

## Ertragspotentiale ökologischer Anbausysteme aus pflanzenbaulicher Sicht

Neuhoff, D.<sup>1</sup>

*Keywords: Ertragslimitierende Faktoren, biologische N<sub>2</sub>-Fixierung, Fruchtfolge.*

### Abstract

*The potential of Organic Agriculture to feed the world is currently under discussion. Contrasting statements concerning this issue are mainly due to missing distinction between socio-economic and agronomic impact factors, to methodical issues of yield comparisons and to sole regional observations. Instead of comparing individual data sets in meta-analyses it is proposed to explore yield potentials of different farming systems from an agronomic perspective. Yields in organic systems are predominantly restricted by nitrogen availability as a function of legume growing. The potential of replacing mineral N by biological nitrogen fixation differs between regions, but generally limits the productivity of cereals. A major determinant for legume cultivation is low pressure on land use, i.e. where the availability of agricultural area per capita is high. Establishing organic systems with legumes in regions with intensive pure crop production, e.g. paddy rice in Bangladesh, would result in a significant decrease of cereal yield and production with a subsequent change in human diet.*

### Einleitung und Zielsetzung

Im Zuge der Debatte um die Welternährung wird die Frage diskutiert, ob die Kalorien- und Proteinversorgung der Menschheit über eine ausschließliche Produktion nach den Richtlinien des Ökologischen Landbaus (ÖL) nachhaltig sichergestellt werden könnte. Die Frage stellt sich sowohl vor dem Hintergrund der bestehenden Bedingungen (Weltbevölkerung =  $7 \cdot 10^9$ ) als auch für die in 2050 erwarteten  $9 \cdot 10^9$  Menschen mit veränderten Verzehrgewohnheiten (zunehmender Verbrauch tierischer Kalorien aus getreidebasierter Veredelung). Verstärkt wird die Problematik durch den zunehmenden Verbrauch von nicht erneuerbaren biotischen und abiotischen Ressourcen, insbesondere in der konventionellen Intensivproduktion (Tilman *et al.* 2002). Die Einschätzung des Potentials des ÖL bedarf einer umfassenden Analyse, die zwischen systemabhängigen, überwiegend agronomischen, und systemunabhängigen, vorwiegend sozioökonomischen, Faktoren qualitativ differenziert. Derzeit gelten bewaffnete Konflikte und armutsinduzierte mangelnde Nahrungsverfügbarkeit (finanziell und räumlich) als Hauptursachen dafür, dass etwa  $8,4 \cdot 10^8$  Menschen (WFP 2014) weltweit unterernährt sind, obwohl die Nahrungsmittelproduktion mengenmäßig für alle ausreichen würde (Tilman *et al.* 2002).

Unabhängig von den politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Faktoren stellt sich jedoch die Frage, welche kalorisch verwertbaren pflanzlichen Biomasseerträge in welchen Anbausystemen erzeugt werden können. Es herrscht Uneinigkeit darüber, wie empirische Befunde aus Vergleichsuntersuchungen aus methodischer Sicht bewertet werden sollen.

---

<sup>1</sup> Institut für Organischen Landbau, Uni Bonn, Katzenburgweg 3, 53115 Bonn,  
<http://www.iol.uni-bonn.de/>, Email: [d.neuhoff@uni-bonn.de](mailto:d.neuhoff@uni-bonn.de)

