

1 Einleitung und Ziel der Arbeit

Die Nutzung fossiler Energie ist eine wesentliche und immer noch unverzichtbare Grundlage aller Wirtschafts- und Lebensbereiche, auch der Landwirtschaft. Jedoch zeichnet sich eine zunehmende Verknappung der verfügbaren Energieressourcen ab (Chow et al. 2003). Derzeit stammt der größte Teil der in Deutschland genutzten Energie noch aus fossilen Quellen (DESTATIS 2012). Deren Verfügbarkeit wird in den kommenden Jahrzehnten deutlich zurückgehen und ihre Nutzung mit steigenden Kosten verbunden sein, auch weil regenerative Energieträger nicht in der notwendigen Menge zur Verfügung stehen (IEA 2010). Diese Entwicklung wirkt sich auch unmittelbar auf die Landwirtschaft aus (Heißenhuber 2008). Darüber hinaus ist auch zu beachten, dass durch den Einsatz fossiler Energie negative Umweltwirkungen auftreten (LEOPOLDINA 2012).

Die Landwirtschaft beruht in ihrer modernen technisierten Form auf dem Einsatz fossiler Energie (FAO 2010). Diese Abhängigkeit der Landwirtschaft von fossilen Energieinputs in Form von Kraftstoff, Elektroenergie, Maschinen, Dünger und Pflanzenschutzmitteln wurde erstmals unter dem Eindruck der Ölkrise 1973 wissenschaftlich untersucht und durch Energiebilanzen belegt (Pimentel et al. 1973). Dabei ist die Landwirtschaft durch den Anbau von Pflanzen und deren Photosyntheseleistung in der Lage, die Energie des einfallenden Sonnenlichts chemisch zu binden (Odum 1971). Sonnenenergie ist die einzige Energiequelle, die für menschliche Zeithorizonte unbegrenzt zur Verfügung steht, wobei sie nur in ihrer Intensität limitiert ist (Jones 1989). Auf dieser Energiebindung durch die Photosynthese beruhen sowohl die Funktion natürlicher Ökosysteme wie auch die Ertragsbildung in der Pflanzenproduktion. Durch den Einsatz fossiler Energie in Form von Energieträgern und Betriebsmitteln erfolgt ein Eingriff in Agrarökosysteme und die Effizienz der Umwandlung von Sonnenenergie in gebundene Energie wird erhöht (Hulscher 1991). Diese Energieeffizienz variiert je nach Anbausystem und Kulturpflanzen (Hülsbergen et al. 2001). Der Einsatz fossiler Energie in einem Ökosystem führt zu Veränderungen, die sich auf die Ökosystemfunktionen sowie die Biodiversität auswirken. In der modernen Pflanzenproduktion ist nahezu jeder Arbeitsschritt mit dem Einsatz fossiler Energie verbunden; deshalb ist der Energieeinsatz ein Maß für die Anbauintensität. Der Energieeinsatz kann auch als ein Indikator für die Eingriffs- und Regelungsintensität in ein Ökosystem angesehen werden (Bockstaller et al. 1997, Thomassen et al. 2008a).

In der Tierhaltung wird generell eine wesentlich geringere Energieeffizienz als im Pflanzenbau erreicht, weil im tierischen Metabolismus durch Verdauungs- und Stoffwechselprozesse Umwandlungsverluste beim Ansatz tierischer Produkte auftreten (Moss et al. 2000, Flachowsky und Brade 2007). Zudem wird für die tierische Erzeugung zusätzlich fossile Energie für die Haltung und Produktgewinnung eingesetzt. Wie im Pflanzenbau gibt es auch in der Tierhaltung systemspezifische Effizienzunterschiede. So ist die Energieeffizienz der Geflügelproduktion höher als die der Milchproduktion, die wiederum effizienter als die Rindfleischproduktion ist (FAO 2010). In Hinblick auf eine effiziente Produktion von Nahrungsmitteln rückt die Tierproduktion in den Fokus der Diskussion.

