

Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten

**– Untersuchungen in einem Netzwerk von
Pilotbetrieben**

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid, Hans Marten Paulsen (Hrsg.)

Thünen Report 92

Bibliografische Information:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikationen in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information:
The Deutsche Nationalbibliothek (German National Library) lists this publication in the German National Bibliography; detailed bibliographic data is available on the Internet at www.dnb.de

Bereits in dieser Reihe erschienene Bände finden Sie im Internet unter www.thuenen.de

Volumes already published in this series are available on the Internet at www.thuenen.de

Zitationsvorschlag – Suggested source citation:
Hülsbergen K-J, Schmid H, Paulsen HM (Hrsg.) (2022) Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 540 p, Thünen Rep 92, DOI:10.3220/REP1646034190000

Die Verantwortung für die Inhalte liegt bei den jeweiligen Verfassern bzw. Verfasserinnen.

The respective authors are responsible for the content of their publications.



THÜNEN

Thünen Report 92

Herausgeber/Redaktionsanschrift – Editor/address

Johann Heinrich von Thünen-Institut
Bundesallee 50
38116 Braunschweig
Germany

thuenen-report@thuenen.de
www.thuenen.de

ISSN 2196-2324

ISBN 978-3-86576-236-8

DOI: 10.3220/REP1646034190000

urn:nbn:de:gbv:253-202203-dn064672-4

Steigerung der Ressourceneffizienz durch gesamtbetriebliche Optimierung der Pflanzen- und Milchproduktion unter Einbindung von Tierwohlaspekten

**– Untersuchungen in einem Netzwerk von
Pilotbetrieben**

Kurt-Jürgen Hülsbergen, Harald Schmid, Hans Marten Paulsen (Hrsg.)

Thünen Report 92

Prof. Dr. Kurt-Jürgen Hülsbergen (Hrsg.)

Harald Schmid (Hrsg.)

Technische Universität München

Alte Akademie 12

85350 Freising-Weihenstephan

E-Mail: sekretariat.oekolandbau@wzw.tum.de

Dr. Hans Marten Paulsen (Hrsg.)

Thünen-Institut für Ökologischen Landbau

Trenthorst 32

23847 Westerau

E-Mail: hans.paulsen@thuenen.de

Thünen Report 92

Weihenstephan, Trenthorst/Germany, Februar 2022

2 Problemstellung, Forschungsbedarf und Projektziele

Harald Schmid, Hans Marten Paulsen, Kurt-Jürgen Hülsbergen

2.1 Projektphasen und Forschungsschwerpunkte

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 Nord-, West-, Ost- und Süddeutschlands sind 40 ökologische und 40 konventionelle landwirtschaftliche Betriebe nach definierten Kriterien ausgewählt worden. Sie repräsentieren unterschiedliche Betriebstypen, Intensitätsniveaus und Standortbedingungen. In diesen Pilotbetrieben wurden mehrjährig Betriebsdaten erfasst und mit Modellen umfassend ausgewertet sowie leistungsfähige Monitoringsysteme mit georeferenzierten Testflächen eingerichtet.

Forschungsarbeiten und Forschungsergebnisse in Projektphase 1 (2008 bis 2013)

Von 2008 bis 2013 wurden in den Pilotbetrieben zwei aktuelle Forschungsthemen bearbeitet:

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

Die Projektergebnisse sind in drei Zwischenberichten, in zahlreichen Publikationen und Tagungsbeiträgen (z. B. Blank et al., 2013; Frank et al., 2013; Höhne et al., 2011; Kassow et al., 2010; Kassow et al., 2011; Peter et al., 2011; Paulsen et al., 2013) sowie in einem Forschungsbericht (Thünen-Report 8, Hülsbergen und Rahmann, 2013) veröffentlicht worden.

Forschungsarbeiten und Forschungsergebnisse in Projektphase 2 (2013 bis 2014)

Die Forschungsarbeiten knüpften direkt an die vorangegangenen Analysen an und basierten auf dem gleichen methodischen Ansatz sowie den gleichen Pilotbetrieben. Allerdings wurde die Datenbasis durch die Aufnahme weiterer Untersuchungsjahre und die Komplettierung der Datensätze wesentlich erweitert, wodurch die Aussagekraft gegenüber den vorherigen Auswertungen stieg. Damit wurde es möglich, nicht nur die Ausgangssituation zu analysieren, sondern auch Entwicklungsprozesse auf Betriebsebene hinsichtlich ihrer Klima- und Nachhaltigkeitswirkungen zu bewerten.

Bei den 2013 begonnenen Untersuchungen zum Tierwohl und zur Ressourceneffizienz ging es darum, für das Netzwerk der Pilotbetriebe geeignete Methoden auszuwählen, diese Methoden testweise anzuwenden bzw. für die Anwendung in den Pilotbetrieben anzupassen. Die Forschungsansätze kamen in ausgewählten Pilotbetrieben zum Einsatz, um den Datenbedarf, den Erfassungs- und Analyseaufwand zu bestimmen sowie Schlussfolgerungen zur Übertragbarkeit auf alle Pilotbetriebe zu ziehen.

