

Stickstoffbilanzen in biologischen und konventionellen Anbausystemen – Das Effizienz-Nachhaltigkeits-Dilemma

Mayer J¹, Jarosch KA¹, Hammelehle A^{1,2}, Dubois D¹, Gunst L¹, Bosshard C¹, Frossard E², Mäder P³ & Oberson A²

Keywords: nitrogen balance, nitrogen use efficiency, soil nitrogen stocks.

Abstract

N-balances over 35 years from the DOK trial are presented and combined with N-stock changes in DOK treatments on different fertilisation levels. Results strongly indicate an N efficiency-sustainability dilemma: DOK treatments with a high nitrogen use efficiency (NUE) lose more soil stock N than those with a lower NUE but higher N losses from the system. The biodynamic system showed little advantage in terms of soil N stocks sustainability while the solely mineral fertilised conventional treatment had highest NUE across all inputs including soil N change.

Einleitung und Zielsetzung

Stickstoff (N) ist im biologischen Landbau der hauptsächlich begrenzende Nährstoff für den Ernteertrag. Er wird aus zwei Primärquellen a) der biologischen N₂-Fixierung und b) der atmosphärischen Deposition bereitgestellt. Andere Quellen wie der N-Bodenvorrat oder der N in Wirtschaftsdüngern basieren auf diesen beiden Primärquellen. Nährstoffbilanzen auf Flächenbasis in Langzeitversuchen wie dem DOK-Versuch (Mäder et al. 2002) in Therwil, Schweiz, geben detaillierte Auskünfte über die N-Versorgung, die N-Effizienz und N-Verlustpotenziale des Gesamtsystems. Darüber hinaus können die Ergebnisse der N-Bilanzen mit Nachhaltigkeitsparametern wie der Entwicklung der Bodenqualität verknüpft werden. Diese Verknüpfung gibt neue Einsichten in die Bewertung von N-Bilanzen und relativiert ‚State of the Art‘- Wissen. In dieser Studie wurde neben den N-Bilanzen die Veränderung des Boden-N Vorrates betrachtet. Der DOK-Versuch erlaubt überdies den Vergleich biologischer und konventioneller Anbausysteme und den Einfluss unterschiedlicher Düngungsintensitäten der Systeme.

Ziel der Studie war a) die N-Bilanzsalden im DOK-Versuch über 35 Jahre und daraus abgeleitet die N-Ausnutzungseffizienz (NAE) der Systeme zu berechnen, b) die Bilanzsalden mit der Veränderung der Boden-N Vorräte zu verknüpfen und die NAE – Nachhaltigkeitsinteraktionen neu zu bewerten. Parallel zu dieser Studie wurden die P/K-Bilanzen berechnet (siehe Jarosch, K. et al. in diesem Tagungsband).

Methoden

Der DOK-Feldversuch (Beginn: 1978) setzt sich aus den Verfahren biologisch-dynamisch (D), organisch-biologisch (O) und konventionell (K) gemischtbetrieblichen

¹ Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz, jochen.mayer@agroscope.admin.ch, www.agroscope.ch

² ETH Zürich, Inst. für Agrarwissenschaften, Eschikon 33, 8315 Lindau, Schweiz

³ FiBL, Ackerstrasse, 5070 Frick, Schweiz

Systemen zusammen. Zusätzlich umfasst der Versuch ein ungedüngtes (N0) sowie ein Verfahren mit einer rein mineralischen Düngung (M2, seit 1985). Die Verfahren D, O und K werden mit jeweils praxisüblicher Bodenbearbeitung und auf zwei Düngungsstufen: 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 M2 wird nur Mineraldünger nach Schweizer Norm ausgebracht. In K wird die entsprechende Nährstoffmenge mineralisch ergänzt. Der Feldversuch wird mit einer siebenjährigen Fruchtfolge bewirtschaftet, wobei diese in drei Schlägen zeitlich verschoben mit vier Wiederholungen repliziert wird.

Für die Periode 1978-2012 (M2 seit 1985) wurde die N-Bilanz durch den Vergleich der Einträge und Austräge berechnet. Jährliche Salden wurden laut Formel 1 bestimmt.

