

Phosphor- und Kalium-Bilanzen über 35 Jahre DOK-Versuch & geschätzte K-Nachlieferungsraten auf einem Lössboden

Jarosch KA^{1,2}, Gunst L¹, Dubois D¹, Mäder P³ & Mayer J¹

Keywords: Phosphorous balance, potassium balance.

Abstract

*We calculated a phosphorus (P) and potassium (K) balance for the DOK-trial (Therwil, Switzerland) for a 35-years cropping period. In the DOK-trial, three cropping systems (D: biodynamic, O: bioorganic and K: conventional) are maintained on both a full (2) and a halved (1) fertilization level. Additionally, a treatment with no fertilization (N) and mineral fertilization (M; since 1985) are included. Balance inputs included fertilization, deposition, nutrients inputs by seeds, while in the outputs removal of nutrients by harvested plant material and leaching was considered. For P, the balance was positive for treatment M and treatment O2, but negative for the other treatments. The K-balance was positive only for treatment M, while treatments D2, O2 and K2 showed a slightly negative K-balance. In general, extensively maintained treatments on the halved fertilization level as well as treatment N show a negative P and K-Balance. Due to relatively constant K-concentrations and K-removal by crops in treatment N for the last 3 cropping periods (7 years each) we estimated a supply potential of K from loess soil of approximately 50 kg/ha * yr.*

Einleitung und Zielsetzung

Phosphor (P) und Kalium (K) sind neben Stickstoff essentielle Nährstoffe deren ausreichende Verfügbarkeit für einen konstanten Ernteertrag essentiell sind. Analog zur Arbeit von Mayer J. et al. (in diesem Tagungsband) wurde eine P und K Bilanz für den DOK-Feldversuch (Mäder et al. 2002) in Therwil (Schweiz) erstellt. Der DOK-Feldversuch (Beginn: 1978) setzt sich aus den Verfahren biologisch-dynamischer (D), organisch-biologischer (O) und konventioneller (K) Ackerbewirtschaftung zusammen. Zusätzlich beinhaltet der Versuch ein nicht gedüngtes Verfahren (N) sowie ein Verfahren mit einer rein mineralischen Düngung (M, seit 1985). Die Verfahren D, O und K werden mit jeweils praxisüblicher Bodenbearbeitung und auf zwei Düngestufen (1 – halbe Düngung, 2 – volle Düngung) bewirtschaftet. Als Referenz für die volle Düngungsstufe gelten 1,2 (bis 1991) bzw. 1,4 Düngergrossvieheinheiten/ha. Im Verfahren M wird nur Mineraldünger entsprechend der Düngersstufe 2 ausgebracht. Der seit 1978 laufende Feldversuch wird mit einer siebenjährigen Fruchtfolge bewirtschaftet, wobei diese in drei Schlägen zeitlich verschoben mit vier Wiederholungen repliziert wird.

Ziel war es aus den jährlich ermittelten Daten der P- und K- Einträge sowie Austräge eine Bodennährstoffbilanz für beide Elemente zu erstellen (Oenema et al. 2003). Dadurch soll eine Abschätzung ermöglicht werden, ob das Risiko erhöhten Nährstoff-

¹ Agroscope, Inst. für Nachhaltigkeitswissenschaften, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz. jochen.mayer@agroscope.admin.ch

² Universität Bern, Geographisches Institut, Hallerstrasse 12, 3012 Bern, Schweiz.

³ FiBL, Ackerstrasse 113, 5070 Frick, Schweiz.

austrags bei Überdüngung oder eventueller Mangel für Pflanzenwachstum bei zu wenig Nährstoffeintrag besteht. Zusätzlich sollte für K die bodeneigene Nachlieferungsrate geschätzt werden.

Methoden

Für die Periode 1978 – 2012 wurde eine P und K Bilanz durch den Vergleich der Einträge und Austräge berechnet. Jährliche Salden wurden laut Formel 1 bestimmt.

$$\text{Saldo Jahr}_i = \text{Eintrag Jahr}_i - \text{Austrag Jahr}_i \quad (1)$$

Die Einträge umfassten die Faktoren 1) Düngung, 2) Deposition sowie 3) Saatgut, während in den Austrägen 4) Ernteprodukte (Feldfrüchte, Stroh, Grüngut) und 5) Auswaschungsverluste berücksichtigt wurden. Für die Düngung und Ernteprodukte standen jährliche Messdaten zur Verfügung, während Depositionseintrag, Saatgut-eintrag und Auswaschung durch Literaturwerte geschätzt wurde. Durch die Aufsummierung jährlicher Salden wurde die P und K Bilanz für die 35-jährige Periode errechnet. Die Bilanzen wurden mit den jährlich ermittelten verfügbaren P und K Konzentrationen im Oberboden 0 – 20 cm (bestimmt durch Extraktion mit CO₂ gesättigtem Wasser) in Beziehung gesetzt.

