

7 Generaldiskussion und Ausblick

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid, Gerold Rahmann, Thomas Fisel,
Ulrich Köpke, Olaf Christen, Karl Kempkens

7.1 Etablierung des Netzwerks der Pilotbetriebe als Grundlage transdisziplinärer Forschung

Im Verbundprojekt *Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben* wurde in enger Kooperation von Forschung, Beratung und Praxis eine in Deutschland einzigartige Struktur für Forschungsarbeiten aufgebaut. In verschiedenen Agrarräumen sind 40 ökologische und 40 konventionelle Betriebe nach genau definierten Kriterien ausgewählt worden; sie repräsentieren unterschiedliche Betriebstypen, Intensitätsniveaus und Standortbedingungen. Während der Projektlaufzeit blieben alle ausgewählten Pilotbetriebe in das Netzwerk eingebunden¹, so dass eine hohe Kontinuität der Untersuchungen gewährleistet war. Aus Kapazitätsgründen war eine Beschränkung auf 80 Pilotbetriebe erforderlich. Es kann somit nicht der Anspruch erhoben werden, repräsentative Aussagen für die gesamte Landwirtschaft in Deutschland zu treffen. Vielmehr sollten charakteristische und regionstypische Betriebsbeispiele untersucht werden.

In den Pilotbetrieben wurde ein leistungsfähiges Monitoringsystem eingerichtet. Mit einheitlichen Methoden wurden produktionstechnische Daten und Leistungsparameter kontinuierlich erhoben. Ergänzende Betriebsleiterinterviews dienten der Erfassung von betrieblichen Entwicklungszielen und Motivationen. In den Betrieben wurden auf georeferenzierten Testflächen Bonituren, Boden- und Pflanzenanalysen durchgeführt. Analysen von Futtermitteln und Wirtschaftsdüngern hatten die Ableitung spezifischer Daten für Futter- und Nährstoffbilanzen zum Ziel. Die Monitoringdaten wurden in einer internetbasierten Datenbank Nutriweb gespeichert, die von allen Partnern nutzbar ist. Die Betriebe konnten somit hinsichtlich ihrer Standortbedingungen und Bewirtschaftungssysteme umfassend charakterisiert werden.

Mit der Etablierung des Netzwerks von Pilotbetrieben, dem System der Datenerfassung, der Datenspeicherung in einer zentralen Datenbank und den Auswertungsverfahren wurde das wesentliche technische Projektziel erreicht. Die geschaffene Projektinfrastruktur ist die Basis für längerfristige Forschungsarbeiten und kann in Folgeprojekten genutzt werden.

Im Projektantrag war der Anspruch formuliert, einen transdisziplinären Ansatz zu verwirklichen. Die Betriebe sollten nicht nur Gegenstand der Forschung sein. Vielmehr ging es darum, die Betriebsleiter und die Betriebsberater aktiv in das Vorhaben einzubinden. Die gesamte Datenerfassung und Probenahme in den Pilotbetrieben wurden von den Betriebsberatern mit Unterstützung der Doktoranden durchgeführt. Die Projektergebnisse wurden den Betrieben durch die Berater vorgestellt und erläutert. Nach dem bisherigen Projektverlauf kann festgestellt werden, dass die Betriebsberatung wesentliche Funktionen im Verbundprojekt übernommen hat. Anhand der bisherigen Erfahrungen wurde abgeleitet,

¹ Die ausgewählten 80 Pilotbetriebe haben sich über die gesamte Projektlaufzeit an dem Vorhaben beteiligt; es gab kein vorzeitiges Ausscheiden von Pilotbetrieben. Viele Betriebsleiter sind aktiv in das Projekt eingebunden, engagieren sich besonders, z.B. bei den Projekt-Workshops, im Projektbeirat und identifizieren sich mit dem Vorhaben.

welche Projektergebnisse und Untersuchungsmethoden für die Betriebe relevant sind und künftig für eine treffgenaue und effiziente Betriebsberatung genutzt werden sollten.

Die jährlich mit allen Projektpartnern durchgeführten regionalen Projektworkshops wurden genutzt, um das Vorhaben fortlaufend abzustimmen, einzelbetriebliche und regionsspezifische Ergebnisse mit den beteiligten Akteuren zu diskutieren sowie das weitere Vorgehen gemeinsam festzulegen. Bei diesen Veranstaltungen gab es sehr viele Anregungen durch die Betriebsleiter, die bei der Projektarbeit berücksichtigt wurden. So wurde deutlich, dass es für die Betriebe besonders wichtig ist, Ergebnisse nicht nur in allgemeiner Form (im Mittel aller Pilotbetriebe) zu erhalten, sondern aufbereitet für den eigenen Betrieb, z.B. als betriebliche Humusbilanz. Auch wurde die möglichst zeitnahe Auswertung der Betriebsdaten gewünscht, was teilweise an die Kapazitätsgrenzen der Bearbeiter stieß. Diese Erwartungen der Betriebsleiter konnten im Projektverlauf besser erfüllt werden, u.a. durch die Verbindung der Datenerhebung in den Betrieben mit der Diskussion der einzelbetrieblichen Ergebnisse mit Sinne eines Beratungsgesprächs.

Im Verlauf des Projektes zeigte sich, dass der gewählte Systemansatz in gleicher Weise für die Anwendung in konventionellen Betrieben geeignet ist. Es erwies sich als sehr vorteilhaft, konventionelle Betriebe in das Vorhaben einzubeziehen und Betriebspaare (jeweils ökologisch und konventionell) zu bilden, die unter nahezu gleichen Standortbedingungen wirtschaften. Somit sind Systemvergleiche zur Klimarelevanz und Nachhaltigkeit möglich. Die Betriebsleiter der konventionellen Pilotbetriebe haben sich mit gleichem Engagement und Interesse in das Vorhaben eingebracht wie ihre Berufskollegen aus den ökologischen Betrieben, z.B. durch aktive Beteiligung an den Workshops, Mitwirkung im Projektbeitrag, vielfältige Unterstützung der Probenahme und Datenerfassung. Auch die Kommunikation zwischen den Landwirten der unterschiedlichen Landbauformen ist als sehr positiv einzuschätzen; beispielsweise wurden die Workshops zu einem regen Erfahrungsaustausch genutzt.

Das Projekt Netzwerk der Pilotbetriebe hat somit sehr enge Bezüge zu den im Bundesprogramm Ökologischer Landbau formulierten Zielen: *„Die Landwirtschaft mit ihren mehr als nur monokausalen Ursache-Folge-Beziehungen ist ... darauf angewiesen, nicht nur aus disziplinärer Sichtweise betrachtet zu werden. Dies gilt vor allem für den ökologischen Landbau, der aus grundsätzlichen Gründen offene Fragen und Defizite weniger durch externe Inputs, sondern durch systemische Lösungen zu beantworten sucht. Der Forschungsbedarf ist im ökologischen Landbau besonders hoch, da diese Form der Landwirtschaft vor allem auf dem Verständnis des organischen Zusammenwirkens aller einen Betrieb beeinflussenden Faktoren beruht. Umfassendes Know how über Einzeleffekte von Maßnahmen sowie deren Wechselwirkungen ist der Schlüssel, um dem ökologischen Landbau unter den bestehenden Wettbewerbsbedingungen eine positive Entwicklung zu ermöglichen“.*

Das Forschungsvorhaben Netzwerk der Pilotbetriebe trägt dieser grundlegenden Zielsetzung Rechnung, in dem der Landwirtschaftsbetrieb mit den Wechselwirkungen zwischen den Betriebszweigen, den innerbetrieblichen Stoffströmen, den steuernden Eingriffen des Menschen in den Mittelpunkt der Forschung gerückt wird. Dieser Ansatz eignet sich besonders für die Bearbeitung komplexer Fragen wie der Klima- und Nachhaltigkeitsproblematik.

