

## 1. Kurzfassung

Stickstoff gehört im ökologischen Landbau zu den am stärksten ertragsbegrenzenden Faktoren. Gerade deshalb ist diesem Nährstoff besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Die Stickstoffversorgung der Kulturpflanzen in Ackerbausystemen wird in erster Linie durch den Anbau von Leguminosen, insbesondere von Futterleguminosen, getragen. Daher erfolgt mit Umstellung auf ökologischen Landbau eine grundlegende Änderung des Ackerflächenverhältnisses zugunsten des Leguminosenanbaus, auf Kosten solcher Kulturen wie Mais, Raps, Getreide u. Ä. Gemischtbetriebe mit Rinderhaltung sind am ehesten in der Lage, diese Veränderungen zu vollziehen. Sie entsprechen dem klassischen Leitbild des ökologischen Landbaus, das neben der Rinderhaltung vom Futterleguminosenanbau und Wirtschaftsdüngereinsatz geprägt ist. In spezialisierten Ökobetrieben ohne ausreichende innerbetriebliche Verwertungsmöglichkeiten für die Aufwüchse der Futterleguminosen (Marktfruchtbetrieb und Veredelungsbetriebe vorrangig mit Schweine- oder Geflügelhaltung) sind Probleme zu erwarten, da der Futterleguminosenanbau zugunsten nichtlegumer Marktfrüchte und von Körnerleguminosen Einschränkungen erfährt. Defizite in der Stickstoffversorgung sind wahrscheinlich. Auch für diese Betriebstypen sind Lösungen erforderlich, um deren Produktivität, Nachhaltigkeit und Wirtschaftlichkeit sicherzustellen.

Der Beitrag zielt insbesondere darauf ab, die Bedeutung der Leguminosen als maßgebliche Quelle der Stickstoffversorgung in ökologischen Ackerbausystemen herauszuarbeiten. Ein weiteres Ziel besteht darin, wesentliche Voraussetzungen für einen erfolgreichen Anbau von Luzerne, Klee oder Leguminosen-Gras-Gemenge zu beleuchten. Dazu zählen insbesondere deren ausreichende Versorgung mit Mineralstoffen, vor allem mit Schwefel, und die Frage der maximal möglichen Anbaukonzentration dieser Fruchtarten vor dem Hintergrund ihrer Selbstunverträglichkeit. Die Basis der Untersuchungen bilden feldexperimentelle Ergebnisse auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof sowie umfangreiche Praxiserhebungen. Folgende Erkenntnisse und Resultate können besonders herausgestellt werden:

1. Zur Analyse und Bewertung des Stickstoffhaushaltes ökologischer Ackerbausysteme muss der gesamte Stoffkreislauf auf Betriebsebene berücksichtigt werden. Die Betriebsgrenze gilt als Systemgrenze. Stickstofffeldbilanzen sowie Hoftorbilanzen für Stickstoff, jeweils unter Berücksichtigung der Mengenänderung an Gesamtstickstoff im Boden, bilden wesentliche methodische Grundlagen zur Erzielung wirklichkeitsnaher Resultate.
2. Die Ergebnisse des Ökologischen Ackerbauversuches Gladbacherhof erlauben belastbare Aussagen zum Stickstoffhaushalt von Anbausystemen. Die Langzeitwirkung unterschiedlicher Betriebstypen, Gemischtbetrieb mit Rinderhaltung und Marktfruchtbetrieb (keine Nutztiere) werden einander gegenübergestellt. Die Bewertung erfolgt jeweils auf Fruchtfolgeebene nach zwölf Versuchsjahren. Die größte Menge an Luftstickstoff wurde von Leguminosen-Gras-Gemenge im 1. Hauptnutzungsjahr in Höhe von 414 kg/ha fixiert, gefolgt von Leguminosen-Gras-Gemenge als begrünete Rotationsbrache in Höhe von 256 kg/ha. Körnerleguminosen konnten zwischen 144 und 195 kg/ha Stickstoff aus der Luft

binden. Legume Zwischenfrüchte erreichten Werte zwischen 116 und 142 kg/ha (Tab. 3.2).