Neben der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Energie als Ressource führt ihre Nutzung zur Emission von Treibhausgasen, hauptsächlich CO₂ (Cole et al. 1997). Außerdem entstehen in der Landwirtschaft Treibhausgasemissionen durch Landnutzungsänderungen in Form

von CO₂ (Steinfeld et al. 2006), aus der mikrobiellen Verdauung in der Tierhaltung als CH₄ (Moss et al. 2000, deBoer 2003) und durch Freisetzung von Lachgas (N₂O) aus Böden (Smith et al. 2007). Diese Treibhausgasemissionen tragen zu Klimaänderungen bei, was wiederum vielfältige Wirkungen auf die Agrarökosysteme zur Folge haben kann (Forster et al. 2007). Die Landwirtschaft, insbesondere die Tierhaltung, gilt als einer der Hauptverursacher von Treibhausgasemissionen (FAO 2010). Gerade die Milchviehhaltung ist wegen ihrer wirtschaftlichen Bedeutung und der stoffwechselbedingten Treibhausgasemissionen Gegenstand intensiver Forschungen im Gebiet der Klimawirkungen (Steinfeld et al. 2006, Thomassen et al. 2008a, FAO 2010, Bell et al. 2011, Hörtenhuber et al. 2011, Vellinga et al. 2011, Zehetmeier et al. 2012). Besonderes Interesse gilt dabei dem optimalen Leistungsniveau, das neben den geringsten produktspezifischen Treibhausgasemissionen aus der Verdauung auch die Emissionen aus dem Futterbau, der Aufzucht, der Wirtschaftsdüngerlagerung und Gestaltung der Futterration mit Zukauffuttermitteln berücksichtigt.

Der Energieeinsatz und die Energieeffizienz in der Landwirtschaft sind Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. Eine vielfach verwendete Methodik ist die Energiebilanz in Form einer Prozessanalyse, die alle relevanten Abschnitte im Produktionsprozess und den damit verbundenen direkten und indirekten Energieeinsatz erfasst. Zumeist sind die energetischen Analysen auf einzelne pflanzliche oder tierische Produkte oder Produktionsverfahren ausgerichtet (Pimentel 2006, Deike et al. 2008, Hörtenhuber et al. 2011). Untersuchungen zur Energieeffizienz von Betriebssystemen sind kaum vorhanden (Dalgaard et al. 2001, Kraatz 2008). Dabei überwiegen Arbeiten im Pflanzenbau (u.a. Pimentel et al. 1973, Hülsbergen et al. 2001, Küstermann et al. 2008, Küstermann et al. 2013). Auch für die Milchviehhaltung liegen Arbeiten vor (u.a. Refsgaard et al. 1998, Cederberg und Mattson 2000, Haas et al. 2001, Thomassen und deBoer 2005, Kraatz 2008); diese bilden die Tierhaltung oft nur unvollständig ab und basieren oft auf nur einer kleinen Anzahl von Versuchs- oder Modellbetrieben, während die Anwendung in Praxisbetrieben unterschiedlicher Struktur und Produktionsintensität fehlt. Nur wenige Arbeiten berücksichtigen alle Treibhausgasemissionen, die mit dem Einsatz fossiler Energie verbunden sind. Für die Tierhaltung gibt es Einzelbetrachtungen meist für Teilbereiche wie den Zusammenhang von Fütterung und Methanemissionen (u.a. Kirchgeßner et al. 1991, Mills et al. 2001, Jentsch et al. 2007) oder die Wirtschaftsdüngerlagerung (u.a. Velthof und Onema 1997, Amon et al. 2006). Auch liegen Arbeiten zur Freisetzung von Treibhausgasen aus Böden unter verschiedenen Anbaubedingungen vor (u.a. Küstermann et al. 2008). Gesamtbetriebliche Ansätze finden sich erst in jünger Zeit; auf deren Basis ist auch die Ableitung von Minderungsstrategien möglich (Crosson et al. 2011). Bislang liegt jedoch kein Modell vor, das es erlaubt, milchviehhaltende Praxisbetriebe in Deutschland unter Berücksichtigung aller relevanten Stoff- und Energieflüsse im Pflanzenbau und in der Tierhaltung mit ihren Vernetzungen und Interaktionen in Hinblick auf Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen abzubilden.

