

Feld & Stal

Stickstoffkreisläufe und Stickstoffbilanzen

Untersuchungen in einem Netzwerk der Pilotbetriebe

Prof Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen,
Dipl. Ing. agr. Harald Schmid
Lehrstuhl für Ökologischen
Landbau und Pflanzen-
bausysteme, Technische
Universität München,
Liesel-Beckmann-Straße 2,
85350 Freising

Ein wesentlicher Aspekt nachhaltiger Wirtschaftsweisen ist eine ausgeglichene Stickstoffbilanz – der Bedarf der Kulturpflanzen an Stickstoff (N) und das Stickstoffangebot sollen in einem ausgewogenen Verhältnis stehen. Derzeit werden jedoch in der Bundesrepublik Deutschland mit Düngemitteln jährlich im Durchschnitt 100 kg N/ha mehr zugeführt als mit den Ernten entzogen werden. Diese Stickstoffüberschüsse verursachen Nitratbelastungen des Grundwassers, Ammoniak- und Lachgasemissionen. Besonders kritisch ist die Situation in Gebieten mit konventionell-intensiver Tierhaltung und hohem Tierbesatz, im Feldgemüsebau und bei Kulturarten mit hohem Mineralstickstoffeinsatz wie Winterraps und Winterweizen.

Tabelle 1: Flächenbezogene Stickstoffbilanz (kg N je Hektar und Jahr) der Pilotbetriebe nach Art der Bewirtschaftung und Betriebstyp

Kennzahl	Ökologische Betriebe		Konventionelle Betriebe	
	Marktfrucht n = 12	Milchvieh n = 16	Marktfrucht n = 12	Milchvieh n = 16
Kennzeichnung der Betriebssysteme				
Tierbesatz (GV/ha)	0	0,9	0	1,6
Kleegras (% AF)	19	38	1	9
Körnerleguminosen (% AF)	9	3	0	1
Stickstoffbilanz				
N-Entzug	115	170	190	217
N-Zufuhr	134	172	250	270
Symbiotische N ₂ -Fixierung	42	49	3	23
Stalldung, Gülle	30	93	25	138
Stroh- und Gründüngung	38	9	40	10
Mineraldünger	0	0	160	77
N-Saldo	19	2	60	53
N-Verwertung (%)	86	93	76	80

Problemstellung und Forschungsbedarf

In der ökologischen Landwirtschaft hingegen ist Stickstoff oft ein ertragsbegrenzender Faktor. Die wichtigsten N-Zufuhren sind die N₂-Fixierung der Leguminosen und der Einsatz von Wirtschaftsdüngern. Beide Faktoren stehen in engem Zusammenhang zur Betriebsstruktur – der Fruchtfolge, vor allem dem Leguminosenanteil, dem Tierbesatz und der Tierartenstruktur. Die strukturellen Veränderungen der letzten Jahre haben die N-Kreisläufe der Betriebe stark beeinflusst. Es stellt sich die Frage, ob Öko-Marktfruchtbetriebe eine ausreichende N-Versorgung für hohe und stabile Erträge dauerhaft gewährleisten können oder eine negative Stickstoffbilanz und die Abnahme der Bodenfruchtbarkeit zu befürchten ist. Andererseits führt der Bau von Biogasanlagen zu einer Intensivierung der betrieblichen und überbetrieblichen Stickstoffflüsse, wie es zuvor im Ökolandbau nicht möglich war. Die Biogasgülle enthält hohe Anteile an direkt pflanzenverfügbarem, aber auch verlustgefährdetem Stickstoff. Gegenüber dem ursprünglichen Ziel der indirekten Ernährung der Pflanzen mit organisch gebundenem Stickstoff ist das ein Wechsel der Düngestrategie.

In Bezug auf den Stickstoffkreislauf, die Stickstoffverluste und die Stickstoffeffizienz stehen also zahlreiche Fragen, die wir im Netzwerk der Pilotbetriebe untersucht haben:

- Wie hoch sind die Stickstoffverluste und die Stickstoffeffizienz der ökologischen und konventionellen Betriebe? Gibt es systembedingte Vorteile des Ökolandbaus?
- Welchen Einfluss haben die Betriebsstruktur (Fruchtfolge, Tierbesatz, Biogasanlagen) und die Intensität der Stickstoffdüngung auf die Stickstoffbilanz?
- Gibt es ökologische Betriebe mit negativer N-Bilanz und welche Langzeitwirkungen (Bodenfruchtbarkeit, Ertragspotenzial) sind damit verbunden?
- Welche Schlussfolgerungen zur Weiterentwicklung des Ökolandbaus sind zu ziehen?