Die Projektergebnisse wurden in einem Zwischenbericht und einem Forschungsbericht (Thünen-Report 29, Hülsbergen und Rahmann, 2015) veröffentlicht.

Forschungsarbeiten und Forschungsergebnisse in Projektphase 3 (2014 bis 2021)

Aufbauend auf den umfangreichen Forschungsarbeiten in den Projektphasen 1 und 2 wurden in Projektphase 3 folgende Forschungsschwerpunkte bearbeitet:

- Analyse der Effizienz der eingesetzten Ressourcen (Nährstoffe, Energie, Boden) im Pflanzenbau, der Milchviehhaltung und auf gesamtbetrieblicher Ebene unter den Bedingungen des ökologischen und konventionellen Landbaus in Abhängigkeit von Standort, Betriebssystem, Produktionsintensität und Management,
- Ableitung von Möglichkeiten der Effizienzsteigerung durch nachhaltige Intensivierung und betriebliche Optimierung; Prüfung acker- und pflanzenbaulicher Strategien der Effizienzsteigerung und Treibhausgasminderung,
- Analyse von Wechselwirkungen zwischen Haltungsbedingungen, Tierwohl, Tierarzneimittelnutzung, Umweltparametern und Ressourceneffizienz in der Milchviehhaltung; Prüfung von Strategien der Effizienzsteigerung in der Milchviehhaltung,
- Fortsetzung der Untersuchungen zu Treibhausgasemissionen des Pflanzenbaus und der Milchviehhaltung, um einen langjährigen Datensatz zu gewinnen und bewirtschaftungsbedingte Veränderungen der THG-Flüsse aufzuzeigen,
- ökonomische Bewertung von Optimierungsansätzen und Strategien der Effizienzsteigerung und Treibhausgasminderung,
- Entwicklung und Praxiserprobung von Beratungsmethoden und Beratungsinstrumenten zur nachhaltigen Effizienzsteigerung und Treibhausgasminderung.

Das Projekt war in zwei Module gegliedert:

- Modul I – Erarbeitung wissenschaftlicher Grundlagen und Methoden zur Analyse und Bewertung der Ressourceneffizienz und des Tierwohls sowie Praxiserprobung im Netzwerk der Pilotbetriebe (mit drei Arbeitspaketen) und
- Modul II – Entwicklung und Praxiserprobung von Beratungsmodulen zur nachhaltigen Effizienzsteigerung unter Einbindung von Tierwohlaspekten und ökonomische Wirkungen (mit vier Arbeitspaketen).

2.2 Aufbau eines deutschlandweiten Netzwerks von Pilotbetrieben

Ein wesentliches Projektziel bestand darin, mit dem Netzwerk von Pilotbetrieben optimale Voraussetzungen und Strukturen für langfristige, systemare Forschungsarbeiten zu schaffen. Zu Projektbeginn wurden 80 Pilotbetriebe nach genau definierten Kriterien ausgewählt (siehe Kapitel 3 Methodischer Ansatz). Um ein breites Spektrum an Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen zu erfassen, wurden vier Projektregionen gebildet:

- Region Süd: Tertiärhügelland Bayerns (Marktfrucht- und Milchviehbetriebe) und Allgäu (Milchviehbetriebe),
- Region West: Niederrheinische Bucht (Marktfrucht- und Milchviehbetriebe) und Grünland dominierte Mittelgebirgsstandorte (Milchviehbetriebe),
- Region Nord: niederschlagsreiche und niederschlagsarme Diluvialstandorte der Nord- und Ostsee-Küstenregionen (jeweils Marktfrucht- und Milchviehbetriebe),
- Region Ost: Lößstandorte des mitteldeutschen Trockengebiets (Marktfruchtbetriebe) und Diluvialstandorte der Altmark und des Spreewalds (Marktfrucht- und Milchviehbetriebe).

Das in Projektphase 1 etablierte Netzwerk der Pilotbetriebe wurde auch in Projektphase 2 und Projektphase 3 aufrechterhalten. Das Projekt wurde über den gesamten Untersuchungszeitraum so gestaltet, dass die Betriebsleiter und die Betriebsberater aktiv an dem Gesamtvorhaben teilnehmen konnten. Hierzu dienten zahlreiche Betriebsbesuche mit intensiven Diskussionen, die durchgeführten Betriebsleiterinterviews, die betriebsindividuelle Aufbereitung und Erläuterung der Projektergebnisse, die jährlich veranstalteten Regional-Workshops. In Projektphase 3 fand eine intensive Zusammenarbeit mit den Landwirten in den Optimierungs-Workshops statt.

Besonders hervorzuheben ist die Kontinuität der Untersuchungen im Netzwerk der Pilotbetriebe:

- Die Pilotbetriebe haben sich über die gesamte Projektlaufzeit an dem Vorhaben beteiligt.
- Das umfangreiche Datenerhebungsprogramm wurde in den Pilotbetrieben nach abgestimmten Methoden in hoher Qualität realisiert.