In einer jüngst veröffentlichten Meta-Studie (de Ponti *et al.* 2012) wurden die Erträge wichtiger Kulturpflanzen aus konventioneller und ökologischer Produktion verglichen. Im Mittel von 362 Datensätzen waren die Erträge aus ökologischer Produktion um 20 % geringer als die konventionellen Referenzerträge. Die Ertragsunterschiede zu konventionell = 100 % hatten eine große Spannweite und reichten für Reis von 40-145 % und für Gemüse von 21-140 %. Die Ergebnisse wurden in einer weiteren Meta-Studie (Seufert *et al.* 2012) größtenteils bestätigt. Im Mittel von 316 Paarvergleichen waren die Erträge nach ökologischer Produktion im Mittel um 25 % geringer als nach konventioneller Bewirtschaftung. In sich entwickelnden Ländern (67 Datensätze) waren die Ertragsunterschiede deutlich größer (- 43 %). Eine weitere Metastudie (Ponisio *et al.* 2015) resümiert, dass die systembedingten Ertragsunterschiede von 1071 Datensätzen über 52 Kulturarten im Mittel 19,2 % zugunsten des konventionellen Systems betragen, die jedoch durch agroökologische Maßnahmen (Fruchtfolgegestaltung, Gemengeanbau) verringert werden konnten. Unter mitteleuropäischen Bedingungen wurde in einem Systemvergleich mit gleichen fünf-feldrigen Fruchtfolgen mit einjährigem Klee gras und vier Marktrüchten (DOK-Versuch) im vierzehnjährigen Mittel in der intensiv ökologischen Variante ein im Vergleich zu konventioneller intensiver Bewirtschaftung um 22 % geringerer Trockenmasseertrag (ohne Unkraut) je ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> festgestellt (Nemecek *et al.* 2011).

Basierend auf einer kurzen methodischen Kritik bestehender Vergleichsuntersuchungen wird nachfolgend dargestellt, wie Ertragspotentiale im ÖL mit Hilfe pflanzenbaulicher Zusammenhänge abgeschätzt werden können.

## Methodische Probleme von Vergleichsuntersuchungen

Die meisten Vergleichsuntersuchungen weisen zwei grundsätzliche methodische Probleme auf, die eine sachgemäße Interpretation der Ergebnisse erschweren. Zum einen werden, wie in den o. g. Metastudien, in der Mehrzahl der Fälle nur die Erträge einzelner Kulturen, nicht jedoch die mittleren Rotationserträge, wie etwa im DOK-Versuch, verglichen (Connor 2013). Zum anderen stellt sich häufig die Frage, ob die gewählten Produktionsbedingungen tatsächlich repräsentativ für die jeweiligen Anbausysteme sind. Beispielsweise werden Ertragsunterschiede zwischen konventionellem und ökologischem Winterweizen minimiert, wenn bodenfruchtbarkeitsfördernde Effekte in der ökologischen Variante gezielt akkumuliert werden, d. h. wenn dort der Weizen nach legumen Feldfutter mit zusätzlicher hoher organischer Düngung steht. Zudem werden in Vergleichsuntersuchungen in den ökologischen Varianten häufig nicht-repräsentative Mengen an Stallmist verwendet, die bei großflächigem Einsatz nicht verfügbar wären. In Gebieten mit wiederholtem Nassreisanbau innerhalb eines Jahres, eine gängige Praxis in vielen Ländern Südostasiens, besitzen intensive Systeme einen ökologisch nicht nachhaltigen, faktisch jedoch deutlich höheren Output als ökologische Systeme, die auf den bodenfruchtbarkeitsfördernden Anbau von Leguminosen angewiesen sind. Zu unterscheiden ist zudem zwischen tatsächlichen Erträgen (actual yields), die unter den gegebenen lokalen Produktionsbedingungen in den jeweiligen Systemen faktisch erzielt werden, und den nach Auflösung ertragslimitierender Faktoren standörtlich erzielbaren Erträgen (attainable yields) (Titonell *et al.* 2013).

Für eine realistische Einschätzung von Ertragsunterschieden zwischen verschiedenen Produktionssystemen bietet sich eine pflanzenbauliche Analyse an, welche die ertragslimitierenden Faktoren im Kontext der systemimmanenten Prozesse analysiert und quantifiziert.