Untersuchungsmethode: Datenerfassung und Modellierung

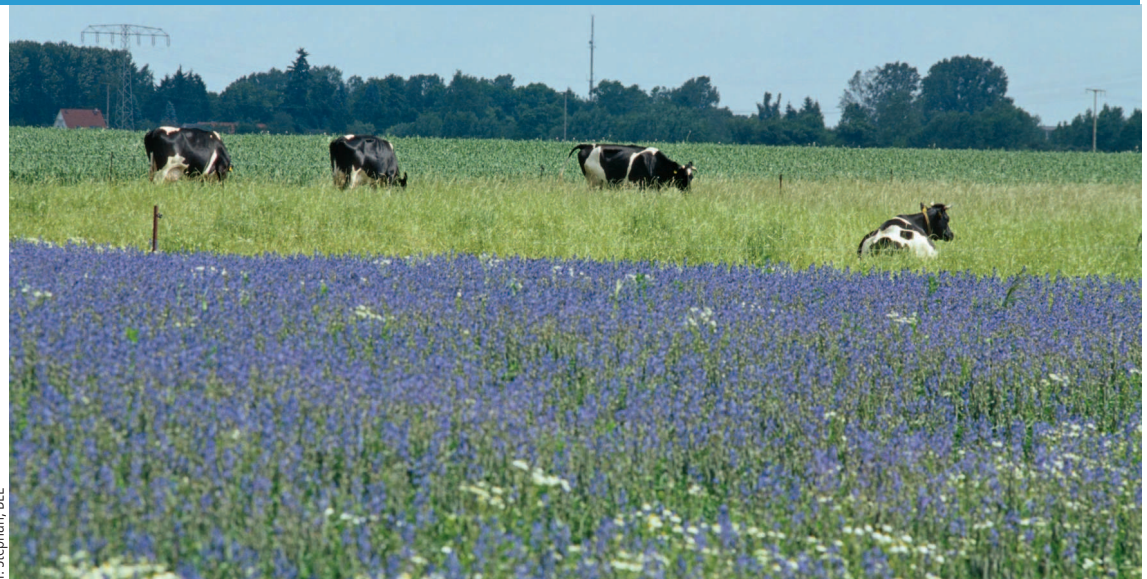
Auf der Grundlage von Bewirtschaftungs- und Standortdaten werden die Stickstoffkreisläufe jedes Pilotbetriebes detailliert untersucht. Das hierbei verwendete Modell REPRO enthält Methoden, um die Stickstoffflüsse auf der Grundlage von Betriebsdaten und Messdaten zu berechnen. So werden bei der Kalkulation der N₂-Fixierleistung von Klee-Luzernegras die Leguminosenarten, die Leguminosenanteile, der Biomassertrag sowie die Ertragsverwendung (Mulch- oder Schnittnutzung) berücksichtigt. Der Stickstoffanfall der Wirtschaftsdünger wird anhand des Tierbesatzes, der Fütterung

(Proteinversorgung), der Tierleistungen, der Aufstellungsart (Festmist- oder Flüssigmistsystem) sowie der Wirtschaftsdüngerlagerung berechnet. Auf diese Weise gelingt im Dialog mit den beteiligten Landwirten eine treffgenaue Beschreibung der Stoffkreisläufe. Eine Besonderheit des Modells besteht darin, die Stickstoffmineralisierung durch Humusabbau und die Stickstoffmobilisierung durch Humusaufbau in der Bilanz zu erfassen. Die N-Bilanzen werden für jeden Schlag, für jede Fruchtfolge, aber auch differenziert nach Ackerland und Grünland sowie fruchtartenbezogen berechnet. Durch die entsprechende Verknüpfung dieser Ergebnisse ergibt sich die betriebliche Stickstoffbilanz, die nachfolgend dargestellt wird.

Ergebnisse: Öko-Landbau und Viehhaltung machen den Unterschied

Die flächenbezogenen N-Bilanzen der Pilotbetriebe (Tab. 1) zeigen deutlich den Einfluss der Bewirtschaftung (ökologisch, konventionell) und des Betriebstyps (Marktfreuchtbau, Milchvieh). Vom Tierbesatz (0 bis 1,6 GV/ha) ist der Stallmist- und Gülleeinsatz, vom Leguminosenanteil (1 bis 38 % Klee gras, 0 bis 9 % Körnerleguminosen) die N_2 -Fixierleistung abhängig.