Ergebnisse

Die grössten Einflussfaktoren auf das P-Budget hatten die Düngergabe und der Austrag durch Ernteprodukte (97 – 99 % Anteil am Gesamtbudget, je nach Verfahren), während die anderen Faktoren eine sehr geringe Rolle spielten. Ein ähnliches Bild ergab sich für K (93 – 99 % Anteil der beiden Faktoren am Gesamtbudget), wobei die geschätzte K-Auswaschung von 5 kg/ha*a (Blume et al. 2002) im Verfahren N noch bis zu 6 % des Budgets ausmachte. Durchschnittliche P und K Einträge sind in Tabelle 1 ersichtlich.

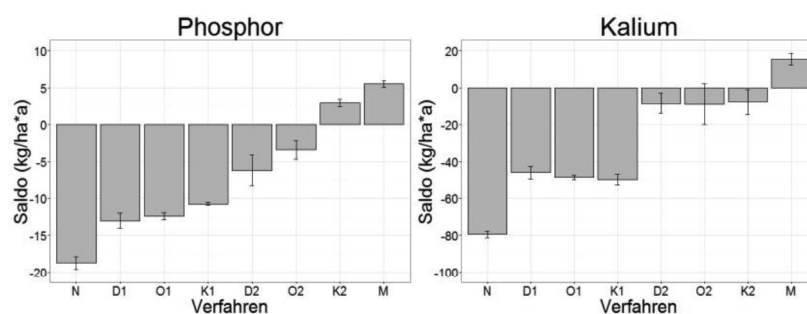
Tabelle 1: Durchschnittliche P und K Einträge pro Jahr und pro Versuchsfläche.

Versuchsflächen	N	D1	O1	K1	D2	O2	K2	M
	kg/ha*a							
P-Eintrag	1	12	14	20	24	27	40	39
K-Eintrag	1	85	86	127	170	170	257	248

Für P ergab sich für die Verfahren K2 und M eine positive P-Bilanz von 3±0 und 6±0 kg/ha*a (Abbildung 1). Für alle anderen Verfahren war die Bilanz negativ ausgeprägt, selbst in den vollgedüngten Verfahren D2 und O2. Das Bilanzdefizit war bei den halbgedüngten Dünge­stufen D1, O1 und K1 noch deutlicher (-11 bis -13 kg/ha*a), die nicht gedüngte Fläche (N) hatte erwartungsgemäss das grösste Defizit mit -19±1 kg/ha*a.

Für K zeigte nur das mineralisch gedüngte Verfahren (M) eine positive K Bilanz (15±3 kg/ha*a), während alle anderen Verfahren eine negative K-Bilanz vorwiesen. Eine klare Abstufung von den vollgedüngten Verfahren D2, O2, K2 (-8 bis -9 kg/ha*a), zu den halbgedüngten Verfahren D1, O1, K1 (-49 bis -50 kg/ha*a) zum nicht gedüngten Verfahren N (-80±2 kg/ha*a) wurde sichtbar.

Abbildung 1: Durchschnittliche Phosphor- und Kaliumbilanzen über 35 Jahre, Mittelwerte \pm Standardabweichung aus drei Schlägen.



Konzentrationen an anorganischem P im Oberboden zeigten bei allen Verfahren bis auf das mineralisch gedüngte Verfahren eine Abnahme in den ersten drei Fruchtfolgeperioden (FFP) und danach eine Stabilisierung über die Zeit (Tabelle 2).

Die K-Konzentrationen im Oberboden nahmen auch im Verfahren N konstant ab, während in allen anderen Verfahren grössere Fluktuationen über die Zeit zu beobachten waren. In der FFP 5 (Periode 2006 – 2012) ergibt sich durchwegs ein geringer Anstieg der K-Konzentrationen im Vergleich zu vorhergehenden FFP.

Tabelle 2: Anorganische P- und K-Konzentrationen (Extraktion mit CO₂-gesättigtem Wasser) über 5 Fruchtfolgeperioden (FFP). Mittelwerte \pm Standardabweichung.