## Ertragslimitierende Faktoren im ÖL

Ein fundamentaler Unterschied zwischen konventionellen und ökologischen Produktionssystemen besteht in der stofflichen und zeitlichen Verfügbarkeit von N. Für die meisten ackerbaulich genutzten Kulturen im ÖL ist N der ertragslimitierende Faktor. Die einzige relevante Quelle für die Nettozufuhr von N in das Agrar-Ökosystem im ÖL ist die biologische N<sub>2</sub>-Fixierung (BNF), überwiegend durch symbiotische Systeme via Leguminosenanbau. Die absolute N-Zufuhr ist vorwiegend eine Funktion der N<sub>2</sub>-Fixierleistung der Leguminosen, der Nutzungsart (Gründünger, Futter, Markfrucht) und des relativen Belegungsanteils in der Fruchtfolge und wird durch deren Selbstunverträglichkeit begrenzt. Witterungsabhängige N-Mineralisation sowie N-Verluste schränken die N-Verfügbarkeit für Pflanzenbestände weiter ein. Eine jüngere globale Schätzung (Herridge *et al.* 2008) geht von einer N<sub>2</sub>-Fixierleistung von 110 bis 227 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für Futterleguminosen und ~ 115 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> für Körnerleguminosen aus. Sojabohnen tragen nach dieser Schätzung zu ~ 77 % zur globalen Fixierleistung der Leguminosen bei. Erhebt man für nachhaltigen ÖL das berechnete Postulat ausgeglichener N-Schlagbilanzen in der Fruchtfolge, muss der von den Leguminosen fixierte Stickstoff bilanziell auf die gesamte Fruchtfolge aufgeteilt werden. Im optimalen Falle einer sechs-feldrigen Fruchtfolge mit 33 % Futter- und Körnerleguminosen würden bei vollständiger innerbetrieblicher Nutzung ohne Einberechnung von unvermeidbaren Verlusten mit o. g. Schätzdaten durch die beiden Leguminosen (115 und 227 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) etwa 340 kg N für die vier verbleibenden Markfrüchte, also 85 kg je ha und Kultur theoretisch zur Verfügung stehen. Geht man bei Getreide grob von einem Bedarf von 20 kg N je t Ertrag aus, wird das mittlere Ertragspotential unter optimistischen Annahmen auf gut 4 t ha<sup>-1</sup> limitiert und liegt deutlich unter konventionellen Referenzerträgen mit erheblich höherem N-Input.

Der weltweite Stickstoff-Input in die landwirtschaftlich genutzten Böden (Acker- und Grünland) betrug nach Schätzungen von Bouwman *et al.* (2009) im Jahr 2000 insgesamt ~ 249 Tg (10<sup>6</sup> t). Ein Drittel dieser Zufuhr stammt aus mineralischer N-Düngung (83 Tg), während die BNF etwa 30 Tg ausmachte. Setzte man das Ziel, die mineralische N-Zufuhr (83 Tg) durch den Anbau von Futterleguminosen zu ersetzen, wäre dafür ohne Berücksichtigung von unvermeidbaren N-Verlusten bei der Stallmistgewinnung bei einer geschätzten N<sub>2</sub>-Fixierleistung von 165 kg N ha<sup>-1</sup> eine Fläche von etwa 500 Millionen Hektar notwendig. Bezogen auf die weltweit etwa 1,5\*10<sup>9</sup> ha Ackerfläche – es ist davon auszugehen dass der maßgebliche Anteil der mineralischen N-Düngung auf hochwertigen Ackerflächen ausgebracht wird – müsste etwa ein Drittel der Fläche mit Futterleguminosen belegt werden. Weitere Herausforderungen sind agronomische Implikationen wie Leguminosenmüdigkeit, geringe Fixierleistungen auf P-armen Böden sowie mangelnde Verwendungsmöglichkeiten von Futterleguminosen in viehlosen Betrieben. Die Umstellung auf Gemischtbetriebe stellt aus rein agronomischer Sicht unter solchen Bedingungen eine interessante Option dar, sofern die Flächenausstattung dies zulässt.

Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten können unabhängig vom Produktionssystem erhebliche Ertrags- und Qualitätseinbußen verursachen. Für den Zeitraum 2001 - 2003 wurden die tatsächlichen Verluste durch biotische Faktoren in 19 Weltregionen bei Nutzung des jeweils gängigen Standards für Pflanzenschutz, i. e. inklusive Pestizidanwendungen, für Weizen auf 28,2 %, für Mais auf 31,2 %, für Reis auf 37,4 % und für Kartoffeln auf 40,3 % geschätzt (Oerke 2006). Die potentiellen Verluste, die bei Verzicht von jeglicher Form des Pflanzenschutzes (physikalisch,

biologisch, chemisch) entstehen würden, wurden im Mittel der vier untersuchten Kulturarten auf 67 % geschätzt, vorwiegend als Folge erhöhter Unkrautkonkurrenz (Oerke 2006). Dem ÖL steht ein vglw. umfassendes Spektrum an Methoden zur Unkrautregulierung mit einem häufig hinreichenden Wirkungsgrad zur Verfügung (Bond & Grundy 2001). Demgegenüber können Schädlinge oder witterungsbedingt epidemisch auftretende Krankheiten, z. B. *Phytophthora infestans* an Kartoffeln, zu erheblichen Ertragseinbußen führen. Als Folge reduzierter direkter Eingriffsmöglichkeiten gegenüber Schaderregern ist neben der absoluten Ertragshöhe auch die Ertragsicherheit im ÖL geringer.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Angesichts der erheblichen Probleme, die von der Intensivlandwirtschaft verursacht werden, ist eine weltweite Ökologisierung der Nahrungsmittelproduktion dringend erforderlich. Wichtige Prinzipien des ÖL, insbesondere die Förderung der Bodenfruchtbarkeit durch BNF und organische Düngung sowie diversifizierte Produktionsstrukturen stellen ein auch in konventionellen Systemen ungenutztes Potential dar, mit dem positive ökologische Effekte erzielt werden können. Die obligate Beschränkung der Nutzung von ertragssteigernden und -sichernden Betriebsmitteln, insbesondere der vollständige Verzicht auf mineralischen N, erscheint angesichts der Verfügbarkeit und Qualität von Acker- und Grünland global nicht durchführbar. Regionen mit ausreichender Flächenausstattung je Einwohner besitzen das größte Potential zur Ausweitung des ÖL, insbesondere Gemischtbetriebe. Ein realistisches Ziel für den ÖL besteht in einer flächendeckenden ökologischen Produktion von Gemüse- und Plantagenkulturen, in denen eine geringere Produktivität problemlos durch Flächenausweitung kompensiert werden könnte, ohne die Kalorien- und Eiweißproduktion zu gefährden.

## Literatur

- Bouwman, AF., Beusen, AHW. & Billen, G. (2009): Human alteration of the global nitrogen and phosphorous soil balances for the period 1970-2050. *Global Biogeochemical Cycles*, 23, DOI: 10.1029/2009GB003576.
- Bond W., Grundy A. (2001): Non-chemical weed management in OF systems. *Weed Res* 41, 383-405.
- Connor DJ. (2013): Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. *Field Crops Research*, 144, 20 March 2013, 145-147.
- Herridge, DF., Peoples, MB. & Boddey, RM. (2008): Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant and soil*, 311, 11-18.
- Nemecek T., Dubois D., Huguenin-Elie O., Gaillard G. (2011): Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agr Syst* 104: 217-232.
- Oerke, E., (2006): Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31-43.
- Poniso, LC., M'Gonigle LK., Mace, KC, Palomino, J., Valpine, Pd., Kremen, C. (2015): Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proc. R. Soc. B*, 282:20141396. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>.
- Ponti T.de, Rijk B., van Ittersum M. (2012): The crop yield gap between organic and conventional agriculture. *Agricultural systems* 108, 1-9.
- Seufert V., Ramankutty N., Foley J. (2012): Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 458, 229-232.
- Tilman D., Cassman KG., Matson PA., Naylor R & Polasky S (2002): Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* Vol 418, 671-677.
- Titonell P., Giller, KE. (2013): When yield gaps are poverty traps: the paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *FCR* 143:76-90.
- WFP (2014) Hunger. World food programm, <http://www.wfp.org/hunger>, Abruf 17.09.2014).