Die ökologischen Milchviehbetriebe erzielen deutlich höhere Erträge und N-Entzüge (170 kg N/ha) als die ökologischen Marktfreuchtbetriebe (115 kg N/ha). Ein wesentlicher Grund sind die höheren N-Zufuhren, vor allem durch Wirtschaftsdünger. So setzen die ökologischen



T. Stephan, BLE

Milchviehbetriebe im Durchschnitt 93 kg N/ha als Stalldung und Gülle ein, während in den Marktfreuchtbetrieben nur 30 kg N/ha ausgebracht werden. Die deutlich höhere Strohdüngung und Gründüngung (z. B. als Klee gras-Mulch) der Marktfreuchtbetriebe kann diese Unterschiede nicht ausgleichen.

Der N-Saldo als Differenz der N-Zufuhren und der N-Entzüge kennzeichnet die potenziellen N-Verluste. Je höher der N-Saldo, umso höher ist auch die Gefahr, dass reaktive N-Verbindungen (Ammoniak, Lachgas, Nitrat) in die Umwelt emittiert werden. Die ökologischen Milchviehbetriebe weisen eine ausgeglichene N-Bilanz auf; auch die ökologischen Marktfreuchtbetriebe haben nur ein geringes N-Verlustpotenzial (19 kg N/ha). Die höchsten N-Salden (60 kg N/ha) wurden für die konventionellen Marktfreuchtbetriebe ermittelt.

Die N-Verwertung (%) kennzeichnet die N-Effizienz. Die ökologischen Milchviehbetriebe erreichen mit 93 % die höchste N-Verwertung, gefolgt von den ökologischen Marktfreuchtbetrieben (86 %). Die konventionellen Pilotbetriebe schnei-

den hinsichtlich der N-Verluste und der N-Effizienz schlechter ab als die ökologischen Pilotbetriebe.

Die Pilotbetriebe wirtschaften auf sehr unterschiedlichen Intensitätsniveaus; es wird ein großer Bereich von Low-Input-Systemen (< 100 kg N/ha) bis zu High-Input-Systemen (> 300 kg N/ha) erfasst (Abb. 1). Bis zu einem N-Einsatz von ca. 250 kg/ha betragen die N-Salden bis zu ca. 50 kg N/ha; bei noch höheren N-Zufuhren steigen die N-Salden zum Teil deutlich an und erreichen in konventionellen Betrieben Werte bis zu 125 kg/ha.

Die ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe erreichen überwiegend N-Salden zwischen 0 und 50 kg/ha. Für einige Betriebe sind negative N-Salden ausgewiesen (bis -50 kg N/ha); in diesen Betrieben ist langfristig mit der Abnahme der Boden-N-Vorräte und der Ertragsfähigkeit zu rechnen. Betriebe mit sehr hohen N-Überschüssen (> 100 kg N/ha) gefährden die Umwelt durch Stickstoffeinträge.

Abbildung 2 zeigt beispielhaft den Stickstoffkreislauf eines ökologischen Gemischtbetriebes mit Rin-

Bei der Stickstoffeffizienz vorne: Öko-Milchviehbetriebe nutzen Leguminosen und Wiederkäuermist

Literatur

KÜSTERMANN B., CHRISTEN O., HÜLSBERGEN K.J. (2010): Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 70-80. • HÜLSBERGEN K.-J., RAHMANN G. (Hrsg.) (2013): Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 412 Seiten, Thünen Report 8

Feld & Stall

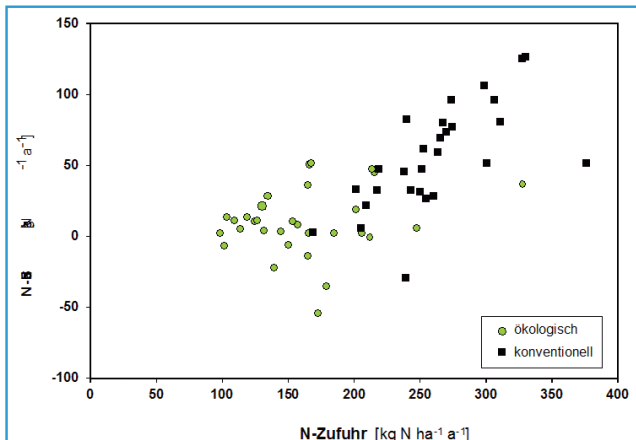


Abb. 1: Beziehung zwischen Stickstoffzufuhr und Stickstoffsaldo der flächenbezogenen Stickstoffbilanz: Ökobetriebe düngen weniger N und haben folglich weniger N-Überschüsse.