Der Daten- und Informationsaustausch im Projekt wurde über Datenbanken realisiert. In Projektphase 1 wurde hierzu die zentrale „Datendrehscheibe“ NutriWeb verwendet (Hülsbergen und Rahmann, 2013). Ab Projektphase 2 wurden Daten in einer projekteigenen Datenbank erfasst (siehe Kapitel 3.3 Kommunikationsstruktur). Die Datenerfassung in den Betrieben erfolgte nach einheitlichen Vorgaben durch verschiedene Bearbeiter, in Projektphase 1 und 2 überwiegend durch die Biolandberatung, in Projektphase 3 überwiegend durch das Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft (IfÖL). Landwirte und Berater konnten die Projektergebnisse für einzelbetriebliche Auswertungen nutzen.

2.3 Wissenschaftliche Ziele zur Analyse und Bewertung von Klimawirkungen

In Projektphase 3 wurden die in Projektphase 1 und 2 durchgeführten Untersuchungen zu Klimawirkungen des Pflanzenbaus und der Milchviehhaltung fortgesetzt.

Die Milchviehhaltung ist national und global ein bedeutender Verursacher von Treibhausgas (THG)-Emissionen (FAO, 2006; UBA, 2019) und steht wegen der stoffwechselbedingten Methanemissionen im Fokus der gesellschaftlichen Diskussion über die Klimawirkungen der Nutztierhaltung (Deutscher Bundestag, 2016). Es gibt zahlreiche wissenschaftliche Studien, in denen THG-Flüsse der Milchviehhaltung analysiert und Maßnahmen zur THG-Minderung geprüft werden (Thomassen et al., 2008; FAO, 2010; Bell et al., 2011; Hörtenhuber et al., 2011; Vellinga et al., 2011; Zehetmeier et al., 2012; Grandl et al., 2019). Oftmals waren die Untersuchungen auf die Methanemissionen in Abhängigkeit von Fütterung und Milchleistung fokussiert (Kirchgeßner et al., 1991; Jentsch et al., 2007), nur wenige wissenschaftliche Arbeiten haben den Anspruch, alle relevanten THG-Flüsse der Milchviehhaltung zu quantifizieren.

Bei der Analyse von THG-Emissionen ist der Untersuchungsgegenstand „Landwirtschaftlicher Betrieb“ von herausragender Bedeutung. Wenngleich es umfassende Untersuchungen zu Teilprozessen von THG-Emissionen in der Landwirtschaft gibt, so fehlen doch ganzheitliche betriebliche Analysen. Fast immer werden pflanzliche oder tierische Produktionssysteme isoliert betrachtet, beispielsweise bei produktbezogenen Carbon Footprints (Produktökobilanzen) – ohne Berücksichtigung der innerbetrieblichen Interaktionen. Dies kann zu Fehlbewertungen führen. THG-Minderungsstrategien sollten nicht nur auf Einzelmaßnahmen, sondern auf gesamtbetriebliche Optimierungen der Stoffkreisläufe und Energieflüsse ausgerichtet werden. Die Untersuchung von Stoffkreisläufen unter Verwendung von Modellen bietet daher viele Ansatzpunkte, die Ursachen von THG-Emissionen aufzuklären und Maßnahmen zur Emissionsminderung abzuleiten.

Auf der Basis von Betriebsdaten wurde in den Pilotbetrieben eine Systembewertung der Klimawirkungen vorgenommen, die alle relevanten Treibhausgasflüsse einschließt. Gegenüber bisherigen Arbeiten¹, die nur Teilsysteme und ausgewählte Stoffströme berücksichtigen oder auf Literaturdaten beruhen, wurde damit eine neue Qualität und Bearbeitungstiefe angestrebt. Im Netzwerk der Pilotbetriebe war es möglich, konkrete Situationen in ökologischen und konventionellen landwirtschaftlichen Betrieben (Standortbedingungen, Ertrags- und Leistungsniveau, Futterregime, Haltungsbedingungen etc.) in ihrem Einfluss auf die Klimabilanz zu analysieren, während vorangegangene Studien, auch im Rahmen der Klimaberichterstattung, überwiegend auf Durchschnittswerten der Literatur und stark vereinfachenden Annahmen basieren. Die Projektergebnisse (siehe Kapitel 4.1 Analyse der ökologischen Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz mit Stoff-, Energie- und Treibhausgasbilanzen und Kapitel 4.3 Energie- und Treibhausgasbilanzen der Milchviehhaltung) belegen die große Variabilität der flächen- und produktbezogenen Treibhausgasemissionen der Pilotbetriebe.

2.4 Wissenschaftliche Ziele zur Analyse und Bewertung der Ressourceneffizienz

Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist ein vorrangiges Ziel der Agrarforschung der nächsten Jahrzehnte, das ökologische und konventionelle Betriebssysteme gleichermaßen betrifft. Angesichts knapper Ressourcen, dem wachsenden Bedarf an Nahrungsmitteln sowie der zu erwartenden negativen Effekte des Klimawandels kommt der Steigerung der Stoff- und Energieeffizienz zentrale Bedeutung zu (Godfray et al., 2010). Zur Erhöhung der Ressourceneffizienz wird vielfach eine Intensivierung der Produktion gefordert, die allerdings den Boden-, Klima- und Tierschutz sowie Nachhaltigkeitsaspekte ausreichend berücksichtigen muss (Tilman et al., 2002; Banwart, 2011); hierfür steht der Begriff „*sustainable intensification*“ (The Royal Society, 2009; Foley et al., 2011; Leopoldina, 2012).