FFP [#]	N [*]	D1/O1/K1 [*]	D2/O2/K2 [*]	M [*]
Phosphor (mg P /kg Boden)				
1	1,2 \pm 0,7	1,8 \pm 0,8	2,2 \pm 0,9	-
2	0,5 \pm 0,2	0,8 \pm 0,3	1,5 \pm 0,7	0,9 \pm 0,4
3	0,3 \pm 0,1	0,6 \pm 0,2	1,1 \pm 0,5	0,9 \pm 0,4
4	0,3 \pm 0,1	0,5 \pm 0,2	1,1 \pm 0,4	0,9 \pm 0,3
5	0,3 \pm 0,1	0,5 \pm 0,1	1,0 \pm 0,3	1,1 \pm 0,3
Kalium (mg K /kg Boden)				
1	5,0 \pm 1,8	6,4 \pm 2,4	8,5 \pm 4,0	-
2	3,5 \pm 0,9	4,7 \pm 1,2	7,1 \pm 3,1	5,5 \pm 1,6
3	3,0 \pm 0,9	4,7 \pm 1,3	7,7 \pm 3,0	6,6 \pm 2,9
4	3,0 \pm 0,9	5,1 \pm 1,2	9,4 \pm 2,9	8,6 \pm 3,5
5	3,2 \pm 0,6	5,4 \pm 1,2	10,9 \pm 3,0	9,7 \pm 2,7

[#] Eine Fruchtfolgeperiode entspricht 7 Jahren.

^{*} Düngestufen wurden wegen ähnlicher Konzentrationen gruppiert.

Diskussion & Schlussfolgerungen

Die errechnete P-Bilanz legt nahe, dass selbst die volle Dünge­stufe in den Verfahren D2 und O2 nicht ausreicht um den P-Entzug voll zu decken. Auf den extensiver genutzten Flächen mit halber Dünge­stufe ist der Entzug noch ausgeprägter. Eine nachhaltige Bewirtschaftung ist mit der negativen Bilanz dadurch nicht gegeben. Weil die Fläche vor Beginn des DOK-Versuchs relativ intensiv mit P gedüngt wurde, reicht der bodenbürtige Vorrat an P aber noch aus um eine P-Limitierung auszuschliessen (Gunst et al. 2013). Die Quantifizierung verschiedener organischer und anorganischer P-Verbindungen zeigte weiters, dass vor allem die anorganischen P-Vorräte (unabhängig vom Verfahren) durch die Bewirtschaftung entleert werden (Keller et al 2012).

Für K deuten die negativen Bilanzen (bis auf Verfahren M) darauf hin, dass durch Ernteerträge mehr K entzogen wird als durch Düngung zugefügt wird. Eine Kolimitierung von K, gemeinsam mit Stickstoff, wurde bereits in früheren Publikationen festgestellt (Gunst et al. 2013, Oberson et al. 2013). Im Verfahren N wurden ab FFP 3 relativ stabile K-Konzentration im Bodenextrakt sowie K-Entzüge durch Ernteerträge beobachtet. Dadurch schätzen wir das bodenbürtige K-Nachlieferungsvermögen des Oberboden auf etwa 50 kg/ha*a.

Literatur

- Blume HP, Brümmer GW, Schwertmann U, Horn R, Kögel-Knabner I, Stahr K, Auerswald K, Beyer L, Hartmann A, Litz N, Scheinost A, Stanjek H, Welp G & Wilke BM (2002) Scheffer / Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Aufl. 15, Heidelberg, Berlin: 276.
- Gunst L, Richner W, Mäder P & Mayer P (2013) DOK-Versuch: Nährstoffversorgung in Winterweizen – Wo wird es eng? *Agrarforschung Schweiz*. 4 (2): 74-81.
- Keller M, Oberson, A, Annaheim KE, Tamburin F, Mäder P, Mayer J, Frossard E & Bünemann EK (2012) Phosphorus forms and enzymatic hydrolyzability of organic phosphorus in soils after 30 years of organic and conventional farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 175 (3): 385-393.
- Mäder P, Fliessbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P & Niggli U (2002) Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science*, 296 (5573): 1694-1697.
- Oberson A., Frossard E, Bühlmann C, Mayer J, Mäder P & Lüscher A. (2013) Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant And Soil* 371: 237-255.
- Oenema O, Kros H & de Vries W (2003) Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *European Journal of Agronomy*, 20 (1-2): 3-16.