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

Die Einträge umfassten die Faktoren 1) Düngung, 2) Deposition 3) Saatgut sowie 4) N aus biologischer N₂-Fixierung (Ndfa), während bei den Austrägen 4) Ernte- und Erntenebenprodukte berücksichtigt wurden. Für die Düngung und Ernteprodukte standen jährliche Messdaten zur Verfügung, während Depositionseintrag und Saatguteintrag anhand von Literaturwerten geschätzt wurden. Die biologische N₂-Fixierung wurde auf Basis der oberirdischen Biomasse, den Kleeanteilen in den Kunstwiesen und eigenen Daten zu unterirdischen N-Einträgen (Wurzel + Rhizodeposition) von Klee und Soja geschätzt. Bei den Kunstwiesen wurde zusätzlich der N-Transfer vom Klee zum Gras berücksichtigt. Als Grundlage für die prozentualen Anteile der Ndfa dienten eigene Messungen sowie die Arbeiten von Oberson et al. (2007) und Oberson et al. (2013).

Die Veränderung der Boden-N Vorräte wurde auf Basis jährlicher Bodenanalysen für den Horizont 0-20 cm und normiert mit Bodendichtedaten auf 2500 t Boden ermittelt.

Ergebnisse

Die N-Einträge betragen rund 110 (N0) bis 300 (K2) kg N ha⁻¹ und Jahr, die Austräge rund 140 (N0) bis 250 (K2) kg (Abb. 1). Im Verfahren N0 überstiegen die Austräge die Einträge um 25 kg, in den halb gedüngten Verfahren D1, O1, K1 und im voll mineralisch gedüngten Verfahren (M2) waren sie nahezu ausgeglichen. In den vollgedüngten gemischtbetrieblichen Verfahren überstiegen die Einträge die Austräge, was zu positiven Bilanzsalden von rund 33 kg für D2 und O2 und einen deutliche höheren Wert von 50 kg N ha⁻¹ für K2 führte (Abb. 1).

Demgegenüber veränderten sich die Bodenvorräte dort am stärksten, wo die N-Bilanzen negativ bzw. ausgeglichen waren. Das Verfahren N0 ohne jegliche Düngung verlor rund 30 kg N ha⁻¹ Jahr, gefolgt von M2 mit voller Mineraldüngung mit 20 kg. Die halb gedüngten Verfahren verloren rund 16 kg, die voll gedüngten Verfahren O2 und K2 mit 7 kg weniger. Nur D2 wies eine ausgeglichene Boden-N Bilanz auf (Abb. 2).

Betrachtet man die NAE (kg N Output / kg N Input) der Verfahren ohne die N-Nachlieferung aus dem Boden einzubeziehen, resultieren Werte von > 100 % für N0 und um die 100% für die halb gedüngten Verfahren D1/O1/K1 und M2 und Werte von rund 85 % für die voll gedüngten Verfahren D2/O2/K2. Unter Einbezug der als realen Input zu wertenden N-Nachlieferung aus dem Boden (kg N Output / (kg N Input + Δ Boden-N)) reduziert sich die NAE auf realistischere Werte unter 100% (Abb. 2).

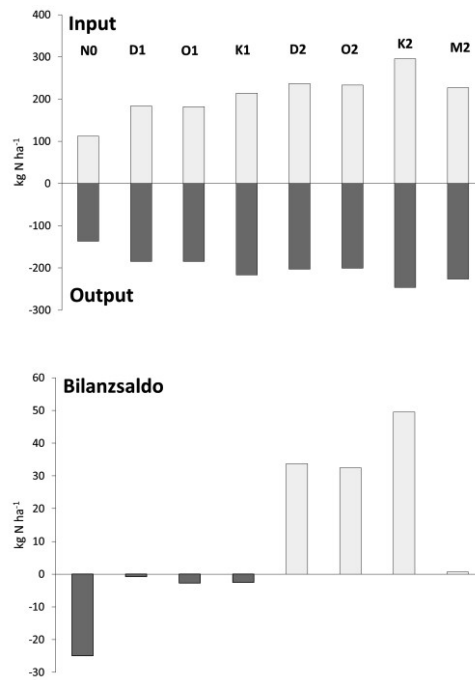


Abbildung 1: N-Inputs und Outputs sowie N-Bilanzsaldo im DOK von 1978-2012 (n = 12) in kg ha⁻¹ und Jahr.