¹ Es gibt inzwischen mehrere internationale Publikationen, die eine Systembewertung der Milchviehhaltung vornehmen (z. B. FAO, 2006 und 2010). Gegenüber früheren Arbeiten haben sie den Anspruch, im Rahmen einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment) alle relevanten Treibhausgasflüsse einschließlich der Emissionen durch Landnutzungsänderungen einzubeziehen. Sie geben einen Überblick über die globalen Bedingungen, über Einflussfaktoren und Optimierungsansätze. Sie können aber nicht im Detail die Situation bodenklimatischer Regionen sowie ökologischer und konventioneller Betriebe beschreiben; hierzu fehlt die Datenbasis.

Effizienz ist allgemein das Verhältnis zwischen einem definierten Nutzen und dem Aufwand, der zu dessen Erreichung notwendig ist. Bezogen auf landwirtschaftliche Systeme ist der Nutzen ein landwirtschaftliches Produkt (Weizen, Milch, Fleisch, ...), der Aufwand umfasst den Einsatz begrenzter Ressourcen (Energie, Nährstoffe, Wasser, Boden, ...). Wichtige Effizienzindikatoren zur Analyse landwirtschaftlicher Systeme sind:

- die Energieeffizienz (Hülsbergen et al., 2001, Leopoldina, 2012),
- die Stickstoffeffizienz (Küstermann et al., 2010),
- die Wassernutzungseffizienz (Schittenhelm, 2011),
- die Landnutzungseffizienz (Tuomisto et al., 2012; Lin et al., 2017; Bryzinski, 2020).

Die Erträge und Leistungen im Pflanzenbau und in der Tierhaltung haben besondere Bedeutung für die Ressourceneffizienz. Alle o. g. Effizienzparameter – die Energie-, die Stickstoff-, die Wassernutzungs- und Landnutzungseffizienz – werden maßgeblich durch die Ertragsleistungen bestimmt. Die Ertragsrelation zwischen ökologischen und konventionellen Systemen rücken zunehmend in den Fokus wissenschaftlicher Untersuchungen (Badgley et al., 2006; Seufert et al., 2012). Damit direkt im Zusammenhang stehen der Flächenbedarf zur Erzeugung einer bestimmten Produktmenge sowie die sich daraus (zumindest theoretisch) ergebende Fläche für alternative Nutzungen, z. B. Fläche für den Naturschutz oder die Bioenergieerzeugung (Tuomisto et al., 2012).

Die Ressourceneffizienz landwirtschaftlicher Betriebssysteme ist unter deutschen Produktionsbedingungen nur unzureichend untersucht. Aktuelle Entwicklungen in der Landwirtschaft (Spezialisierung, Intensivierung, Bioenergieerzeugung, ...) können in ihrem Einfluss auf die Stoff-, Energie- und Nährstoffeffizienz nicht sicher beurteilt werden; hierzu fehlten bisher auch die methodischen Grundlagen. Die Effekte differenzierter Standortpotenziale, unterschiedlicher Produktionsintensitäten, aber auch Wirkungen der Betriebsstrukturen und Anbauverfahren auf die Effizienz der eingesetzten Ressourcen sind nicht systematisch analysiert. Es ist weitgehend unklar, wie sich die Ressourceneffizienz im ökologischen Landbau (überwiegend Low-Input-Systeme mit artenreichen Fruchtfolgen, N₂-Fixierung, Aufbau von Bodenfruchtbarkeit, betrieblichen Stoffkreisläufen, gezielter Nutzung von Ökosystemleistungen) von der im konventionellen Landbau (überwiegend High-Input-Systeme mit Stoff- und Energieinputs durch Dünge- und Pflanzenschutzmittel, Futtermittelzukauf) unterscheidet und welche Optionen zur Effizienzsteigerung auf betrieblicher Ebene bestehen.

2.5 Wissenschaftliche Ziele zur Analyse und Bewertung der Haltungsbedingungen, des Medikamenteneinsatzes und des Tierwohls in der Milchviehhaltung

Bei Nachhaltigkeits- und Effizienzanalysen der Tierhaltung sind zusätzlich die Haltungsbedingungen, die Tiergesundheit, die Tiergerechtigkeit und die Tierwohlaspekte von großer Relevanz (Sanders und Heß, 2019). Nach Auffassung der Deutschen Agrarforschungsallianz wird die weltweite Verschärfung der Ressourcenknappheit bei steigender Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft den Trend zur Intensivierung verstärken. Andererseits werden die Haltungsbedingungen und der Tierarzneimittelsatz intensiver Tierproduktionssysteme von einem Großteil der deutschen Bevölkerung kritisch gesehen. Um

den Dauerkonflikt um die Nutztierhaltung zu lösen, sind große Anstrengungen in der Forschung notwendig, u. a. die Entwicklung praxistauglicher Indikatorensysteme, mit denen der Zustand der Nutztierhaltung parametrisiert und beschrieben sowie Verbesserungen nachgewiesen werden können (DAFA, 2012).