Generell ist einzuschätzen, dass ganzheitliche, auf den Betrieb ausgerichtete Forschung bisher noch zu wenig umgesetzt ist. Offensichtlich ist es für Forschende schwierig, komplexe Systeme wissenschaftlich zu bearbeiten und zu optimieren (Niggli, 2002). Die agrarwissenschaftliche Forschung ist überwiegend

disziplinär ausgerichtet. So können Produktionsverfahren im Detail optimiert und dadurch Leistungs- und Effizienzsteigerungen erreicht werden; für die Weiterentwicklung von Betriebssystemen ist dieser Ansatz allein aber nicht ausreichend. Unter den sich ständig ändernden Rahmenbedingungen der Landwirtschaft ist es erforderlich, Entwicklungsprozesse in landwirtschaftlichen Betrieben umfassend – z.B. im Hinblick auf Klimarelevanz oder Nachhaltigkeit – zu analysieren, zu bewerten und zu optimieren. Hierfür sollten geeignete Methoden und praxisanwendbare Instrumente für die Betriebsberatung entwickelt werden (KTBL, 2007).

Auch in der internationalen Literatur wird immer häufiger gefordert, die Betriebe als Ganzes in den Mittelpunkt der Forschung zu stellen. Dementsprechend sollen Betriebe als Systeme aufgefasst werden, in denen der Mensch steuernde Funktionen übernimmt (Kristensen und Halberg, 1997). Damit ändern sich nicht nur die Forschungsfragen sondern auch die Forschungsmethoden und der Forschungsprozess. Aus dem Forschen auf dem Betrieb zu Fragen, die dem Forscher wichtig erscheinen, wird ein Forschen mit den Landwirten zu Fragen, die in einem partizipativen Prozess als wichtig erarbeitet werden (Kristensen und Hermansen, 2002). Damit wird die Forschung einerseits Teil des betrieblichen Entwicklungsprozesses und leitet andererseits aus den betrieblichen Fallstudien allgemeine Prinzipien und Regeln ab. Ansätze zu einem solchen Vorgehen in der Forschung wurden in den Status-quo-Analysen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau verwirklicht und in dem Praxis-Forschungs-Netzwerk (PFN), dem Berater-Praxis-Netzwerk (BPN) sowie den interdisziplinären Projekten zur Milchvieh- und Schweinehaltung (IP Milch, BÖL-Schwein) weitergeführt. In den Projekten Ökologischer Landbau NRW (Universität Bonn und Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen) und COMPASS (Universität Kiel) wurden Forschungsprozesse und teilweise auch der Transfer in die Betriebe verlagert. In den Niederlanden entstand zur Verbreitung neuer Erkenntnisse in die Praxis der Nucleus und Pilot Farm Research Ansatz (NUPRFA, Langeveld et al., 2005). Das FIBL in der Schweiz befasst sich mit dem Aufbau von Evaluations- und Entwicklungszentren im Biologischen Landbau. In Dänemark wird das Farming Systems Research Konzept verfolgt, in dem partizipative Forschung und der Einfluss der Betriebsleitung auf das System im Vordergrund stehen.

Entscheidend für den Erfolg gesamtbetrieblicher Analysen sind mehrere Voraussetzungen (Kristensen und Hermansen, 2002; Langeveld et al., 2005):

- Interdisziplinäres Arbeiten und Partizipation,
- Einsatz von Modellen zur Darstellung der Flüsse und Wechselwirkungen im Betrieb, die letztlich erst den Betriebsvergleich ermöglichen,
- Unterstützung der Modelle und ihrer Aussagen durch Erfassung ausgewählter Messgrößen,
- Einbindung des Betriebsleiters mit seiner Handlungsweise und Motivation als Teil des gesamten Systems als Erklärungsgröße für den Erfolg,
- Ausbildung eines Netzwerkes an Betrieben, um eine Vielfalt an Betrieben, Standorten und Betriebsleitern zu integrieren und statistische Auswertungen zu ermöglichen.

Im Netzwerk der Pilotbetriebe wurde versucht, die oben aufgeführten Prinzipien umzusetzen sowie bereits vorhandene konzeptionelle und methodische Erfahrungen aus verschiedenen On-Farm-Research-Projekten zu berücksichtigen.

7.2 Ergebnisse der Forschungsarbeiten im Netzwerk der Pilotbetriebe

Die Forschungsarbeiten im Netzwerk der Pilotbetriebe waren in den Jahren 2009 bis 2013 auf zwei zentrale Forschungsthemen ausgerichtet:

- die Analyse und Bewertung von Klimawirkungen (Emissionen der Treibhausgase CO₂, N₂O, CH₄) im Pflanzenbau und der Milchviehhaltung sowie die Ableitung von Minderungspotenzialen und gesamtbetrieblichen Optimierungsstrategien.
- die Analyse und Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit in den Bereichen Bodenschutz (Schadverdichtung, Humushaushalt), Energiebindung und Stoffkreisläufe (Stickstoffverluste).

Beide Forschungsthemen stehen in enger Beziehung zueinander. Die Berechnung betrieblicher THG-Bilanzen ist ohne Analyse der Stoff- und Energieflüsse nicht möglich; andererseits sind die flächen- und produktbezogenen THG-Emissionen wichtige Indikatoren der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Betriebssysteme. Die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit hatte auch zum Ziel, die Klimawirkungen in einen größeren Rahmen zu stellen; die Zukunftsfähigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebssystems kann nicht allein anhand der Klimawirkungen beurteilt werden. Hierzu bedarf es weiterer ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien. Insofern ist die derzeitige Beschränkung auf ausgewählte Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit (Stoff- und Energieflüsse, Bodenschutz) als erster Schritt einer umfassenden Nachhaltigkeitsanalyse und -bewertung zu sehen. In Folgeprojekten sollten unbedingt sozio-ökonomische Untersuchungen einbezogen werden; in Kooperation mit anderen Forschergruppen können noch fehlende Bereiche der ökologischen Nachhaltigkeit (z.B. Wirkungen auf die Biodiversität) analysiert werden (siehe Schlussfolgerungen und Ausblick).

Die Projektergebnisse sind in dem vorliegenden Bericht und in drei Zwischenberichten (2010, 2011, 2012) dargestellt sowie in Publikationen und Tagungsbeiträgen veröffentlicht. Nachfolgend geht es darum, die beschriebenen Einzelergebnisse der Teilprojekte in einen größeren Zusammenhang zu stellen und ihren Beitrag zur Beantwortung der zentralen Forschungsfragen des Projektes zu aufzuzeigen.

7.2.1 Modellierung von Stoff- und Energieflüssen sowie THG-Bilanzierung

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei betriebssystemaren Untersuchungen ist die Auswahl und Anwendung geeigneter Modelle. Wenngleich zahlreiche Indikatoren gestützte Modelle zur Nachhaltigkeitsanalyse, zur Abbildung betrieblicher Stoff- und Energieflüsse, teilweise auch zur Klimabilanzierung existieren (z.B. Refsgaard et al., 1998; Halberg, 2005; Küstermann et al., 2008), so war es doch notwendig, für die Fragestellungen des Projektes methodische Weiterentwicklungen vorzunehmen.

Die Modellierungsarbeiten, insbesondere zur Abbildung der Stoff-, Energie- und Treibhausgasflüsse milchviehhaltender Betriebe erwiesen sich als außerordentlich komplex und wissenschaftlich anspruchsvoll. Für die vollständige Bilanzierung der Treibhausgasflüsse der Milchviehhaltung war es notwendig, Ergebnisse verschiedener Modelle (REPRO, GAS-EM) in eine Gesamtaussage zu integrieren (Schaub et al., 2013). Für die betriebliche THG-Bilanzierung mussten neue Module (z.B. Energie- und CO₂-Bilanzierung der Milchviehhaltung) entwickelt (Frank et al., 2013) bzw. für die Projektaussagen relevante Modellparameter und -koeffizienten (z.B. Energieinput und CO₂-Emissionen für ausgewählte

Futtermittel (Sojaschrot) oder zugekaufte Färsen) abgeleitet werden. Das Gesamtmodell liegt nunmehr vor und wurde in den Pilotbetrieben getestet.

In Milchviehbetrieben gibt es sehr viele, sich überlagernde Einflussfaktoren auf die THG-Flüsse. Um alle bedeutsamen Emissionen der Milcherzeugung in der THG-Bilanz zu berücksichtigen, muss die Systemebene des Betriebes erweitert werden; einzubeziehen ist der gesamte Vorleistungsbereich (Herstellung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, Maschinen, Geräten, Gebäuden und baulichen Anlagen, Erzeugung des Zukauffutters einschließlich der damit verbundenen Landnutzungsänderungen, Erzeugung von Färsen, etc.). Dies erklärt, warum es bisher so gut wie keine vollständigen THG-Bilanzen der Milchviehhaltung gibt. In fast allen bisherigen THG-Bilanzen der Milchviehhaltung fehlten die Energiebilanz und die mit dem Einsatz fossiler Energie verbundenen Emissionen. Die Entwicklung einer allgemein anwendbaren Methode der Energiebilanzierung der Milchviehhaltung und ihre Integration in die THG-Bilanz ist daher als eine der wichtigsten methodischen Innovationen des Projektes anzusehen (vgl. Frank et al., 2013).