Diskussion

Die N-Bilanz des DOK-Versuches ist auf Grund einer sehr soliden langjährigen experimentellen Datenbasis (Erträge, Nährstoffkonzentrationen, Ndfa, unterirdische N-Einträge, etc.) erstellt worden und ist die erste Studie, die so breit abgestützt werden kann. Mit Ausnahme der gasförmigen Verluste und der Auswaschungsverluste, konnten alle Größen sehr präzise bestimmt bzw. geschätzt werden. Umso erstaunlicher war es, dass die Verfahren insgesamt eine sehr hohe NAE aufwiesen (81-96 % des eingesetzten N). Die halb gedüngten Verfahren (Düngungsstufe 1) sowie das mineralisch gedüngte Verfahren (M2) wiesen anzustrebende ausgeglichene N-Bilanzen aus und hatten die höchste NAE von rund 93% des eingesetzten N. Biologische und konventionelle Systeme unterschieden sich nicht. Demgegenüber verringerte sich die NAE mit zunehmenden Bilanzüberschüssen auf Düngungsstufe 2 von 85% für D2 und O2 und einen etwas geringeren Wert von 81 % für K2. Der Boden verlor dort am meisten, wo die Bilanzen ausgeglichen oder negativ waren und folglich das N-Verlustpotenzial am geringsten war. Eine nachhaltige (D2) oder nachhaltigere (O2, K2), (Abb. 2) Bodenbewirtschaftung wurde mit deutlich höheren N-Verlusten bezahlt. Die Verlustpotenziale betragen 34, 39, 56 kg N ha⁻¹ Jahr für D2, O2 und K2.

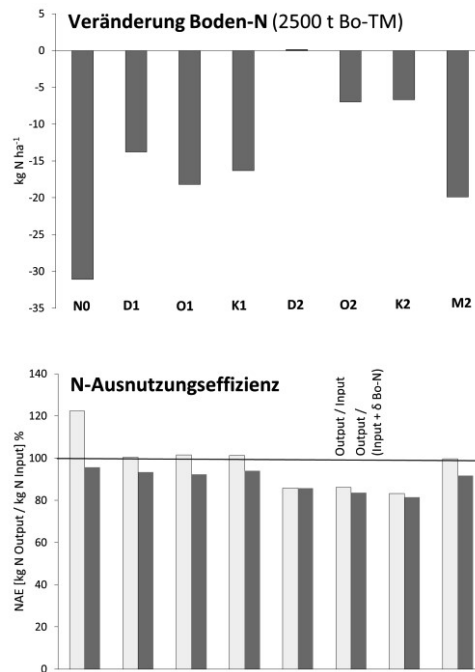


Abbildung 2: Veränderung des Boden-N Vorrates (normiert auf 2500 kg Boden-Trockenmasse, 0-20 cm) in kg ha⁻¹ und Jahr und N-Ausnutzungseffizienz (NAE) des Gesamtsystems auf Basis der Inputs ohne und mit netto Boden-N-Nachlieferung im DOK von 1978-2012 (n=12) in % NAE.

Schlussfolgerungen

Die N-Bilanz des DOK Versuches zeigt deutlich das N-Effizienz-Nachhaltigkeits-Dilemma von Landwirtschaft. Geringe N-Verluste aus dem System (hohe NAE) führen zu einem Verlust an Bodenqualität. Der Erhalt der Bodenqualität (hier bewertet anhand der Änderung der Boden N-Vorräte) muss mit höheren N-Verlusten aus dem System „erkauft“ werden. Sollten weitere Studien unsere Ergebnisse bestätigen, gibt dies Anlass, das Konzept der N-Effizienz neu zu überdenken!

Literatur

- 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.
- Oberson A, Nanzer S, Bosshard C, Dubois D, Mäder P & Frossard E (2007) Symbiotic N-2 fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by N-15 dilution and N-15 natural abundance. *Plant and Soil* 290: 69-83.