Für eine wissenschaftliche Gesamtbewertung des Wohlbefindens landwirtschaftlicher Nutztiere sind die *Welfare Quality*® Protokolle entwickelt worden, die als bester verfügbarer Standard in der Wissenschaft gelten. Wichtige Indikatoren für die Beurteilung des Tierwohls bei Milchkühen, die auch Bestandteil des *Welfare Quality*® *assessment protocol for cattle* (Welfare Quality® 2009) sind, sind die Bereiche

- Eutergesundheit: Anteil Kühe mit Schmutz an Euter, Hinterbeinen, Bauch (Faye und Barnouin, 1985; Leach et al., 2009a),
- Stoffwechselgesundheit: Anteil über- und unterkonditionierter Kühe (Metzner et al., 1993; Leach et al., 2009b) und Anteil Kühe mit zu dünnem Kot (Canali et al., 2009),
- Allgemeingesundheit: Anteil Kühe mit Nasen-, Augen-, Vulvaausfluss, mit erhöhter Respirationsrate (Canali et al., 2009),
- Klauen-/Gliedermaßengesundheit: Anteil klinisch und hochgradig lahmer Kühe (Leach et al., 2009c; Winckler und Willen, 2001), mit Karpus- und Tarsusveränderungen (Schulze Westerath et al., 2009),
- Verletzungen: Anteil Kühe mit Integumentschäden an Flanke, Hinterbein und Schulter/ Nacken/ Rücken (Schulze Westerath et al., 2009),
- Verhalten: positive Ausstrahlung der Herde (*Qualitative Behaviour Assessment*) (Wemelsfelder et al., 2009), Mensch-Tier-Beziehung (Ausweichdistanz am Fressgitter) (Windschnurer et al., 2009), Liegeverhalten (Dauer der Abliegevorgänge) (Brörkens et al., 2009), Sozialverhalten (Anzahl agonistischer Verhaltensweisen je Kuh und Stunde) (Laister et al., 2009).

Bisher ist weitgehend unklar, ob es systembedingte Unterschiede zwischen ökologisch und konventionell wirtschaftenden Pilotbetrieben in Hinblick auf das Tierwohl und den Einsatz von Tierarzneimitteln gibt (vgl. Sanders und Heß, 2019). Eine Verknüpfung von Tierwohlindikatoren und anderen Indikatoren der Nachhaltigkeit wie der Ressourceneffizienz wurde in der Wissenschaft bislang nicht systematisch vorgenommen; auch hier fehlt es bislang teilweise an methodischen Grundlagen.

2.6 Gesamtbetriebliche Optimierung von Ressourceneffizienz und Tierwohl unter Einbindung ökonomischer Aspekte

Bei der Umsetzung betrieblicher Entwicklungs- und Optimierungsstrategien sind deren ökonomische Effekte oftmals ausschlaggebend. Wenn beispielsweise zwei unterschiedliche Maßnahmen zur Verfügung stehen, die sich hinsichtlich der Ressourceneffizienz nicht wesentlich voneinander unterscheiden, würde vermutlich die Maßnahme mit den geringeren Kosten bzw. höheren Erlösen bevorzugt werden. Deshalb ist es wichtig, eine stoffliche Effizienzbewertung um eine ökonomische Analyse und um Analysen des Tierwohls zu ergänzen. Um eine stärkere Verbreitung ressourceneffizienter Bewirtschaftungsmaßnahmen in der landwirtschaftlichen Praxis zu erreichen, kommt es darauf an, dass die Politik geeignete Anreizsysteme implementiert. Ohne eine agrarpolitische Lenkung ist unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen nicht davon auszugehen, dass es zu einer weiteren nennenswerten Verbreitung ressourceneffizienter Maßnahmen kommt bzw. es zu lange dauert, bis neue effizientere Techniken in die Praxis

umgesetzt werden (OECD, 2012). Grundsätzlich gilt, dass ein finanzieller Förderschwerpunkt auf Maßnahmen gelegt werden sollte, die zur größten Ressourceneinsparung und zu den geringsten Kosten führen und die zugleich umwelt- und tiergerecht sind. Dies müssen nicht zwangsläufig die Maßnahmen sein, die sich durch die höchste stoffliche Ressourceneffizienz auszeichnen.

Das Netzwerk der Pilotbetriebe bietet die Möglichkeit, ausgehend von den vorangegangenen Arbeiten und verfügbaren Daten sowie den Modellergebnissen zu Stoff- und Energieflüssen auf Betriebsebene, Untersuchungen zur Ressourceneffizienz und zum Tierwohl durchzuführen und ausgewählte Strategien der Effizienzsteigerung zu prüfen. Die neuen Fragestellungen der Ressourceneffizienz und der Rolle des Tierwohls im Kontext der Umweltwirkungen von landwirtschaftlichen Systemen knüpfen direkt an die bisherigen Arbeiten zur ökologischen Nachhaltigkeit und zu Treibhausgasemissionen an. Damit wird die Kontinuität des Forschungsprozesses realisiert.

Der innovative Charakter des Projektes ergibt sich aus der Neuentwicklung wissenschaftlicher Methoden und praxisanwendbarer Beratungsinstrumente sowie deren umfassender Anwendung in einer großen Zahl unterschiedlich strukturierter Betriebe. Untersuchungsschwerpunkte sind:

- die Entwicklung neuer Methoden, Indikatoren und Bewertungsansätze zur Analyse und Beurteilung der Ressourceneffizienz auf Betriebszweigebe und gesamtbetrieblicher Ebene,
- die Erarbeitung und Praxiserprobung von Beratungsmethoden und Beratungstools zur Effizienzsteigerung,
- die Ableitung und Praxiserprobung acker- und pflanzenbaulicher Strategien der nachhaltigen Effizienzsteigerung,
- die Verknüpfung von Ergebnissen der Beurteilung des Tierwohls, zum Tierarzneimiteleinsatz und zur Produktivität mit den gesamtbetrieblichen bzw. produktbezogenen Umweltwirkungen – daraus die Ableitung von nachhaltigen Optimierungsstrategien in der Milchviehhaltung (z. B. Synergieeffekte einer Verbesserung des Fütterungsregimes, der Haltungsbedingungen und der Umweltwirkungen in Bezug auf Tierwohl und Produktivität),
- die ökonomische Bewertung der innerbetrieblichen Ressourceneffizienz und Analyse der ökonomischen Vorzüglichkeit verschiedener Bewirtschaftungsstrategien.

2.7 Entwicklung und Praxiserprobung von Beratungsmodulen zur nachhaltigen Effizienzsteigerung unter Einbindung von Tierwohlaspekten

In der Projektphase 3 bestand ein vorrangiges Projektziel darin, neue Beratungstools zur Energieeffizienz- und Klimaschutzberatung im Pflanzenbau sowie zu Haltungsbedingungen und Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung zu entwickeln und in den Pilotbetrieben zu erproben. Die neuen Beratungsinstrumente sollen auf den wissenschaftlichen Methoden und Modellen aufbauen, die im Netzwerk der Pilotbetriebe zur Anwendung kommen – insbesondere auf dem Modell REPRO und dem Welfare Quality Protocol®. Die Erfahrungen aus der Datenerfassung, Modellierung und dem Ergebnistransfer sollten in die Entwicklung der Praxis-Tools einfließen.

Die Entwicklungsarbeiten wurden in vollem Umfang realisiert. Es wurde das Excel-basierte Beratungswerkzeug HUNTER (Humus-, Nährstoff-, Treibhausgas- und Energiebilanz-Rechner) erarbeitet. HUNTER basiert auf REPRO-Algorithmen und Koeffizienten sowie Modellrechnungen in den Pilotbetrieben.

Die Methoden in HUNTER wurden gegenüber dem wissenschaftlichen Modell REPRO für die Anwendung in der praktischen Beratung landwirtschaftlicher Betriebe angepasst. Ziel war es dabei, Beratern und Landwirten ein möglichst einfaches, aber dennoch aussagefähiges Werkzeug zur eigenständigen Analyse und Ermittlung wichtiger Nachhaltigkeitskriterien ihrer landwirtschaftlichen Betriebe bereitzustellen. Das Modell und die Ergebnisse der Modellerprobung sind in Kapitel 4.2 Energie-, Klimaschutz und Nachhaltigkeitsberatung im Pflanzenbau – das Beratungstool HUNTER beschrieben.

Um das Tierwohl stärker in der betrieblichen Beratung zu berücksichtigen wurde das „Tierwohl-Tool Milchvieh“ (TWT) entwickelt. Dieses Beratungsinstrument ist ein einfach anzuwendendes Excel-Tool, das von Beratern, aber auch den Landwirten selbst eingesetzt werden kann. Der Landwirt kann damit die Bewertung des Tierwohls der Milchkühe eigenständig durchführen. Basierend auf den Erhebungen und Erfahrungen im Netzwerk Pilotbetriebe bei der Erfassung nach dem Welfare Quality Protocol® wurden für das TWT 13 Indikatoren aus den drei Bereichen Tierbeobachtung, Haltung und Management sowie Milchleistungsprüfung festgelegt. Nach der Erfassung der Tierwohlintikatoren vor Ort auf dem landwirtschaftlichen Betrieb erfolgt eine Bewertung der einzelnen Indikatoren in Tabellenform sowie in einem Netzdiagramm. Abschließend findet ein Vergleich zu anderen Referenzbetrieben aus dem Netzwerk Pilotbetriebe sowie mit anerkannten Zielwerten statt (siehe Kapitel 4.9 Beratungsansatz und -instrument zur Tiergerechtigkeit und Tiergesundheit - das Tierwohl-Tool Milchvieh).