Der Vergleich der beiden Modelle REPRO und GAS-EM brachte wichtige Erkenntnisse bezüglich der Modellphilosophie, der einbezogenen Stoff- und Energieflüsse, der verwendeten Algorithmen. Beide Modelle wurden für unterschiedliche Zielsetzungen entwickelt; REPRO für einzelbetriebliche Systemanalysen, GAS-EM für die nationale Klimaberichterstattung. In den Beispielberechnungen für ausgewählte Pilotbetriebe wurde deutlich, dass trotz unterschiedlicher Herangehensweise und teilweise deutlich abweichenden methodischen Ansätzen sowie der differenzierten Auflösung von Teilprozessen nur relativ geringere Abweichungen der berechneten Gesamt-THG-Emissionen pro kg Milch im Vergleich beider Modelle auftreten. Der größte Unterschied besteht darin, dass in REPRO alle relevanten THG-Flüsse für die Abbildung eines landwirtschaftlichen Betriebes einbezogen werden, während GAS-EM einige THG-Flüsse (Landnutzungsänderungen im Ausland, C-Sequestrierung) unberücksichtigt lässt bzw. nicht auf Betriebsebene, sondern auf übergeordneten Ebenen bilanziert (vgl. Schaub et al., 2013).

In den Marktfruchtbetrieben treten weniger Stoff- und Energieflüsse und auch weniger Verlustprozesse als in milchviehhaltenden Betrieben auf. Größte Probleme bereitet aber die Modellierung der N₂O-Flüsse aus Böden. Für genaue, standort-, betriebs- und jahresspezifische Aussagen sind nach wie vor Messungen unerlässlich, weil N₂O-Modelle nicht alle Einflussfaktoren und Prozesse abbilden können. So zeigte sich in Feldexperimenten im Versuchsbetrieb Viehhausen², dass das Bodenprozessmodell DNDC Lachgasflüsse nach einer Düngerapplikation gut nachvollziehen kann, die N₂O-Flüsse nach Klee grasumbrüchen aber deutlich unterschätzt. So können erhebliche Abweichungen zwischen gemessenen und modellierten Werten auftreten (Peter et al., 2013). Die Anwendung von Emissionsfaktoren nach IPCC (1997) ist eine drastische Vereinfachung der komplexen Emissionsprozesse. So zeigen Messungen im Versuchsbetrieb Scheyern, dass die N₂O-Emissionsraten mit 2,5 % des zugeführten N standortbedingt etwa doppelt so hoch sind wie nach IPCC (1,25 % des zugeführten N) geschätzt. Werden hohe N-Gaben auf dicht lagernden Böden (nach langjährig reduzierter Bodenbearbeitung) appliziert, kann es noch zu wesentlich höheren N₂O-Emissionen (bis über 10 kg N ha⁻¹ a⁻¹) kommen, die mit Bilanzansätzen nicht erfasst werden (Küstermann et al., 2013). Aufgrund des enormen Aufwandes war

² Der Versuchsbetrieb Viehhausen (TUM, Region Süd) und vier weitere Versuchsbetriebe (Scheyern, Helmholtz Zentrum München, Region Süd; Bad Lauchstädt, MLU, Region Ost; Wiesengut, IOL, Region West; Trenthorst, TI, Region Nord) sind in die Projektarbeiten eingebunden. In den Versuchsbetrieben wurden beispielsweise Messungen zu N₂O-Flüssen in Feldexperimenten durchgeführt.

es nicht möglich, in den Pilotbetrieben Messsysteme zur Erfassung der N₂O-Flüsse einzurichten, jedoch wurden in vier Versuchsstationen der beteiligten Partner in den Projektregionen Süd, Nord, West und Ost mehrjährige N₂O-Messungen durchgeführt³.

7.2.2 Ergebnisse des Betriebsmonitorings

In den Pilotbetrieben wurde mit großem Aufwand ein Monitoringprogramm durchgeführt, das u.a. Untersuchungen auf georeferenzierten Testflächen (Bodenanalysen, Pflanzenbonituren, Ertragsermittlungen, Qualitätsbestimmungen) sowie im Tierhaltungsbereich die Entnahme und Laboranalyse von Futter- und Wirtschaftsdüngerproben umfasste. Ein wesentliches Ziel hierbei war es, die Datenbasis zur Modellierung der Betriebssysteme zu verbessern und die Modellaussagen besser abzusichern.

7.2.2.1 Ergebnisse zur Milchviehhaltung

In 22 Paaren ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe wurden Daten zu Anfall, Lagerbedingungen, Ausbringung und Qualität der Wirtschaftsdünger über einen Zeitraum von drei Jahren erhoben. Aus den Analysewerten und den Lagerbedingungen wurden die Emissionen an CH₄, N₂O und NH₃ und deren direktes bzw. indirektes Klimaerwärmungspotential berechnet. (Paulsen et al., 2013). Die Spannbreite der Nährstoffgehalte der Wirtschaftsdünger war in beiden Bewirtschaftungsformen sehr groß. Dieser Sachverhalt macht den großen Einfluss des einzelbetrieblichen Managements auf die Wirtschaftsdüngerqualität deutlich. In weiteren Auswertungen sollen Einflüsse des einzelbetrieblichen Managements in der Milchviehhaltung auf relevante Steuergrößen der THG-Bilanz abgeleitet werden. Da ein erheblicher Anteil der THG-Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement stammt, ist eine optimale Ausnutzung der Nährstoffe aus tierischen Exkrementen für die produktbezogenen THG-Emissionen von großer Bedeutung. Trotz der großen Relevanz der Wirtschaftsdünger gibt es in der Literatur nur wenige und, vor allem für den Ökologischen Landbau, unzureichende Datensätze zu diesem Themengebiet.

In den Milchviehbetrieben wurden umfangreiche Datensätze zu Milchleistungsprüfungen und Fütterungsregimes erhoben sowie Proben von Futtermitteln gezogen. Die Auswertungen in 22 Paaren von ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben (Blank et al., 2013) zeigen, dass die Milchleistung, die Lebens effektivität, der Anteil von Maissilage am Grundfutter sowie der Anteil von Kraffutter an der Gesamtration konventioneller Betriebe höher sind; in ökologischen Betrieben sind dagegen die Nutzungsdauer und Weidezeiten länger. In der aktuellen Studie liegt die durchschnittliche Milchleistung der ökologischen Betriebe im Mittel über alle drei Versuchsjahre mit 6478 kg Kuh⁻¹ a⁻¹ deutlich unter denen der konventionellen Betriebe mit 8571 kg Kuh⁻¹ a⁻¹. Die Lebens effektivität steigt mit steigender Milchleistung in beiden Betriebssystemen signifikant an, wogegen die Lebens effektivität mit steigendem Erstkalbealter sinkt. In weiteren detaillierten Auswertungen des einzelbetrieblichen Managements sollen die Faktoren, welche die THG-Emissionen in der Milchviehhaltung bestimmen, ermittelt und Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. Für die Verminderung der produktbezogenen THG-Emissionen in der Milchviehhaltung im Bereich des Managements gibt es vielfältige Ansatzpunkte. Die Leistungsstei-

³ Im Forschungsprojekt „Regionale Treibhausgasflüsse in Klee-gras-Weizensystemen“, gefördert durch TI-Sondermittel 110 und BMELV-Forschungsplan 2008, Laufzeit 1/2010 bis 12/2012.

gerung wird hierbei als eine der bedeutendsten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen angesehen, da für dieselbe Menge an produzierter Milch die Tierzahlen reduziert werden können (Zehetmeier et al., 2011).

7.2.2.2 Ergebnisse zum Bodengefüge

Auf Untersuchungsflächen ausgewählter Pilotbetriebe wurden bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt (Höhne et al., 2013). Hierbei ging es um Zusammenhänge zwischen der Flächennutzung, messbaren bodenphysikalischen Parametern, den Ergebnissen der visuellen Gefügeansprache (Spatendiagnose) und Ergebnissen eines Schadverdichtungsmodells.