derhaltung (1,4 GV/ha) in Süddeutschland. Es handelt sich um die Versuchsstation Scheyern bei Pfaffenhofen, die in das Projekt eingebunden ist. Unter Versuchsbedingungen ist es möglich, nicht nur die einzelnen N-Flüsse zu berechnen, sondern diese Modellergebnisse auch mit Messwerten zu vergleichen. Scheyern hat einen intensiven innerbetrieblichen N-Kreislauf. Die

wichtigste N-Zufuhr in den Betriebskreislauf ist die N_2 -Fixierung (60 kg/ha); in der 7-feldrigen Fruchtfolge steht zweimal Klee-gras, das bei Schnittnutzung bis zu 300 kg N/ha fixiert. Durch den Zukauf ökologisch erzeugter Futtermittel wird der betriebliche Stoffkreislauf verstärkt. Der Betrieb erreicht hohe Erträge und N-Entzüge bei geringen N-Verlusten.

Bewertung: Ökobetriebe arbeiten meist effizient mit Stickstoff

Unsere Untersuchungen zeigen, dass Ökobetriebe sehr stickstoffeffizient wirtschaften. Die Stickstoffsalden liegen im Mittel (unter 20 kg N/ha) im optimalen Bereich; diese Werte kennzeichnen ein sehr geringes Stickstoffverlustpotenzial. Konventionelle Vergleichsbetriebe erreichen zum Teil N-Salden von ≥ 100 kg N/ha, so dass mit höheren N-Verlusten gerechnet werden muss. Einige ökologische Betriebe

weisen sehr geringe bis negative N-Salden auf und sollten unter diesem Aspekt weiter analysiert und ggf. optimiert werden, vor allem auch in Bezug auf eine ausreichende N-Versorgung der Pflanzenbestände. N-Entzüge, die über den N-Zufuhren liegen, führen langfristig zur Verarmung der Böden, zum Rückgang der N-Vorräte und der Ertragspotenziale.

Die ökologischen Gemischtbetriebe (mit Milchviehhaltung) können deutlich mehr Stickstoff einsetzen als die ökologischen Marktfruchtbetriebe und erzielen höhere Trockenmasseerträge sowie Stickstoffentzüge. Einige der am Projekt beteiligten Marktfruchtbetriebe haben inzwischen auf Biogaswirtschaft umgestellt und damit ihre N-Kreisläufe intensiviert. ●

Informationen zum Forschungsprojekt

Das Projekt wurde gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft. Projektlaufzeit: 2009 – 2014

Beteiligte Institutionen:

- Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme
- Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Ökologischen Landbau, Institut für Agrarklimaschutz, Institut für Biodiversität
- Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau
- Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften
- Bioland-Beratung
- 40 ökologische und 40 konventionelle Betriebe in verschiedenen Agrarregionen Deutschlands.