3. Die Stickstofffeldbilanzen für die 2. Fruchtfolgerotation der drei geprüften sechsfeldrigen Fruchtfolgen belegen die höchste Ertragsleistung des Systems Gemischtbetrieb mit Rinderhaltung bei Aufrechterhaltung der Humus- und Gesamtstickstoffvorräte in der Ackerkrume. Überdies lagen die geringsten jährlichen Stickstoffverluste (41 kg/ha) bzw. die beste Gesamtverwertung des verfügbaren Stickstoffs im System Boden-Pflanze (83 %) vor. Diese Leistung wurde im Vergleich dazu von den beiden Marktfruchtssystemen bei weitem nicht erreicht, trotz ersatzloser Inanspruchnahme von Humusstickstoff für die Ertragsbildung (Tab. 3.4 und Abb. 3.2). Die Nichtberücksichtigung der Stickstoffmengenänderung im Boden hätte die Ergebnisse der Stickstofffeldbilanzen erheblich verzerrt (Tab. 3.5).
4. Die Hoftorbilanzen stützen ausdrücklich die vielfach getroffene Beobachtung, dass die Luftstickstoffbindung durch Leguminosenanbau die maßgebliche Quelle der Stickstoffversorgung ökologischer Ackerbausysteme ist. Im System Gemischtbetrieb mit Rinderhaltung wurden 87 % der Stickstoffzufuhr von den Leguminosen getragen (133 kg/ha im Mittel der Fruchtfolge). Eine ersatzlose Inanspruchnahme von Humusstickstoff wie in den beiden getesteten Marktfruchtbetriebssystemen lag nicht vor. Trotz aller acker- und pflanzenbaulichen Möglichkeiten zum Anbau von Leguminosen als Haupt- und Zwischenfrüchte wurden in den beiden Marktfruchtssystemen im Mittel der Fruchtfolge nur 93 kg/ha Luftstickstoff (mit Rotationsbrache) und 85 kg/ha Luftstickstoff (ohne Rotationsbrache) gebunden (Tab. 3.2, Tab. 3.6).
5. Die Hoftorbilanzen verdeutlichen, dass die Stickstoffmengen in Wirtschaftsdüngern keine Quelle der Stickstoffversorgung darstellen, sondern als kreislaufinterne (betriebsinterne) Nährstoffressourcen gelten. Der in ihnen enthaltene Stickstoff entstammt dem Leguminosenanbau vorhergehender Produktionszyklen. Ausnahmen bilden Stickstoffmengen, die über Futterzukauf oder von Grünland in die Futterration gelangen (Diese Bilanzpositionen wurden im Feldexperiment nicht berücksichtigt, spielen jedoch in der Ökopraaxis nicht selten eine erhebliche Rolle.). Die Hoftorbilanzen geben überdies zu erkennen, dass Humus im Fließgleichgewicht von Mineralisation und Humifizierung lediglich eine Speicher- und Transformationsfunktion für Stickstoff erfüllt und keine Stickstoffquelle darstellt (Kap. 3.1.3 und 3.1.4).
6. Da der Anbau von Futterleguminosen von zentraler Bedeutung für das Gelingen des ökologischen Landbaus ist, müssen alle maßgeblichen Voraussetzungen für deren optimales Wachstum erfüllt sein. Dazu gehört auch deren ausreichende Versorgung mit Mineralstoffen. Untersuchungen auf dem Gladbacherhof sowie deutschlandweit in Ökobetrieben führten zu der Erkenntnis, dass der Ertrag von Futterleguminosen nicht selten durch Schwefelmangel beeinträchtigt wird. Das führt zu erheblichen Einschränkungen im Leistungsvermögen der Futterleguminosen zur Luftstickstoffbindung mit Negativfolgen für alle Früchte in der Fruchtfolge. Auf mehr als 70 % der getesteten Betriebsflächen lag der

Gehalt des Bodens an Sulfatschwefel ( $S_{\min}$ ) in 0 – 60 cm Tiefe bei oder unter 30 kg/ha, was auf eine Schwefelunterversorgung hindeutet (Abb. 3.5).

7. Bereits eine Düngung mit 40 kg/ha Schwefel in Form von Kieserit ( $MgSO_4$ ) bewirkte jeweils im 2. Hauptnutzungsjahr von Futterleguminosen Steigerungen des Stickstoffflächenertrages: im Jahr 2010 um 125 %, von 147 auf 331 kg/ha, im Jahr 2011 um 159 %, von 159 auf 412 kg/ha! Die Schwefelkonzentration sowie das Stickstoff-Schwefel-Verhältnis in der geernteten Trockenmasse verbesserten sich gegenüber der ungedüngten Kontrolle und erreichten optimale Werte (Abb. 3.8 und 3.9, Tab. 3.18).
8. Die Erträge der Nachfrucht Winterweizen wurden durch einen verbesserten Vorfruchtwert der mit Schwefel gedüngten Futterleguminosen positiv beeinflusst. Im Jahr 2011 wurden Ertragssteigerungen um 53 %, von 34,7 auf 53,1 dt/ha, beobachtet. Im Jahr 2012 lagen die Mehrerträge, bedingt durch Auswinterungsschäden, lediglich bei 20 % (Tab. 3.19).
9. Als zweite wichtige Bedingung für einen erfolgreichen Leguminosenanbau wird auf die zwingend notwendige Einhaltung von Anbaupausen eingegangen. Es wird aufgezeigt, dass phytosanitäre Gründe die maximale Anbaukonzentration der Leguminosen in der Fruchtfolge bzw. Feldflur erheblich einschränken und Körnerleguminosen stärker als Futterleguminosen betroffen sind (Kap. 4.1).
10. Mit Blick auf (1) das unterschiedliche Leistungsvermögen von Futter- und Körnerleguminosen bezüglich Luftstickstoffbindung und Humusversorgung (Kap. 3.1.5) und (2) die erhebliche phytosanitäre Limitierung des Körnerleguminosenanbaus wird die Schlussfolgerung hergeleitet und begründet, dass Körnerleguminosen allein nicht in der Lage sind, ausreichend Stickstoff für ein Ackerbausystem bereitzustellen. Auch eine verstärkte Einordnung legumer Zwischenfrüchte in die Fruchtfolge löst diesen Engpass nicht. Die These lautet daher:

**„Futterleguminosen in Hauptfruchtstellung gehören in jede Fruchtfolge!“**

Klassisches Erfahrungswissen zur Notwendigkeit des Futterleguminosenanbaus in jeder Fruchtfolge wird damit unter Bezug auf neueste wissenschaftliche Erkenntnisse ausdrücklich bestätigt (Kap. 4.2).

11. Dargestellt werden Empfehlungen zum notwendigen bzw. möglichen Anbauumfang von Futter- und Körnerleguminosen in unterschiedlichen Betriebstypen. In Ergänzung dazu werden Möglichkeiten zur Verwertung der Aufwüchse der Futterleguminosen speziell für Betriebe ohne Rinderhaltung aufgezeigt. Außerdem wird diesen Betrieben der Zukauf von Stickstoff gemäß der vom Gesetzgeber und den Verbänden vorgegebenen Möglichkeiten angeraten (Kap. 4.2 und 4.3).