Das Bodengefüge beeinflusst in vielfältiger Weise bodenökologische sowie für das Pflanzenwachstum relevante Funktionen, unter anderem auch die N₂O-Emissionen. So wirkt sich der Gefügezustand auf die Durchwurzelung, die Nährstoffeffizienz und die mikrobielle Aktivität aus. Insbesondere im ökologischen Landbau sind die Kulturpflanzen zur bedarfsgerechten Versorgung mit Nährstoffen auf ein günstiges Bodengefüge angewiesen. Bodenverdichtungen führen folglich zu deutlichen Ertragseinbußen und der Zunahme der Ertragsunsicherheit. Zudem bedingt ein kompaktes Gefüge verringerte Infiltrationsleistungen und einen gesteigerten Oberflächenabfluss sowie Erosion.

Aus den bodenphysikalischen Untersuchungen in den Pilotbetrieben ist zu schlussfolgern, dass es mit der Spatendiagnose grundsätzlich möglich ist, Bodenschadverdichtungen nachzuweisen und den Gefügezustand zu bewerten. Für die einzelnen Bodenartengruppen ließen sich spezifische Einzelmerkmale identifizieren, die besonders gut mit den physikalischen Laborwerten korrelieren. So ist bei Lehmböden besonders auf die Aggregatgröße, die Lagerung der Aggregate zueinander und auf den Verfestigungsgrad zu achten. Die Wurzelverteilung ist auf Sandböden das bedeutendste Einzelmerkmal. Auf Schluffböden sollte das Hauptaugenmerk auf der Lagerung der Aggregate, der Wurzelverteilung und dem Verfestigungsgrad liegen. Die Gefügeform ist auf allen Standorten ein wichtiges Merkmal. Eine Anpassung der Boniturschemata an differenzierte Standortbedingungen würde deren Genauigkeit weiter verbessern.

Die Spatendiagnose ist ein praktisches Instrument des Bodenschutzes, das eine breite Anwendung erlaubt und aufwändige Laboruntersuchungen einzusparen hilft. Die Anwendung der Spatendiagnose in den Pilotbetrieben, auch im Rahmen regionaler Workshops, stieß auf großes Interesse der Betriebsleiter und Berater.

Die statistische Auswertung der Ergebnisse der bodenphysikalischen und -mechanischen Laboranalysen zeigt Unterschiede in der Ackerkrume der Lehm- und Tonböden zwischen den ökologischen und konventionellen Bewirtschaftungssystemen. Im Bereich des krumennahen Unterbodens hingegen wurden keine Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen gefunden. Auch Spatendiagnosen auf 40 ökologisch und 39 konventionell bewirtschafteten Flächen bestätigen dieses Ergebnis. Diese Untersuchung gibt Hinweise darauf, dass die struktur-fördernden Maßnahmen der ökologischen Bewirtschaftungsweise, z.B. Anbau von Leguminosen, Förderung der organischen Bodensubstanz, Einsatz leichterer Maschinen, durch andere systemtypische Verfahren und Effekte aufgehoben werden.

7.2.2.3 Ergebnisse zur Ertragsbildung im Pflanzenbau

In ausgewählten Pilotbetrieben wurden der Einfluss von Standortfaktoren und der Bewirtschaftung auf den Ertrag und die Qualität von Luzerne-Kleegras und Dauergrünland untersucht sowie pflanzenbauliche Strategien klimaneutraler Produktivitätssteigerung analysiert. Zusätzlich wurden Feldexperimente durchgeführt, um den Einfluss der Schnitthöhe und des Schnittintervalls zu analysieren (Lind et al., 2013a). Ziel war es, im Hinblick auf eine Senkung der produktbezogenen Emissionen (funktionelle Einheit: kg CO₂ je produzierter Einheit Trockenmasse) pflanzenbauliche Ansätze einer Produktivitätssteigerung zu prüfen. Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen kommt aufgrund der symbiotischen Stickstofffixierung und der Grobfuttermittelsversorgung der Tierbestände eine besondere Bedeutung zu. Eine detaillierte Analyse des Einflusses der Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) und des Standortes auf die Ertrags- und Qualitätsbildung von Luzerne-Kleegras- und Grünlandbeständen stellt daher eine wichtige Grundlage für die gezielte Ableitung von Strategien zur Minderung von Treibhausgasemissionen dar.

Bei den TM-Erträgen der Aufwüchse zeigte sich eine enorme Variabilität der einzelbetrieblichen Werte, abhängig vom Schnittzeitpunkt, der Region und weiteren Einflussparametern. Ein später erster Schnitt führte zu einem deutlich verringerten Stickstoffgehalt des Erntegutes. Die Auswertung Trockenmassegesamterträge der untersuchten Kleegras- und Grünlandflächen des Jahres 2010 ergab folgende Ertragsrelationen. In der Region West war das Ertragsniveau bei ökologischer Bewirtschaftungsweise (\bar{x} 94,2 dt ha⁻¹) höher als bei konventioneller Landbewirtschaftung (\bar{x} 78,4 dt ha⁻¹). In der Region Ost wurden ebenfalls bei ökologischer Bewirtschaftung höhere Erträge erzielt (öko: \bar{x} 121,0 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 101,4 dt ha⁻¹). In den Regionen Nord (öko: \bar{x} 62,8 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 68,3 dt ha⁻¹) und Süd (öko: \bar{x} 70,9 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 95,3 dt ha⁻¹) hingegen wurden im Mittel höhere Erträge in den konventionellen Pilotbetrieben festgestellt. Zu beachten ist hierbei, dass in den Regionen eine unterschiedliche Zahl von Pilotbetrieben in diese Untersuchungen einbezogen wurde, wodurch die Ergebnisse ebenso beeinflusst wurden, wie durch Witterungseffekte und die Probenahmeterminen. Dennoch ist zu konstatieren, dass die Futtererträge auf Kleegras- und Grünlandflächen bei ökologischer Bewirtschaftung durchaus das Ertragsniveau des konventionellen Anbaus erreichen, teilweise sogar übertreffen können.

In den Jahren 2009 und 2010 wurden Korn- und Stroherträge sowie die Nährstoffgehalte der Winterweizenbestände auf den Testflächen der Pilotbetriebe untersucht (Lind et al., 2013b). Der Kultur Winterweizen kommt aufgrund ihres Anbauumfanges eine besondere Bedeutung zu. Für eine gezielte Ableitung von Strategien zur Minderung von Treibhausgasemissionen auf einzelbetrieblicher Ebene ist eine detaillierte Analyse des Einflusses der Bewirtschaftungsweise (ökologisch/konventionell) und des Standortes auf die Ertrags- und Qualitätsbildung der Bestände erforderlich.

Im Jahr 2009 wurden regionsspezifisch folgende Ertragsmittel beim Winterweizen festgestellt:

- Region Süd: öko: \bar{x} 52,9 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 88,6 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.60,
- Region Nord: öko: \bar{x} 48,7 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 101,4 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.48,
- Region West: öko: \bar{x} 67,9 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 88,4 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.77,
- Region Ost: öko: \bar{x} 41,0 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 86,8 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.47.

Im Jahr 2010 wurden regionsspezifisch folgende Ertragsmittel beim Winterweizen festgestellt:

- Region Süd: öko: \bar{x} 35,8 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 61,2 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.58,

- Region Nord: öko: \bar{x} 40,8 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 101,7 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.40,
- Region West: öko: \bar{x} 48,5 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 73,9 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.66,
- Region Ost: öko: \bar{x} 41,5 dt ha⁻¹, kon: \bar{x} 78,8 dt ha⁻¹, Ertragsrelation öko : kon = 0.53.

Es wurden somit bedeutende Ertragsunterschiede zwischen ökologischem und konventionellem Anbau, deutliche Jahreseffekte, aber auch Einflüsse der Anbauregionen ermittelt. Während in der Region West im ökologischen Anbau bis zu 77 % des konventionellen Ertragsniveaus erreicht wurden (2009), konnten in der Region Nord nur 48 % des konventionellen Ertrages erzielt werden (2009). Mögliche Ursachen sind Standort- und Witterungseinflüsse, aber auch ein unterschiedliches Intensitätsniveau in den Betrieben. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Untersuchungen in den Pilotbetrieben aufgrund der Betriebsauswahl und des Untersuchungsumfangs keine allgemeinen Aussagen zu den Ertragsrelationen in der Bundesrepublik Deutschland zulassen.