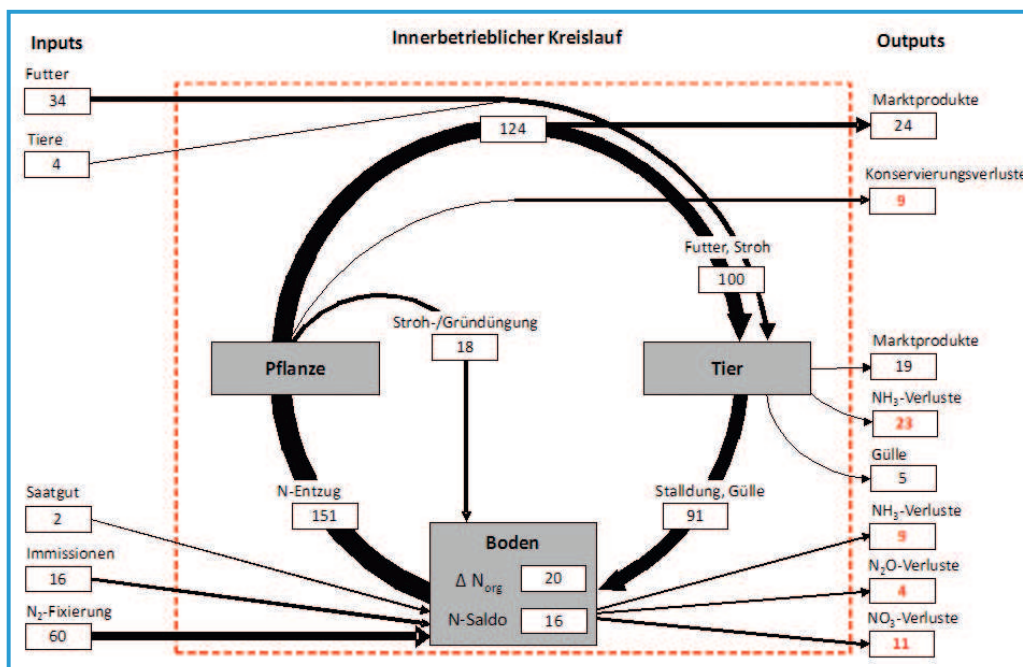


Abb. 2: Stickstoffkreislauf eines ökologischen Gemischtbetriebes mit Rinderhaltung in Süddeutschland (nach Küstermann, Christen & Hülsbergen 2010). Der hier dargestellte N-Kreislauf bezieht sich auf den ökologischen Betriebsteil Scheyern mit Rinderhaltung. Der Betrieb wurde inzwischen zu einem ökologischen Marktfruchtbetrieb umgestaltet, wodurch sich erhebliche Auswirkungen auf die Nährstoffkreisläufe ergeben. Dieses Experiment wird von uns wissenschaftlich begleitet; die Ergebnisse werden in Kürze publiziert.

Klimawirkungen und Nachhaltigkeit der Landwirtschaft

Untersuchungen in einem Netzwerk der Pilotbetriebe

Der ökologische Landbau hat den Anspruch, besonders nachhaltig, umwelt- und klimafreundlich zu wirtschaften. Allerdings findet auch hier teilweise eine Abkehr vom vielseitigen Gemischtbetrieb statt, dem Grundprinzip des ökologischen Landbaus und einer wesentlichen Voraussetzung für nachhaltiges Wirtschaften. Spezialisierung und Betriebsvereinfachung, einseitige Marktfruchtbetriebe, Biogasbetriebe mit intensiven Stoffflüssen – das wirft Fragen nach den Konsequenzen für die Humus- und Nährstoffversorgung der Böden, für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, für die Ertragsbildung und die Produktqualität auf. Wo steht der ökologische Landbau heute hinsichtlich des Umwelt- und Klimaschutzes? Wo kann er sich verbessern? Wie kann die ökologische Nachhaltigkeit eines Betriebes gemessen und bewertet werden?

Untersuchungskonzept: Mit diesen und weiteren Fragen zur Nachhaltigkeit und zu Klimawirkungen der Landwirtschaft beschäftigt sich ein im Jahr 2009 begonnenes Forschungsprojekt. Neben wissenschaftlichen Einrichtungen sind 40 ökologische und 40 konventionelle Landwirtschaftsbetriebe in verschiedenen Agrarregionen Deutschlands beteiligt – sie bilden das Netzwerk der Pilotbetriebe. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist es, transdisziplinäre Forschung zu organisieren: Betriebsleiter und Betriebsberatung können aktiv am Gesamtvorhaben teilnehmen, Betriebsbesuche mit Diskussion, Betriebsleiterinterviews, betriebsbezogene Aufbereitung der Ergebnisse, jährliche Regional-Workshops. Landwirte können so die eigene Produktionsweise und das Betriebssystem vergleichend einschätzen, Strategien und Maßnahmen für die Betriebsentwicklung ableiten.

Betriebsauswahl: Um ein breites Spektrum an Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen zu erfassen, wurden vier Projektregionen gebildet: Region Süd: Tertiärhügelland Bayerns und Allgäu, Region West: Niederrheinische Bucht und Grünland dominierte Mittelgebirgsstandorte, Region Nord: Nord- und Ostsee-Küstenregionen, Region Ost: Löss-Standorte des mitteldeutschen Trockengebiets, Altmark und Spreewald.

