewandte P-Düngungsniveau bei den biologischen Verfahren zu einer Ertragslimitierung führen wird.

Mit der in der dritten FFP angewandten Düngungsnorm von 1987 wurde in M2 eine ausgeglichene Bilanz erzielt. Eine Reduktion der P-Düngung mit der Anwendung der Richtlinien von

1994 ab der vierten FFP dürfte in M2 wiederum zu einer negativen P-Bilanz führen und die P-Verfügbarkeit etwas absenken.

Literatur

- Besson J.M. und Niggli U., 1991. DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. I. Konzeption des DOK-Versuchs: 1. und 2. Fruchtfolge. *Schweiz Landwirtsch. Forsch.* **31**, 79-109.
- Campbell C.A., Lafond G.P., Biederbeck V.O. and Winkelman G.E. 1993. Influence of legumes and fertilization on deep distribution of available phosphorus (Olsen-P) in a thin Black Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* **73**, 555-565.
- Dubois D., Gunst L., Fried P., Stauffer W., Spiess E., Mäder P., Alföldi T., Fliessbach A., Frei R. und Niggli U. 1999. DOK-Versuch: Ertragsentwicklung und Energieeffizienz. *Agrarforschung* **6**, 71-74.
- Eidg. Forschungsanstalten Liebefeld-Bern, Zürich-Reckenholz und Lausanne 1972. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. *Mitteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft* **20** (1), 33-49.
- Eidg. Forschungsanstalten für landwirtschaftlichen Pflanzenbau (FAP, RAC) sowie für Agrikultur und Umwelthygiene (FAC) 1987. Düngungsrichtlinien für den Acker- und Futterbau. Vertrieb: Landwirtschaftliche Beratungszentrale Lindau.
- Fardeau J.C. 1993. Le phosphore assimilable des sols: sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. *Agronomie* **13**, 317-331.
- Fliessbach A. and Mäder P. 2000. Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems. *Soil Biology Biochemistry* **32**, 757-768.
- Morel C., Planchette C. and Fardeau J.C. 1992. La fertilisation phosphatée raisonnée de la culture du blé. *Agronomie* **12**, 565-579.

- Oehl F., Oberson A., Tagmann H. U., Besson J. M., Dubois D., Mäder P. Roth H. R. and Frossard E. 2001. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (in press).
- Stumpe H., Garz J. and Scharf H. 1994. Effect of differential P fertilizer application over a period of 40 years in a long-term field experiment on a Phaeosem near Halle, Germany. *Z Pflanzenernähr Bodenk* **157**, 105-110.
- Siegrist S., Schaub D., Pfiffner L. and Mäder P. 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture Ecosystem Environment* **69**, 253-264.
- Spiess E. und Besson J.M. 1995. Erträge, Ertragsbildung und Nährstoffbilanz. In: FAC-Oktobertagung 1995: Biologischer Landbau: Beitrag des DOK-Versuches. p. 27-35.

RÉSUMÉ

Essai DOC: bilan et disponibilité du phosphore sur 21 ans

Le but de ce travail était d'étudier sur le long terme l'influence de systèmes de culture biologique ou conventionnelle sur la teneur de phosphore total dans le sol et sur sa disponibilité pour les plantes. On a utilisé à cet effet des échantillons de sol de l'essai DOC mis en place en 1978 à Therwil. Les échantillons ont été prélevés dans les horizons 0 - 20 cm et 30 - 50 cm des traitements non fertilisé (N), des deux traitements biologiques (D2, O2) et des deux traitements conventionnels (M2, K2), au début de l'essai (1977) et à la fin de chaque rotation de sept ans (1984, 1991 et 1998). Les teneurs en P total, et en P isotopiquement échangeable en 1 minute (E_1) considéré comme totalement disponible pour les cultures, ont été mesurés dans tous les échantillons. Après 21 ans d'essai, à l'exception de K2, l'exportation de P par les produits récoltés était supérieure à l'apport de P par la fumure, résultant dans les bilans suivants: N, -21 ; D2, -8 ; O2, -6 ; M2, -5 ; K2, +4 kg P/ha/an. Entre 1977 et 1998, les horizons superficiels des traitements fertilisés ont subi des pertes de P comprises entre 5,5 et 10,9 kg P/ha/an alors que les horizons 30 - 50 cm s'enrichissaient de 7,0 à 8,7 kg P/ha/an. E_1 a diminué dans l'horizon 0 - 20 cm d'une valeur initiale de 12 mg P/kg à 11 pour K2, 8 pour M2, 6 pour O2, 5 pour D2 et 2 pour N après 21 ans d'essai. Comme les bilans des traitements biologiques (D2 et O2) continuent d'être négatifs, la valeur E_1 continue à diminuer. Il reste à étudier quand ces systèmes deviendront limitant en P pour les cultures.

SUMMARY

DOC-trial: Phosphorus budget and availability over 21 years

The aim of this work was to assess the long term effect of organic and conventional farming on concentrations of total and available phosphorus (P) in cropped soils. Soil samples were taken from a field trial comparing a non-fertilised control (N), two organically cultivated treatments (D2, O2) and two conventionally cultivated treatments (M2, K2). Samples were taken from each treatment at two depths (0 - 20 and 30 - 50 cm) before starting the field trial (1977) and at the end of every three crop rotations (1984, 1991 and 1998). They were analysed for total P and P isotopically exchangeable in 1 minute (E_1) which represents plant available P. Over 21 years, the average P input by fertilisers was lower than P output by harvested products in all treatments except K2. The resulting average P balances (input minus output) were: N, -21; D2, -8; O2, -6; M2, -5; K2, +4 kg P/ha/year. In addition, over 21 years, on average between 5,5 and 10,9 kg P/ha/year was lost from the topsoil of fertilised treatments. In the same time, P contents in the subsoil increased between 7,0 and 8,7 kg P/ha/year. Topsoil E_1 values decreased from an initial value of 12 mg P/kg to 11 in K2, 8 in M2, 6 in O2, 5 in D2 and 2 in N in 1998. Because of negative P balances, E_1 continues to decrease in D2 and O2 soils. Whether the applied fertilisation strategy will limit crop growth remains to be investigated.

Key words: P availability, P budget, organic farming, conventional farming, farming systems