Zusätzlich zu den Ertragsanalysen auf Textflächen wurden auf sechs ökologisch wirtschaftenden Betrieben faktorielle Feldversuche durchgeführt. Ziel war es, betriebsspezifisch die Möglichkeiten einer Ertragssteigerung beim Winterweizen zu prüfen. Es wurde angenommen, dass eine Beizung des Saatgutes mit *Pseudomonas chlororaphis* ertragssteigernd wirkt. Neben vier einfaktoriellen Versuchen wurden an zwei Standorten mit besonderem Auftreten von Weizensteinbrand (*Tilletia caries*) zweifaktorielle Versuche unter zusätzlicher Verwendung der steinbrandresistenten Winterweizensorte ‚Butaro‘ angelegt. Eine signifikante Ertragsteigerung wurde in keinem der Feldversuche festgestellt.

In den Pilotbetrieben wurden die Durchschnittserträge der wichtigsten Kulturarten erhoben und ausgewertet (Schmid et al. 2013). Die Ertragsleistungen wurden nach verschiedenen Kriterien beurteilt. Beim Winterweizenertrag und allen anderen Ertragsparametern zeigen sich bedeutende Unterschiede zwischen ökologischem und konventionellem Landbau, zugleich aber auch eine enorme einzelbetriebliche Variabilität, bedingt durch Standort-, Witterungs- und Managementeinflüsse.

In ökologischen Marktfruchtbetrieben betrug der Weizenertrag \bar{x} 37 dt ha⁻¹ (= 42 % des Ertrages der konventionellen Marktfruchtbetriebe), in den Milchvieh-/Gemischtbetrieben \bar{x} 40 dt ha⁻¹ (= 56 % des Ertrages der konventionellen Milchvieh-/Gemischtbetriebe). In den ökologischen Gemischtbetrieben wurden somit trotz ungünstiger Standortbedingungen höhere absolute und relative Weizenerträge als im ökologischen Marktfruchtanbau erzielt. Beim Vergleich der GE-Erträge zeigen sich ähnliche Ertragsrelationen wie beim Weizen; die ökologischen Marktfruchtbetriebe erreichen 42 %, die Milchvieh-/Gemischtbetriebe 63 % der Ertragsleistungen der konventionellen Pilotbetriebe. Die Energiebindung der geernteten pflanzlichen Biomasse [GJ ha⁻¹] fasst alle Ernteprodukte nach ihrem physikalischen Brennwert zusammen. Auf die Energiebindung hat somit nicht nur die Biomassebildung, sondern auch der Harvestindex entscheidenden Einfluss. Dies erklärt, warum die ökologischen Milchvieh-/Gemischtbetriebe beim Parameter „Energiebindung“ die ökologischen Marktfruchtbetriebe so deutlich übertrafen (\bar{x} = 128 GJ ha⁻¹ im Vergleich zu 77 GJ ha⁻¹). Da die Pilotbetriebe (ökologisch und konventionell) immer paarweise in unmittelbarer Nähe gewählt wurden und nahezu gleiche Standortbedingungen aufweisen, ist von einer guten Vergleichbarkeit der Betriebe auszugehen. Die in den Betrieben erhobenen Weizenerträge liegen im Mittel niedriger als die auf den Testflächen ermittelten Erträge.

Die Ertragsrelationen beschreiben die Situation in ausgewählten Betrieben in verschiedenen Agrarregionen der Bundesrepublik Deutschland. Sie sind vor dem Hintergrund der erreichten hohen Produktionsintensität zu diskutieren. Bei globaler Betrachtung und Berücksichtigung weniger produktiver Standorte

und Produktionsintensitäten ist das Verhältnis von ökologischen zu konventionellen Erträgen wesentlich enger (Seufert et al., 2012; Badgley et al., 2007). Die besondere Relevanz der Erträge ergibt sich durch die Beeinflussung aller Effizienzparameter – der Stickstoffeffizienz, der Energieeffizienz sowie der produktbezogenen Emissionen. Als weiterer Aspekt ist der Flächenbedarf zur Erzeugung einer bestimmten Produktmenge zu berücksichtigen bzw. die sich daraus (zumindest theoretisch) ergebende Fläche für alternative Nutzungen, z.B. Flächen für den Naturschutz oder die Bioenergieerzeugung (Tuomisto et al., 2012).

7.2.2.4 Ergebnisse der Stoff-, Energie- und THG-Bilanzierung

Eines der wesentlichen Projektziele ist die Analyse von Bewirtschaftungseinflüssen auf die flächen- und produktbezogenen Emissionen klimarelevanter Gase. In die Bilanzierung der THG-Emissionen im Pflanzenbau (Schmid et al., 2013) wurden neben den N₂O-Emissionen in Abhängigkeit vom N-Input und den CO₂-Emissionen durch den Energieeinsatz auch die Freisetzung bzw. Bindung von Kohlenstoff im Boden (C-Sequestrierung) einbezogen.

Ein wesentlicher, die THG-Flüsse prägender Effekt ist die C-Sequestrierung von Böden. Sie sollte bei THG-Bilanzen möglichst genau bestimmt werden. Hierbei ist zu beachten, dass die mögliche C-Bindung in Böden durch Humusaufbau mengenmäßig und zeitlich limitiert ist; die Anreicherung erfolgt bis zur Einstellung neuer bewirtschaftungsabhängiger C-Fließgleichgewichte. Im Forschungsprojekt wurde die potenzielle C-Sequestrierung mit der Methode der dynamischen Humusbilanzierung (Hülsbergen, 2003, Brock et al., 2013a) geschätzt, weil der Untersuchungszeitraum zu kurz war, um den Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den C-Haushalt von Böden zu messen. Die Humusbilanzen der Pilotbetriebe zeigen, dass ökologische Milchvieh-/Gemischtbetriebe Potenziale zur Humusanreicherung besitzen ($\bar{x} > 200 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$), während im Mittel der ökologischen Marktfruchtbetriebe von gleichbleibenden Humusgehalten auszugehen ist; für konventionelle Marktfruchtbetriebe wurden negative Humussalden ermittelt ($\bar{x} -150 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Eine vergleichbare Humus- und Boden-C_{org}-Anreicherung in Ackerböden mit ökologischer Bewirtschaftung ist auch in anderen Studien auf der Grundlage von Messdaten (Gattinger et al., 2012) und durch Humusbilanzierung (Brock et al., 2013b) nachgewiesen wurden.

Die Pilotbetriebe wirtschaften in Bezug auf den Stickstoffeinsatz auf sehr unterschiedlichen Intensitätsniveaus; es wird ein großer Bereich von Low-Input-Systemen ($< 100 \text{ kg N ha}^{-1}$) bis zu High-Input-Systemen ($> 300 \text{ kg N ha}^{-1}$) erfasst. Bis zu einem N-Einsatz von ca. $250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ betragen die N-Salden bis zu ca. 50 kg N ha^{-1} ; bei noch höheren N-Zufuhren steigen die N-Salden zum Teil deutlich an und erreichen in einigen konventionellen Betrieben Werte bis zu 125 kg ha^{-1} . Die N-Salden der ökologisch wirtschaftenden Betriebe (Marktfruchtbau: $\bar{x} 20 \text{ kg N ha}^{-1}$, Milchvieh-/Gemischtbetriebe: $\bar{x} -10 \text{ kg N ha}^{-1}$) sind deutlich geringer als die N-Salden der konventionellen Betriebe (Marktfruchtbau: $\bar{x} 74 \text{ kg N ha}^{-1}$, Milchvieh-/Gemischtbetriebe: $\bar{x} 56 \text{ kg N ha}^{-1}$). Die mittleren flächenbezogenen N-Salden der tierhaltenden Betriebe sind niedriger als die der Marktfruchtbetriebe, was auf eine gute N-Ausnutzung der applizierten organischen Dünger sowie dem N-Bedarf der Kulturpflanzen und dem Wirtschaftsdüngeraufkommen angepasste Mineral-N-Gaben hinweist.

Die ökologischen Marktfruchtbetriebe weisen im Mittel den geringsten, die konventionellen Milchvieh-/Gemischtbetriebe den höchsten flächenbezogenen Einsatz fossiler Energie auf. Der deutlich höhere

flächenbezogene Energieinput der konventionellen Betriebe wird durch den Mineral-N- und Pflanzenschutzmitteleinsatz verursacht. Die Ergebnisse zu den Output/Input-Verhältnissen zeigen, dass im Pflanzenbau generell deutlich mehr Energie im Ernteertrag gebunden als mit fossiler Energie zugeführt wird. Das Output/Input-Verhältnis der Pilotbetriebe beträgt 7 bis 23:1; die ökologischen Pilotbetriebe erreichen, gemessen an diesem Indikator eine etwas bessere Energieeffizienz als die konventionellen Pilotbetriebe.

Die THG-Bilanz integriert die Aussagen der Stoff- und Energiebilanzen. Die Gesamtauswertung zeigt, dass die Milchvieh-/Gemischtbetriebe im Pflanzenbau geringere flächen- und produktbezogene CO_2_{eq} -Emissionen als die Marktfruchtbetriebe, die ökologischen Pilotbetriebe geringere CO_2_{eq} -Emissionen als die konventionellen Pilotbetriebe aufweisen. Flächenbezogen wurden folgende THG-Emissionen ermittelt: öko, Marktfrucht: $1297 \text{ kg CO}_2_{\text{eq ha}^{-1}}$; öko, Gemischt: $812 \text{ kg CO}_2_{\text{eq ha}^{-1}}$; kon, Marktfrucht: $2988 \text{ kg CO}_2_{\text{eq ha}^{-1}}$; kon, Gemischt: $2204 \text{ kg CO}_2_{\text{eq ha}^{-1}}$; produktbezogen betragen die THG-Emissionen: öko, Marktfrucht: $17 \text{ kg CO}_2_{\text{eq GJ}^{-1}}$; öko, Gemischt: $7 \text{ kg CO}_2_{\text{eq GJ}^{-1}}$; kon, Marktfrucht: $20 \text{ kg CO}_2_{\text{eq GJ}^{-1}}$; kon, Gemischt: $12 \text{ kg CO}_2_{\text{eq GJ}^{-1}}$. Die Schwankungen innerhalb der Betriebsgruppen sind größer als die Unterschiede zwischen den Betriebsgruppen. Die THG-Emissionen sind daher in erster Linie einzelbetrieblich zu bewerten.

Im Bereich der Milchviehhaltung wurden vollständige THG-Bilanzen für 12 ökologische und 12 konventionelle Pilotbetriebe in den Untersuchungsregionen Süd und West berechnet (Frank et al., 2013). Im Mittel weisen die ökologischen Betriebe einen fossilen Energieeinsatz von $2,27 \text{ MJ (kg ECM)}^{-1}$ und THG-Emissionen von $933 \text{ g CO}_2_{\text{eq (kg ECM)}^{-1}}$ auf, die konventionellen Betriebe einen Energieeinsatz von $2,47 \text{ MJ (kg ECM)}^{-1}$ und Treibhausgasemissionen von $1076 \text{ g CO}_2_{\text{eq (kg ECM)}^{-1}}$. Die größten Energieinputs sind die Futtererzeugung und Futterlagerung, wobei der Futterzukauf insbesondere in den konventionellen Betrieben einen hohen Anteil hat; es folgen die Milchgewinnung und die Nachzucht. Die prozessbedingten THG-Emissionen haben einen Anteil von 17 % an den Gesamtemissionen. Weitere große Emissionsquellen sind die Methanemissionen aus der Verdauung und die Lachgasemissionen aus dem Futterbau.

Die Untersuchungen zeigen, dass viele, sich überlagernde Einflussfaktoren, die Energieeffizienz und die THG-Emissionen bestimmen. Die Leistungssteigerung ist eine Optimierungsstrategie; sie darf aber nicht zu Lasten der Nutzungsdauer (Zahl der Laktationen, Aufwand für Nachzucht) gehen oder einen extrem hohen Krafftuteraufwand erfordern. In den untersuchten Pilotbetrieben werden die geringsten THG-Emissionen mit $800 \text{ bis } 900 \text{ g CO}_2_{\text{eq (kg ECM)}^{-1}}$ bei Milchleistungen von $5000 \text{ bis } 7000 \text{ kg ECM a}^{-1}$ unter den Bedingungen des ökologischen Landbaus erreicht. Die konventionellen Pilotbetriebe mit Leistungen von $10000 \text{ kg ECM a}^{-1}$ weisen hingegen THG-Emissionen von $900 \text{ bis } 1050 \text{ g CO}_2_{\text{eq (kg ECM)}^{-1}}$ auf. Die Erhöhung der Nutzungsdauer der Milchkühe und die Optimierung der Färsenaufzucht sind weitere wichtige Strategien, um die Emissionen zu senken. Möglicherweise gibt es standortspezifische Leistungsoptima, bei denen die höchste Energieeffizienz und die geringsten THG-Emissionen erreicht werden. Um diese Optima abzuleiten, sind Modellkalkulationen und Sensitivitätsanalysen erforderlich.

Ein großer Teil der landwirtschaftlichen CH_4 -Emissionen in Deutschland stammt aus der enterischen Fermentation von Milchkühen. Die CH_4 -Produktion im Pansen wird durch die Fütterung beeinflusst. Im Verbundprojekt wurden daher die Futterrationen der Milchkühe von jeweils 22 ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben detailliert erfasst und der Einfluss auf die CH_4 -Emissionen untersucht.

Hierzu wurden Betriebsdaten erhoben sowie Futtermittel beprobt und laboranalytisch untersucht (Schulz et al., 2013). Zur Berechnung der enterischen CH₄-Emissionen aus den Jahresrationen der Milchkühe wurden Schätzformeln von Kirchgeßner et al. (1994) sowie Ellis et al. (2007) verwendet. Die produktspezifischen CH₄-Emissionen aus der Verdauung der Milchkühe der ökologischen Betriebe lagen im Mittel höher als die der konventionellen Betriebe. Sie nahmen sowohl bei den ökologischen als auch den konventionellen Betrieben mit steigender Milchleistung bei beiden Berechnungsmethoden ab. Demnach scheint eine moderate Leistungssteigerung eine Möglichkeit zur Reduktion der produktspezifischen CH₄-Emission aus der Verdauung von Milchkühen zu sein.

7.2.2.5 Ergebnisse zum Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die pflanzliche Diversität ökologischer und konventioneller Betriebssysteme

Ergänzend zu den Untersuchungen von Stoff-, Energie- und THG-Flüssen wurden in den Pilotbetrieben erste Untersuchungen zur Biodiversität auf Acker- und Grünlandflächen durchgeführt (Klimek, 2013). Auf Testflächen der ökologisch und konventionell wirtschaftenden Pilotbetriebe fand eine vegetationskundliche Erfassung der Gefäßpflanzen statt. Das Arbeitspaket „Biodiversitätspotenzial“ ist inhaltlich sehr eng mit den anderen Projektarbeiten verbunden; Vorarbeiten und Daten, insbesondere der Erfassung der Bewirtschaftung und des Betriebsmanagements, können gezielt zur Interpretation der Biodiversitätsdaten verwendet werden. Dadurch wird angestrebt, Synergien bei der Zusammenarbeit zu nutzen und die Qualität und Aussagekraft der Ergebnisse des Arbeitspaketes „Biodiversitätspotenzial“ zu erhöhen. Die Ergebnisse zeigen, dass die mittlere Anzahl der Ackerwildkrautarten auf Winterweizenflächen der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe deutlich höher ist als auf den konventionell wirtschaftenden Pilotbetrieben. Diese Unterschiede sind weniger stark für die untersuchten Grünlandflächen ausgeprägt. Obwohl die mittlere Anzahl der Gefäßpflanzenarten auf den Grünlandflächen der ökologisch wirtschaftenden Pilotbetriebe überwiegend höher ist als auf den konventionell wirtschaftenden Pilotbetrieben, deuten die Ergebnisse regionale Unterschiede an. Die Analyse zeigt zudem, dass auf ökologisch bewirtschafteten Getreide- und Grünlandflächen deutlich mehr durch Insekten bestäubte Pflanzenarten nachgewiesen werden konnten.