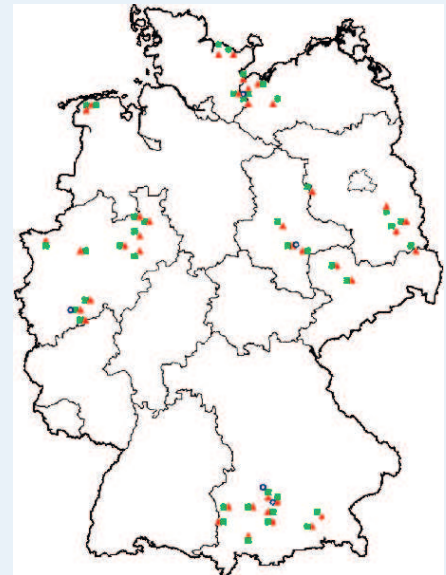
In jeder Projektregion bilden je zehn ökologische und zehn benachbarte konventionelle Betriebe Betriebspaare unter ähnlichen Standortbedingungen. Neben sechs Demeter-Betrieben sind Betriebe von Bioland, Naturland, Biokreis, Gaä und Biopark vertreten; zwei Ökobetriebe arbeiten verbandsunabhängig. Darüber hinaus sind mehrere Versuchsstationen in das Projekt eingebunden (Abb. 1).

Auswahlkriterien der Betriebe waren u. a.: Vollerwerb, ökologische Bewirtschaftung mindestens 7 Jahre, Spreizung des Leistungs- und Ertragsniveaus über die regionale Spannweite, die Bereitschaft, eine digitale Ackerschlagkartei zu nutzen, Bereitschaft zur langfristigen Zusammenarbeit, mitarbeitwillige Betriebspartner bei den Betriebspaaren.

Die untersuchten **Betriebstypen** sind: Marktfruchtbetriebe (Viehbesatz < 0,1 GV je ha), Gemischtbetriebe mit Marktfruchtbau und Milchviehhaltung, Milchviehbetriebe. Je Pilotbetrieb wurden bis zu 9 stationäre Flächen innerhalb größerer Schläge (> 1 ha) angelegt, auf denen Pflanzenbestände untersucht, sowie Boden- und Pflanzenproben für Laboranalysen (u. a. zur Bestimmung der Inhaltsstoffe, Humus- und Nährstoffgehalte, mikrobiellen Biomasse) gewonnen wurden.

Auf den Pilotbetrieben wurden Betriebs- und Standortdaten erhoben bzw. aus vorhandenen **Dokumentationen** übernommen. Im Pflanzenbau wurden Daten auf Schlagebene, in der Tierhaltung die Tierbestände und -leistungen, das Futterregime, das Haltungssystem, die Wirtschaftsdüngerlagerung und -aufbereitung, das Weidesystem erfasst. Zusätzlich wurden in den Betrieben Futter- und Wirtschaftsdüngerproben genommen und im Labor untersucht. Auf dieser Grundlage wurden mit Modellen detaillierte Stoffbilanzen, Energiebilanzen und Treibhausgasflüsse für den Pflanzenbau und die Milchviehhaltung berechnet sowie die ökologische Nachhaltigkeit bewertet.

Kommunikation: Die Datenerfassung in den Betrieben bis zur Ergebnispräsentation wurde über



Lage der Pilotbetriebe und Versuchsstationen, jeweils öko/konventionell gepaart in vier Regionen

eine zentrale Datenbank realisiert. Die aufgebaute Projektinfrastruktur mit Betrieben, Datenerfassung und -speicherung sowie Auswertungsverfahren bietet eine längerfristige Perspektive für die Forschung. In mehreren Beiträgen werden Ergebnisse des Projektes dargestellt; inhaltliche Schwerpunkte sind Stickstoffkreisläufe und Stickstoffbilanzen, Kohlenstoffflüsse und Humusversorgung der Böden, Energiebilanz und Energieeffizienz im Pflanzenbau und in der Milchviehhaltung sowie Treibhausgasemissionen und Minderungsstrategien. Den Abschluss bilden Fallstudien besonders interessanter Betriebe und die Zusammenführung der Teilergebnisse zu einer Gesamtaussage. ● www.pilotbetriebe.de

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid,
(Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und
Pflanzenbausysteme, Technische Universität München,
Liesel-Beckmann-Straße 2, 85350 Freising)

Hans-Marten Paulsen & Gerold Rahmann,
Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für
Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau