

# Ertragsstabilität im Ökolandbau: Wo steht die Forschung?

Döring, T.F.<sup>1</sup>, Piepho H.P.<sup>2</sup>

*Keywords: Ackerbau, Pflanzenzüchtung, Resilienz, Stabilität.*

## Abstract

*Despite the importance of yield stability in organic agriculture, little quantitative information is currently available on the factors limiting stability or on optimal approaches for improving it. Research so far indicates that organic systems are not always more stable than conventional systems; which system is more stable is likely to depend on the spatial and temporal scale of stability and on the measure of stability used. We show that opportunities for quantifying yield stability in organic farming lie in the targeted coordination of existing data networks within the organic community in order to increase yield stability on farms and beyond.*

## Einleitung

Wichtige Kennzeichen des Ökologischen Landbaus sind im IFOAM-Prinzip der Ökologie umschrieben. In der pflanzlichen Erzeugung spiegelt dieses Prinzip sich unter anderem in zwei zentralen Aspekten wider, nämlich einerseits in der indirekten Regulation von Schaderregern durch biotische Ökosystemprozesse, und andererseits in einem indirekten Ansatz der Pflanzenernährung über biologische Umsetzungsprozesse im Boden. Diese Prozesse sind starken Dynamiken unterworfen und im Detail generell schwer vorhersagbar. Bei gelungener Systemgestaltung können sie jedoch zu einer Verringerung der Fluktuationen pflanzlicher Produktionsleistung führen. Auf der anderen Seite sind jedoch im ökologischen Landbau direkte Möglichkeiten, drohende Ertragsverluste zu korrigieren, oft begrenzt. Daher ist es gerade im Ökolandbau wichtig, die Einflussfaktoren zu kennen, welche die Stabilität pflanzlicher Erträge bestimmen. Allerdings sind Kenntnisse zu diesen Faktoren im Ökolandbau bislang nur sehr begrenzt vorhanden. Der vorliegende Beitrag gibt daher eine Übersicht über den Stand der Forschung zur Ertragsstabilität im Ökolandbau und zeigt auf, in welchen Bereichen die wichtigsten Aufgaben und Chancen zur Weiterentwicklung bestehen.

## Arten, Skalen und Bezugsgrößen der Ertragsstabilität

Ertragsstabilität kann sich auf verschiedene Skalen beziehen, zeitlich gesehen von wenigen Jahren bis hin zu Jahrzehnten und räumlich gesehen von der Parzellenebene, über Betriebs-, Regional- und Landesebene bis hin zur globalen Betrachtung. Eine weitere Frage ist, auf welche Größen sich das statistische Maß bezieht. Abgesehen von Kornertrag können auch weitere Ertragsgrößen hinsichtlich ihrer Stabilität quantifiziert werden, so z.B. Proteinertag oder Strohertrag.

Bei der Quantifizierung von Ertragsstabilität werden verschiedene statistische Ansätze verfolgt. Unter den am häufigsten verwendeten Stabilitätsmaßen können sehr

---

<sup>1</sup> Humboldt Universität zu Berlin, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau, Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin, E-Mail: [thomas.doering@agrار.hu-berlin.de](mailto:thomas.doering@agrار.hu-berlin.de)

<sup>2</sup> Universität Hohenheim, Fachgebiet Biostatistik, Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart

vereinfacht zwei grundsätzlich verschiedene Typen unterschieden werden, nämlich varianzbasierte und regressionsbasierte Stabilität (Becker 1981, Annicchiarico 2002). Als Beispiel für eine kurze Erläuterung dient hier der Fall von  $n$  Sorten die in  $k$  Umwelten geprüft werden. Grundlage der varianzbasierten Stabilität sind dann Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert einer Sorte über alle Umwelten; hohe Abweichungen bedeuten dann niedrige Stabilität. Bei der regressionsbasierten Stabilität wird die lineare Regression der Erträge jeder einzelnen Sorte gegen die über alle Sorten gemittelten Erträge der verschiedenen Umwelten berechnet. Hat eine Sorte eine Steigung der Regressionsgerade von  $b=1$ , so erzielt diese Sorte also in jeder Umwelt genau den für diese Umwelt über alle Sorten gemittelten Ertrag, plus oder minus einen für die Sorte spezifischen, aber konstanten Wert. Es gibt also bei  $b=1$  keine Sorte-Umwelt-Wechselwirkung; dies wird in diesem Konzept als maximale Stabilität interpretiert. Andererseits kann es gerade im Ökologischen Landbau von Vorteil sein, wenn Prüfglieder einen Regressionskoeffizienten von  $b<1$  aufweisen, da solche Prüfglieder (relative zu Prüfgliedern mit  $b>1$ ) höhere Erträge in gestressten Umwelten zeigen, d.h. in solchen Umwelten mit niedrigen mittleren Erträgen.

Innerhalb der letzten Jahrzehnte ist eine Vielzahl von Stabilitätsparametern entwickelt worden. Darunter sind relativ einfache Parameter wie die Anzahl der Umwelten, in denen ein Prüfglied einen festen oder relativen Wert unterschreitet. Komplexere Methoden zur Berechnung der Ertragsstabilität bestimmen u.a. die Wechselwirkung zwischen Prüfglied und Umwelt mittels multivariater Verfahren (AMMI, z.B. Torricelli *et al.* 2014) oder in gemischten linearen Modellen (Piepho 1998). In einer vergleichenden Studie zur Stabilität von Linsensorten verwendeten zum Beispiel Dehghani *et al.* (2008) allein 19 univariate Stabilitätsparameter; diese lieferten allerdings für die Bewertung der Linsensorten unterschiedliche Ergebnisse. Solche Vielfalt an konzeptionellen und statistischen Ansätzen zur Bestimmung der Ertragsstabilität, sowie die Komplexität mancher Verfahren, schaffen Hürden für das regelmäßige Einbeziehen von Stabilitätsberechnungen in Forschungsprojekte. Ein weiteres wesentliches Problem, das der Quantifizierung von Ertragsstabilität oft im Wege steht, sind die hohen Anforderungen an den Datensatz. Um die Stabilität von Prüfgliedern zu bestimmen, müssen diese in vergleichsweise vielen Umwelten geprüft werden; darüber hinaus sind viele Stabilitätsparameter (v.a. die regressionsbasierten) nicht robust, wenn nur eine geringe Anzahl an Prüfgliedern verglichen wird.

## **Bedeutung der Ertragsstabilität**

Die Gründe für die Bedeutung von Ertragsstabilität hängen von der Skalenebene, dem Stabilitätskonzept, sowie vom Bezugsmerkmal ab. Im Vordergrund steht häufig die zeitliche Stabilität auf Betriebsebene. Diese ist insbesondere von Bedeutung für die Planbarkeit und Verlässlichkeit der wirtschaftlichen Leistung des Betriebs. Auf größerer räumlicher Skalenebene liegt die Motivation Strategien für hohe Ertragsstabilität zu entwickeln unter anderem in Fragen der Preisstabilität und vor allem der Nahrungsmittelsicherheit. Aus züchterischer Sicht spielt darüber hinaus auch die räumliche Stabilität im Sinne geringer Sorte x Umwelt Interaktion eine große Rolle, da die so gemessene Stabilität die Verbreitung einer Sorte über große geographische Räume erlaubt.

## **Ertragsstabilität im Ökologischen und konventionellen Anbau**

Vergleichende Untersuchungen zur Ertragsstabilität in ökologischen und konventionellen Systemen sind bislang rar; wie Tabelle 1 zeigt gibt es sowohl

Beispiele, in denen die Stabilität im konventionellen System größer als im ökologischen ist, als auch den umgekehrten Fall. Ursachen für solche Unterschiede sind jedoch bislang nicht untersucht werden.

**Tabelle 1: Beispiele für Vergleiche von ökologischen und konventionellen Anbausystemen hinsichtlich Ertragsstabilität**

Art und Skala der Stabilität	System mit höherer Stabilität	Referenz
Zeitlich, Ertrag unter klimatischen Extrembedingungen	Ökologisch	Lotter <i>et al.</i> 2003
Zeitliche Ertragsvariabilität	Ökologisch	Smolik <i>et al.</i> 1995
Zeitliche Ertragsvariabilität	Ökologisch	Jaradat & Weyers 2011
Zeitliche Ertragsvariabilität	Konventionell	Smith <i>et al.</i> 2007
Räumlich, innerh. d. Versuchsfeldes	Konventionell	Döring 2014

### **Einflussfaktoren auf die Ertragsstabilität**

In der Vergangenheit hat sich die Forschung zur Ertragsstabilität traditionell auf Sortenfragen konzentriert; dies liegt vermutlich weniger daran, dass pflanzliche Genotypen den bestimmenden Faktor für die Ertragsstabilität bilden; im Gegenteil: Pflanzenzüchter haben betont, dass die Vererbbarkeit von Eigenschaften, welche die Ertragsstabilität erhöhen, relativ gering ist. Vielmehr ist die Konzentration auf den Faktor Genetik vermutlich eher auf strukturelle Effekte zurückzuführen: Bei der Sortenprüfung fallen regelmäßig Daten zu etlichen Sorten an, die gemeinsam an mehreren Standorten über mehrere Jahre geprüft werden, und solche Datensätze sind besonders geeignet für Stabilitätsanalysen. Ein weiterer Faktor, der die Stabilität beeinflusst, ist die Erhöhung der pflanzlichen Diversität durch Sortenmischungen, Populationen oder Artenmischungen (Aufhammer 1999). Generell zeigt sich hier bei höherer Diversität im Vergleich zu Monokulturen bzw. genetisch homogenen Sorten eine Erhöhung der Ertragsstabilität. Grundlage für diese Wirkung sind verschiedene Mechanismen, u.a. Kompensation und Komplementarität der Elemente in der Mischung, aber auch Reduktion von Krankheiten und Schädlingen. Allerdings ist gegenwärtig unklar, auf welcher Ebene die genetische Diversität den höchsten Effekt auf die Ertragsstabilität hat. Neben pflanzengenetischen Faktoren spielen auch ackerbauliche Maßnahmen eine Rolle für die Ertragsstabilität. So zeigte eine organische Düngung und Gründüngung bei Kartoffeln höhere Ertragsstabilität als ein Vergleichssystem mit mineralischem Dünger (Mallory & Porter 2007). Für den Faktor Fruchtfolge zeigten Grover *et al.* (2009), dass die Ertragsvariabilität bei einer Maismonokultur höher war als bei Fruchtwechsel mit Luzerne. Darüber hinaus wird die Ertragsstabilität beeinflusst von der Auswahl der Kulturpflanzenarten, der Beregnung, und der Bodenbearbeitung, sowie von Standortfaktoren wie dem Humusgehalt (Döring 2014). Innerhalb ökologischer Systeme sind jedoch Anbauvarianten bisher kaum hinsichtlich Ertragsstabilität charakterisiert worden.

### **Probleme und Lösungsansätze**

Eine wesentliche Schwierigkeit für die Stabilitätsforschung besteht darin, dass die Anforderungen an die Datensätze selten durch zeitlich eng begrenzte Forschungsprojekte erfüllt werden können. Innerhalb der typischen Projektdauer von drei Jahren ist zeitliche Stabilität nicht verlässlich zu bestimmen; eine Erhöhung der Anzahl von Versuchsstandorten kann dieses Manko nur teilweise ausgleichen und

verschiebt in jedem Fall die Fragestellung. Langfristige und verlässliche Forschungsförderung ist daher essentiell, um neue Erkenntnisse zu diesem wichtigen Fragenkomplex zu erzielen. Möglichkeiten zur Intensivierung der Stabilitätsforschung bestehen daneben in drei Bereichen: (1) Die systematische Auswertung ökologischer Sortenversuche; (2) die Auswertung zeitlicher Ertragsstabilität in ökologisch geführten Dauerversuchen; und (3) die Vernetzung von praktischer Landwirtschaft, Forschung und Beratung, um gemeinsame Datenbasen für Stabilitätsanalysen zu schaffen; diese können dann auch über Sortenfragen hinausgehen.

## Schlussfolgerungen

Trotz der immensen Bedeutung von Ertragsstabilität sowohl für die Wirtschaftlichkeit von landwirtschaftlichen Betrieben als auch für die Nahrungsmittelsicherheit gibt es bisher nur wenig gezielte Forschung, die über Fragen der Sortenwahl hinausweist. Ackerbauliche und systemgestaltende Ansätze zur Steigerung von Ertragsstabilität sind somit bislang größtenteils vernachlässigt worden. Die Ursachen hierfür sind unter anderem in strukturellen Problemen wie kurzen Projektförderzeiten und einer starken Spezialisierung innerhalb der Wissenschaft zu sehen. Anstrengungen sollten daher unternommen werden, um diese Hemmnisse zu beseitigen. Gleichzeitig bestehen aber durch digitale Vernetzung verstärkt Möglichkeiten, Praxis, Beratung und bestehende Forschungsstrukturen im Ökolandbau so zu koordinieren, dass neue Erkenntnisse zur Ertragsstabilität gewonnen werden können. Diese Gelegenheiten sollten ergriffen werden, erfordern aber geeignete Investitionen.

## Literatur

- Annicchiarico, P. (2002): Genotype x environment interactions: challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. Vol. 174. Food & Agriculture Organization, Rome.
- Aufhammer, W. (1999): Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten - Ein Beitrag zur Nutzung von Biodiversität im Pflanzenbau. Ulmer, Stuttgart.
- Döring T. F. (2014): Yield variability in organic vs. conventional cropping systems as modified by soil conditions. European Society of Agronomy XIII<sup>th</sup> Congress, Debrecen, Hungary, 25-29 August 2014, pp. 317-318. DOI: 10.13140/2.1.1987.5205
- Becker, H. (1981): Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica* 30, 835-840.
- Dehghani, H., Sabaghpour, S.H., Sabaghnia, N., (2008): Genotype x environment interaction for grain yield of some lentil genotypes and relationship among univariate stability statistics. *Span J Agr Res* 6, 385-394.
- Grover, K.K., Karsten, H.D., Roth, G.W., (2009): Corn grain yields and yield stability in four long-term cropping systems. *Agron. J.* 101, 940-946.
- Jaradat A. A., Weyers S, L (2011): Statistical modeling of yield and variance instability in conventional and organic cropping systems. *Agron J*, 103 673-684
- Lotter, D., Seidel, R., Liebhardt, W., (2003): The performance of organic and conventional cropping systems in an extreme climate year. *Am J Altern Agric* 18, 146-154.
- Mallory, E.B., Porter, G.A., (2007): Potato Yield Stability under Contrasting Soil Management Strategies Maine Agric. & Forest Exp. Stn. Publ. 2907. *Agron J* 99, 501-510.
- Piepho, H.P. (1998): Methods for comparing the yield stability of cropping systems - A review. *J Agron Crop Sci* 180, 193-213.
- Smolik, J.D., Dobbs, T.L., Rickerl, D.H., (1995): The relative sustainability of alternative, conventional, and reduced-till farming systems. *Am J Altern Agric* 10, 25-35.
- Torricelli R., Ciancaleoni S., Negri V. (2014): Performance and stability of homogeneous and heterogeneous broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) varieties in organic and low-input conditions. *Euphytica* (im Druck) DOI 10.1007/s10681-014-1139-8, S. 1-11.