7.2.3 Nutzung der Ergebnisse in der Betriebsberatung

Ein wesentliches Projektziel ist die Entwicklung praxisanwendbarer Methoden zur Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsberatung. Bisher vorliegende Beratungsinstrumente eignen sich nur für die Bearbeitung einzelner Verfahren oder Verfahrensabschnitte, nicht aber für eine umfassende gesamtbetriebliche Analyse landwirtschaftlicher Betriebssysteme. Ein solch umfassender Ansatz ist aber notwendig, um im Sinne einer klimaschonenden und nachhaltigen Landwirtschaft sinnvolle und machbare Optimierungspotenziale auf Betriebsebene zu identifizieren. Die im Projekt verwendeten wissenschaftlichen Methoden und Modelle eignen sich zur Bewertung von Betriebssystemen hinsichtlich Nachhaltigkeit und Klimaschutz, sie sind aber nicht primär für die Beratung ausgelegt. Die wissenschaftlichen Ergebnisse können aber dazu dienen, neue Beratungsinstrumente zu „eichen“, so dass sie zu vergleichbaren und reproduzierbaren Bewertungen kommen. Auf dieser Basis können fundierte Entwicklungsempfehlungen

aufbauen. Bei der Erarbeitung einer vereinfachten Methode müssen unter anderem die Datenlage auf den Betrieben, der Zeitaufwand sowie die Aussagekräftigkeit der Ergebnisse für die Landwirte berücksichtigt werden.

Zur Entwicklung eines geeigneten Beratungsansatzes sowie von Beratungsinstrumenten wurde zunächst eine Sichtung vorhandener Methoden zur Nachhaltigkeitsbewertung und -beratung auf der Basis einer Literaturrecherche vorgenommen. Die Methoden wurden verglichen und in einem Experten-Workshop bewertet. Im zweiten Schritt wurden die Beratungsziele festgelegt und ein Beratungskonzept entwickelt. Im dritten Schritt wurde dieses Konzept in Betrieben getestet und die Rückmeldungen im Hinblick auf die Weiterentwicklung ausgewertet. Es ist anzumerken, dass das erprobte Beratungskonzept bisher nur begrenzt auf die Daten aus den naturwissenschaftlichen Untersuchungen zurückgreifen kann. Aufgrund der Komplexität des Vorhabens waren die Ableitung vereinfachter Bewertungs- und Analysetools bisher noch nicht zu leisten. Bei der Entwicklung des Konzepts stand deshalb die Suche nach einem geeigneten beratungsmethodischen Ansatz im Mittelpunkt.

Nach Einschätzung der beteiligten Wissenschaftler sind die Themenbereiche Klima und Nachhaltigkeit umfangreich und komplex, so dass im Rahmen des laufenden Forschungsvorhabens nur für ausgewählte Teilbereiche ein einfaches und gleichzeitig aussagekräftiges Bewertungssystem aufgebaut werden kann. Das vorgeschlagene mehrstufige Beratungskonzept ist deshalb eine sinnvolle Lösung, die Basisberatung zur Motivation und Sensibilisierung ein guter Einstieg in das Thema. Ein praxisnahes Bewertungsmodell für die Intensivberatung, das wissenschaftlich hinterlegt ist und mit angemessenem Aufwand und Kosten angeboten werden kann, muss in Zusammenarbeit mit Beratung und Wissenschaft erarbeitet werden.

Dies zeigt auch die Rückmeldung der Landwirte zu den ersten Beratungsprobeläufen: Von beteiligten Landwirten wird die Auseinandersetzung mit den Themen Nachhaltigkeit und Klimaschutz als sehr wichtig beurteilt, um sich damit vertraut zu machen und zu reflektieren, was das für den eigenen Betrieb bedeutet. Es wird eine Bewertung des eigenen Betriebes gewünscht, um sich mit Kollegen vergleichen und die Entwicklung im Laufe der Zeit verfolgen zu können. Außerdem wird ein Angebot von Optimierungsstrategien und Handlungsempfehlungen zu den Einzelbereichen benötigt, da den Landwirten der fachliche Hintergrund und Blick von außen fehlt.

Ein wichtiges Kriterium bei der Entwicklung einer Beratung zur Nachhaltigkeit muss die einfache Anwendbarkeit in der Praxis sein. Gleichzeitig muss die Methodik wissenschaftlich fundiert sein und zu vergleichbaren Ergebnissen kommen wie umfangreichere Untersuchungen, wie sie derzeit bei den Pilotbetrieben gemacht werden. Um dieses Ziel zu erreichen, muss zunächst der wissenschaftliche Hintergrund und Kenntnisstand zu den einzelnen Teilbereichen der Nachhaltigkeit vorliegen und der Einfluss bestimmter betrieblicher Maßnahmen auf diese Indikatoren erforscht sein. Daraus können Empfehlungen abgeleitet werden, wie die Nachhaltigkeit von landwirtschaftlichen Betrieben optimiert werden kann. Neben einer fachlich fundierten Vorgehensweise ist das beratungsmethodische Vorgehen ausschlaggebend dafür, ob beim Betriebsleiter eine Sensibilisierung und Handlungsmotivation erreicht wird.

7.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Der im Netzwerk der Pilotbetriebe gewählte transdisziplinäre Untersuchungsansatz hat sich bewährt. Die aufgebauten Strukturen bieten exzellente Möglichkeiten für Forschungsarbeiten, die auf die bisherigen Untersuchungen aufbauen. Bereits im laufenden Forschungsprojekt gibt es zahlreiche Kooperationen mit anderen Arbeitsgruppen und Projekten, die im weiteren Bearbeitungsverlauf ausgebaut werden können. Hierdurch können Synergieeffekte erzielt werden, beispielsweise durch den Austausch und die effiziente Nutzung von Analysedaten. Mögliche thematische Schwerpunkte sind Untersuchungen zur Biodiversität und zur Ökonomie der Pilotbetriebe, z.B. die Analyse der ökonomischen Wirkungen von Treibhausgasminderungsstrategien auf der Grundlage von Bewirtschaftungsdaten der Pilotbetriebe.

Der besondere Wert der Untersuchungen im Netzwerk der Pilotbetriebe liegt darin, dass konkrete Situationen in landwirtschaftlichen Betrieben (Standortbedingungen, Ertrags- und Leistungsniveau, Futterregime, Haltungsbedingungen etc.) in ihrem Einfluss auf die Klimabilanz erfasst werden, während vorangegangene Studien, auch im Rahmen der nationalen Klimaberichterstattung, überwiegend auf Durchschnittswerten der Literatur und statistischen Angaben, z.B. auf Landkreisebene, basieren. Die Projektergebnisse belegen die große Variabilität der flächen- und produktbezogenen Treibhausgasemissionen der Pilotbetriebe. Auch die Nachhaltigkeitsindikatoren weisen gravierende Unterschiede zwischen den Betrieben aus. Daher können wirksame Optimierungsansätze nicht allgemein, sondern nur betriebs- und standortbezogen abgeleitet werden.

Ausgehend von den Ergebnissen der Pilotbetriebe ist es sinnvoll, regionstypische Modellbetriebe zu konstruieren, um die Wirkung verschiedener Einflussfaktoren (Leistungshöhe, Futterregime, Laktationszahl) auf die produktbezogenen THG-Emissionen – ohne den Einfluss betriebsindividueller Gegebenheiten – analysieren zu können. Dies ist eine wesentliche Ergänzung der einzelbetrieblichen Analysen. Auf diese Weise könnten gesamtbetriebliche und produktspezifische Aussagen (THG-Emissionen je kg Milch) noch besser abgesichert werden. Die Abstraktion vom Einzelbetrieb zum regionstypischen Modellbetrieb kann dazu beitragen, generalisierende Aussagen zu THG-Minderungsstrategien zu treffen.

Während bisher die Ausgangssituation der Betriebe (Strukturen, Produktionsverfahren, Leistungen, Klimawirkungen, Nachhaltigkeit) erfasst wurde, sollte ein Folgeprojekt stärker auf betriebliche Entwicklungsprozesse und die Betriebsoptimierung ausgerichtet werden. Wie verändern sich betriebliche Strukturen, Intensitäten, Produktionsverfahren? Welche Faktoren bestimmen diese Veränderungen? Welche Klima- und Umweltwirkungen ergeben sich daraus? Als eine zentrale Frage sollte untersucht werden, wie die bisher gewonnenen Daten, Analysemethoden und Modelle betriebliche Entwicklungsprozesse wirksam unterstützen können. In welcher Form sind die Informationen für Betriebsleiter sinnvoll und relevant? Wie sind sie im Sinne eines Nachhaltigkeitsmanagements und einer Klimaschutzberatung nutzbar?