Hier setzt diese Arbeit an. Sie soll dazu beitragen, den Energieeinsatz und die daraus resultierenden prozessbedingten Treibhausgasemissionen aus der Milchviehhaltung zu modellieren und zu quantifizieren. Grundlage hierfür ist die Entwicklung einer Methode zur Berechnung der Energiebilanz in der Milchviehhaltung unter Einbeziehung aller Prozessschritte. Dies geschieht auf der Basis eines vorhandenen Stoff- und Energiebilanzierungs-

modells (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2008), das um eine neue Modellkomponente für die Milchviehhaltung erweitert wird. Die Systemgrenze der energetischen Analyse ist der landwirtschaftliche Betrieb, der in verschiedene Subsysteme und Systemebenen gegliedert ist, die untereinander vernetzt sind und interagieren. Der Fokus liegt dabei auf der konsistenten Modellierung der Stoff- und Energieflüsse des Futterbaus und der Milchviehhaltung. Für die Integration der Milchviehhaltung in das bestehende Modellsystem werden Algorithmen sowie Energie- und Treibhausgasäquivalente abgeleitet. Zudem werden innerbetriebliche Allokationsverfahren entwickelt und Inputs bewertet. Für die vollständige Abbildung des Produktionssystems Milch erfolgt eine Bewertung von Zukauffuttermitteln und der Nachzucht von Kühen. Insgesamt ergibt sich aus dieser Prozessanalyse eine vollständige Energiebilanz der Milchviehhaltung, die auch die prozessbedingten Treibhausgasemissionen einschließt. Außerdem werden bewirtschaftungs-, stoffwechsel- und hal- tungsbedingte Treibhausgasemissionen berücksichtigt. Dadurch ist eine vollständige Ab- bildung der Stoff- und Energieflüsse milchviehhaltender Betriebe möglich und produktspe- zifische Energie- und Treibhausgasbilanzen können ausgewiesen werden.

Auf dieser methodischen Basis erfolgt ein Vergleich verschiedener Betriebssysteme an Praxisbetrieben und Modellbetrieben. Letztere werden auf Grundlage der Praxisbetriebe konstruiert und durch statistische Daten und Planungsdaten ergänzt. Hieraus ergeben sich Aussagen darüber, wie sich das Zusammenspiel verschiedener Faktoren und Kenngrößen auf die Energiebilanz und die Treibhausgasemissionen auswirkt. Die untersuchten Praxis- betriebe stammen aus dem Projekt „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“¹ (Kassow et al. 2009, Frank et al. 2012b, Schmid und Braun 2012). Die aus den Auswer- tungen gewonnenen Erkenntnisse und Aussagen können dazu beitragen, Aussagen über eine energieeffiziente und klimafreundliche Milchviehhaltung zu treffen sowie im Weiteren Minderungsstrategien und entsprechende Beratungsempfehlungen zu entwickeln.

Helmut Andreas Frank

Entwicklung und Anwendung eines Modells zur Energie- und Treibhausgasbilanzierung landwirtschaftlicher Betriebssysteme mit Milchviehhaltung

2014 / 206 Seiten / 19,80 € / ISBN 978-3-89574-863-9

Verlag Dr. Köster, Berlin / www.verlag-koester.de

¹ Das Projekt „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ wurde im Zeitraum 2009 bis 2013 von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung und vom Johann Heinrich von Thünen- Institut gefördert (FKZ 06OE160 und 06OE353).