2.8 Forschungsbericht

Im vorliegenden Forschungsbericht werden der methodische Ansatz des Projektes und die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungsjahre 2014 – 2021 dargestellt und umfassend diskutiert. Die Ergebnisdarstellung orientiert sich an den Untersuchungsschwerpunkten und Teilprojekten der beteiligten Arbeitsgruppen. Wichtige Zielsetzungen hierbei sind,

- die methodischen Fortschritte und Innovationen darzustellen, beispielsweise die Modellentwicklung und die Verbesserung der Datenbasis für die Modellierung,
- die Entwicklung und Praxiserprobung neuer Beratungsinstrumente (das Excel-basierte Beratungswerkzeug HUNTER (Humus-, Nährstoff-, Treibhausgas- und Energiebilanz-Rechner und das Tierwohl-Tool Milchvieh (TWT)),
- die Ergebnisse der Stoff-, Energie- und Treibhausgasflüssen im Pflanzenbau und der Milchviehhaltung zu bewerten und einzuordnen,
- die Ergebnisse zur Analyse und Bewertung der Ressourceneffizienz darzustellen,
- Beratungsansätze zu Klimaschutz und Nachhaltigkeit zu entwickeln und zu testen.

2.9 Literatur

Badgley C, Moghtader J, Quintero E, Zakem E, Chappell M J, Avilés-Vázquez K, Samulon A, Perfecto I (2006) Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22:86-108

Banwart S (2011) Save our soils. *Nature* 474:151-152

Bell MJ, Wall E, Russel G, Simm G, Stott AW (2011) The effect of improving cow productivity, fertility and longevity on the global warming potential of dairy systems. *Journal of Dairy Science* 94:3662-3678

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* 1, 63:21-28

Brörkens N, Plesch G, Laister S, Zucca D, Winckler C, Minero M, Knierim U (2009) Reliability testing concerning behaviour around resting in cattle in dairy cows and beef bulls. In: Forkman, B., Keeling, L. (ed.): *Assessment of Animal Welfare Measures for Dairy Cattle, Beef Bulls and Veal Calves*. Welfare Quality Reports No. 11:7-24

Bryzinski T (2020) Erträge, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Pflanzenbausysteme – methodische Einflüsse und feldexperimentelle Ergebnisse. Dissertation. Technische Universität München

Canali E, Whay HR, Leach KA (2009) Cattle health status. In: Forkman B, Keeling L (eds.) *Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves*. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, 77-88. ISBN 1-902647-80-7

DAFA (2012) Fachforum Nutztiere. Strategie der Deutschen Agrarforschungsallianz (DAFA). Johann-Heinrich-von-Thünen-Institut Braunschweig

Deutscher Bundestag (2016) Statistische Angaben zu Treibhausgasen aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft. Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages, Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 068/16

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2006) *Livestock's long shadow. Environmental issues and options*. FAO Rome

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) (2010) *Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment*. FAO Rome

Faye B, Barnouin J (1985) Objectivation de la propreté des vaches laitières et des stabulations - l'indice de propreté. *Bull Techn C R Z V Theix, INRA* 59:61-67

Foley JA, Ramankutty N, Brauman KA, Cassidy ES, Gerber JS, Johnston M, Mueller ND, O'Connell C, Ray DK, West PC, Balzer C, Bennett EM, Carpenter SR, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockström J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks DPM (2011) Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478:337-341

Frank H, Schmid H, Hülsbergen K-J (2013) Modelluntersuchungen zu Treibhausgasemissionen der ökologischen und konventionellen Milcherzeugung. In: Neuhoff D. et al. (Hrsg.) Ideal und Wirklichkeit: Perspektiven ökologischer Landbewirtschaftung. Beiträge zur 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 5.-8. März 2013, 664-667

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

Grandl F, Furger M, Kreuzer M, Zehetmeier M (2019) Impact of longevity on greenhouse gas emissions and profitability of individual dairy cows analysed with different system boundaries. *Animal* 13:198-208

Höhne E, Rücknagel J, Christen O (2011) Relation between structural field parameters and soil physical laboratory measurements. In: Neuhoff, D, Halberg N, Rasmussen IA, Hermansen J, Ssekya C, Sohn MS, (eds.) (2011) Organic is life – knowledge for tomorrow. Proc. of the 3rd Scientific Conference of ISOFAR 28.09.–01.10.2011, Gyeonggi Paldang, Korea, 25-27

Hörtenhuber S J, Lindenthal T, Zollitsch W (2011) Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: the case of Austrian dairy production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91:1118-1127

Hülsbergen K-J, Feil B, Biermann S, Rathke G-W, Kalk W-D, Diepenbrock W (2001) A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 86:303-321

Hülsbergen K-J, Rahmann G (eds.) (2013) Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 412 p, Thünen Rep 8, DOI:10.3220/REP_8_2013

Hülsbergen K-J, Rahmann G (eds.) (2015) Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben: Forschungsergebnisse 2013-2014. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 175 p, Thünen Rep 29, doi:10.3220/REP_29_2015

Jentsch W, Schweigel M, Weissbach F, Scholze H, Pitroff W, Derno M (2007) Methane production in cattle calculated by the composition of the diet. *Archives of Animal Nutrition* 61:10-19

Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G (2010) Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. *Landbauforsch SH* 335:65-76

Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Rahmann G, Aulrich K (2011) Analyse von Grundfutterqualitäten ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe im Rahmen des Projektes "Klimawirkungen und Nachhaltigkeit von Landbausystemen". In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Spory K, Wilbois K-P, Williges U (Hrsg.) Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Justus-Liebig Universität Gießen, 15.-18. März 2011, Tagungsband, 109-110

Kirchgeßner M, Windisch W, Müller HL, Kreuzer M (1991) Release of methane and of carbon dioxide by dairy cattle. *Agribiological Research* 44:91-102

Küstermann B, Christen O, Hülsbergen K-J (2010) Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 135: 70-80. DOI: 10.1016/j.agee.2009.08.014

Laister S, Brörkens N, Lolli S, Zucca D, Knierim U, Minero M, Canali E, Winckler C (2009) Reliability of measures of agonistic behaviour in dairy and beef cattle. In: Forkman B & Keeling L (eds.) *Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves*. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 95-112. ISBN 1-902647-80-7

Leach KA, Knierim U, Whay HR (2009a) Cleanliness scoring for dairy and beef cattle and veal calves. In: Forkman B, Keeling L (eds.) *Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves*. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 25-30. ISBN 1-902647-80-7

Leach KA, Knierim U, Whay HR (2009b) Condition scoring for dairy and beef cattle and veal calves. In: Forkman B, Keeling L (eds.) *Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves*. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 1-6. ISBN 1-902647-80-7

Leach KA, Winckler C, Whay HR (2009c) Lameness in dairy and beef cattle and veal calves. In: Forkman B & Keeling L (eds.) *Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves*. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 35-41. ISBN 1-902647-80-7

Leopoldina (2012) *Bioenergy – Chances and limits*. German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle (Saale)

Lin H-C, Huber JA, Gerl G, Hülsbergen K-J (2017) Effects of changing farm management and farm structure on energy balance and energy-use efficiency - A case study of organic and conventional farming systems in southern Germany. *European Journal of Agronomy* 82:242-253

Metzner M, Heuwieser W, Klee W (1993) Die Beurteilung der Körperkondition (body condition scoring) im Herdenmanagement. *Prakt Tierarzt* 11:991-998

OECD (2012) *OECD Environmental Outlook to 2050*. Paris: OECD Publishing

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* 1, 63:29-36

Peter J, Schmid H, Schilling R, Munch JC, Hülsbergen K-J (2011) Treibhausgasflüsse beim Anbau von Winterweizen und Klee gras. In: Leithold G, Becker K, Brock C, Fischinger S, Spiegel A-K, Spory K, Wilbois K-P, Williges U (Hrsg.) *Beiträge zur 11. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Justus-Liebig Universität Gießen, 15.-18. März 2011, Tagungsband, 147-150

Sanders J, Hess J (eds.) (2019) *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft*. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 364 p, Thünen Rep 65, DOI:10.3220/REP1547040572000

Seufert V, Ramankutty N, Foley JA (2012) Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature* 485: 229-232. DOI: 10.1038/nature11069

Schittenhelm S (2011) Wassernutzungseffizienz von Energiepflanzen. Julius Kühn-Institut. Bundesforschungsanstalt für Kulturpflanzen. Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde

Schulze Westerath H, Leach KA, Whay HR, Knierim U (2009) Scoring of cattle: Integument alterations of dairy and beef cattle and veal calves. In: Forkman B, Keeling L (eds.) Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 43-50. ISBN 1-902647-80-7

The Royal Society (2009) Science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society, London, UK

Thomassen MA, van Calker KJ, Smits MCJ, Ipema GL, de Boer IJM (2008) Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* 96:95-107

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677. eng. doi:10.1038/nature01014

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

UBA (Umweltbundesamt) (2019) Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft>

Vellinga TV, de Haan MHA, Schils RLM, Evers A, van den Pool, van Dassel A (2011) Implementation of GHG mitigation on intensive dairy farms: Farmers' preferences and variation in cost effectiveness. *Livestock Science* 137:185-195

Wemelsfelder F, Lawrence A, Nevison I (2009) The effect of perceived environmental background on qualitative assessment of pig behaviour. *Animal Behaviour* 78(2):477-484, DOI:10.1016/j.anbehav.2009.06.005

Winckler C, Willen S (2001) Reliability and repeatability of a lameness scoring system which may be used as an indicator of welfare in dairy cattle. *Acta agric scand, Section A, Animal Science, Suppl* 30:103-107

Windschnurer I, Schmied C, Boivin X, Waiblinger S (2009) Assessment of human animal relationships in dairy cows. In: Forkman B, Keeling L (eds.) Assessment of animal welfare measures for dairy cattle, beef bulls and veal calves. Welfare Quality Reports No. 11, Cardiff University, pp 137-152. ISBN 1-902647-80-7

Zehetmeier M, Baudracco J, Hoffmann H, Heißenhuber A (2012) Does increasing milk yield per cow reduce greenhouse emissions? A system approach. *Animal* 6:154-166