Als neuer thematischer Schwerpunkt eines Folgeprojektes ist die Ressourceneffizienz vorgesehen. Die im Monitoringprogramm der Pilotbetriebe erfassten Daten sind hervorragend geeignet, standort- und bewirtschaftungsspezifische Aussagen zur Effizienz der eingesetzten Ressourcen (Boden, Wasser, Energie, Nährstoffe) zu treffen. Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist eines der wichtigsten Themen der Agrarforschung der nächsten Jahrzehnte, das ökologische und konventionelle Betriebssysteme gleichermaßen betrifft. Angesichts knapper Ressourcen, dem wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln und Biomasse sowie der zu erwartenden negativen Effekte des Klimawandels kommt der Steige-

zung der Stoff- und Energieeffizienz zentrale Bedeutung zu (Godfray et al., 2010). Zur Steigerung der Ressourceneffizienz wird vielfach eine Intensivierung der Produktion gefordert, die allerdings den Tier-, Boden- und Klimaschutz sowie Nachhaltigkeitsaspekte ausreichend berücksichtigen muss (Brinkmann et al., 2011; Tilman et al., 2002; Banwart, 2011). Als zentrale Untersuchungsfrage soll analysiert werden, welchen Einfluss das betriebliche Intensitätsniveau, das betriebliche Management sowie die Art des Betriebssystems auf die Ressourceneffizienz hat. Hierbei wäre zu untersuchen, ob sich die Ressourceneffizienz im ökologischen Landbau (basierend auf vielfältigen Fruchtfolgen, symbiontischer N₂-Fixierung, dem Aufbau von Bodenfruchtbarkeit, der Nutzung von Stoffkreisläufen und Ökosystemleistungen) systembedingt von der im konventionellen Landbau (basierend auf hohen Stoff- und Energieinputs durch Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Futtermittelzukauf etc.) unterscheidet bzw. welche Optionen zur Effizienzsteigerung auf betrieblicher Ebene bestehen und ob dadurch andere Nachhaltigkeitsparameter der Pflanzen- und Tierproduktion verändert werden.

7.4 Literatur

Badgley C, Moghtader J, Quintero E, Zakem E, Chappell MJ, Avilés-Vázquez K, Samulon A, Perfecto I (2007) Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22:86-108

Blank B, Schaub D, Paulsen HM, Rahmann G (2013) Vergleich von Leistungs- und Fütterungsparametern in ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben in Deutschland. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 63:21-28

Brinkmann J, March S, Barth K, Becker M, Drerup C, Isselstein J, Klocke D, Krömker V, Mersch F, Müller J, Rauch P, Schumacher U, Spiekers H, Tichter A, Volling O, Weiler M, Weiß M, Winckler C (2011) Status quo der Tiergesundheitssituation in der ökologischen Milchviehhaltung in Deutschland - Ergebnisse einer repräsentativen bundesweiten Felderhebung. 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Gießen, 15.-18. März 2011. 2:162-169

Brock C, Franko U, Oberholzer H-R, Kuka K, Leithold G, Kolbe H, Reinhold J (2013a) Humus balancing in Central Europe – concepts, state of the art, and further challenges. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176:3-11

Brock C, Oberholzer H-R, Schwarz J, Fließbach A, Hülsbergen K-J, Koch W, Pallutt B, Reinicke F, Leithold G (2013b) Soil organic matter balances in organic versus conventional farming – modelling in field experiments and regional upscaling for cropland in Germany. *Org. Agr.* 2:185-195

Ellis JL, Kebreab E, Odongo NE, McBride BW, Okine EK, France J (2007) Prediction of methane production from dairy and beef cattle. *J Dairy Sci* 90:3456-3466

Frank H, Schmid H, Hülsbergen K-J (2013) Energie- und Treibhausgasbilanz milchviehhaltender Landwirtschaftsbetriebe in Süd- und Westdeutschland. *Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben*

- Gattinger A, Muller A, Haeni M, Skinner C, Fliessbach A, Buchmann N, Mäder P, Stolze M, Smith P, El-Hage Scialabba N, Niggli U** (2012) Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. PNAS 109:18226-18231
- Godfray HC, Beddington JR, Crute IR, Haddad L, Lawrence D, Muir JF, Pretty J, Robinson S, Thomas SM, Toulmin C** (2010) Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Science 327:812-818
- Halberg N, Verschuur G, Goodlass G** (2005) Farm level environmental indicators; are they useful? An overview of green accounting systems for European farms. Agriculture, Ecosystems and Environment 105:195-212
- Höhne E, Rücknagel J, Christen O** (2013) Bewertung der Bodenstruktur mit Indikatoren der visuellen Gefügeansprache. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben
- Hülsbergen K-J** (2003) Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag Aachen
- IPCC** (1997) Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Intergovernmental Panel on Climate Change, Paris
- Kirchgeßner M, Windisch W, Müller HL** (1994) Methane release from dairy cows and pigs. In: Aguilera JF (ed.) Proc. 13th Symposium on Energy Metabolism of Farm Animals 399-402; EAAP Publ. 76, Spain
- Klimek S** (2013) Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die pflanzliche Diversität unterschiedlicher Betriebssysteme (Biodiversitätspotenzial). Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben
- Kristensen ES, Halberg N** (1997) A systems approach for assessing sustainability in livestock farms. EAAP Publication no. 89:16-29
- Kristensen T, Hermansen JE** (2002) Concept for farming systems research. DIAS. The Lithuanian Dairy Farms Demonstration Project. 1-15
- KTBL** (2007) Bewertung Ökologischer Betriebssysteme. Bodenfruchtbarkeit, Stoffkreisläufe, Biodiversität. KTBL Schrift 458
- Küstermann B, Kainz M, Hülsbergen K-J** (2008) Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. Renewable Agriculture and Food Systems 23:38-52
- Küstermann B, Munch JC, Hülsbergen K-J** (2013) Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. Europ. J. Agronomy 49:61-73

Langeveld JWA, van Keulen H, de Haan JJ, Kroonen-Backbier BMA, Oenema J (2005) The nucleus and pilot farm research approach: experiences from The Netherlands. *Agricultural Systems* 84:227-252

Lind P, Neuhoff D, Köpke U (2013a) Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf Ertrag und Qualität von Luzerne-Klee gras und Dauergrünland sowie pflanzenbauliche Strategien klimaneutraler Produktivitätssteigerung. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Lind P, Rudolf H, Neuhoff D, Köpke U (2013b) Einfluss von Standortfaktoren und Bewirtschaftung auf Ertrag und Qualität von Winterweizen sowie pflanzenbauliche Strategien klimaneutraler Produktivitätssteigerung. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Niggli U (2002) Forschung als Triebfeder für die zukünftige Entwicklung des ökologischen Landbaus. *Ökologie & Landbau* 123, 3/2002:9-12

Paulsen HM, Blank B, Schaub D, Aulrich K, Rahmann G (2013) Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 63:29-36

Refsgaard K, Halberg N, Kristensen ES (1998) Energy Utilization in Crop and Dairy Production in Organic and Conventional Livestock Production Systems. *Agricultural Systems* 57:599-630

Schaub D, Rösemann C, Frank H, Paulsen HM, Blank B, Hülsbergen KJ, Rahmann G (2013) Treibhausgasemissionen von Milchviehbetrieben - Berechnung ausgewählter Teilbereiche mit den Modellen REPRO und GAS-EM unter besonderer Berücksichtigung der Fütterungsmodellierung. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Schmid H, Braun M, Hülsbergen K-J (2013) Treibhausgasbilanzen und ökologische Nachhaltigkeit der Pflanzenproduktion – Ergebnisse aus dem Netzwerk der Pilotbetriebe. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Schulz F, Warnecke S, Paulsen HM, Rahmann G (2013) Unterschiede der Fütterung ökologischer und konventioneller Betriebe und deren Einfluss auf die Methan-Emission aus der Verdauung von Milchkühen. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA (2013) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, doi: 10.1038/nature11069

Tuomisto HL, Hodge ID, Riordan P, Macdonald DW (2012) Comparing energy balances, greenhouse gas balances and biodiversity impacts of contrasting farming systems with alternative land uses. *Agricultural Systems* 108:42-49

Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A (2011) Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal* 6:154-166