

5.12 Einzelbetriebliche Datenauswertung als Grundlage für eine Schwachstellenanalyse und Betriebsoptimierung

Harald Schmid, Helmut Frank, Kurt-Jürgen Hülsbergen

Zusammenfassung

Am Beispiel von vier unterschiedlich strukturierten Pilotbetrieben (zwei ökologischen und zwei konventionellen Marktfruchtbau- und Milchvieh-/Gemischtbetrieben) werden Ergebnisse der ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung, der Energie-, Nährstoff- und Treibhausgasbilanzierung vorgestellt. Es wird herausgearbeitet, inwieweit diese Daten zur betrieblichen Schwachstellenanalyse nutzbar sind. Mit Hilfe von Bewertungsfunktionen und Betriebsvergleichen werden Optimierungspotenziale aufgezeigt. Hierbei wird deutlich, dass jeder Betrieb individuelle Stärken und Schwächen besitzt. Strategien zur Verbesserung der Umweltleistungen, z.B. die Minderung von Stickstoff- und THG-Emissionen oder die Verbesserung der Humusversorgung, erfordern betriebsindividuelle Lösungsansätze. Es wird diskutiert, wie die im Projekt verwendeten wissenschaftlichen Methoden optimal auf die Bedingungen der Betriebsberatung zugeschnitten werden können, um leistungsfähige Beratungstools zu erarbeiten.

Schlüsselwörter: Treibhausgasbilanz, Energiebilanz, Stoffkreislauf, Betriebssystem, Optimierung

Abstract

Using the example of four differently structured pilot farms (only crop production respectively dairy/mixed production systems, two of them organic and the other two conventional farming) results are presented about the ecological sustainability assessment containing the topics energy, nutrient and greenhouse gas balance. It is worked out, to which extent these data can be used for individual farm vulnerability analysis. By means of evaluation functions and farm comparisons optimization potentials are demonstrated. This shows that each farm has individual strengths and weaknesses. Therefore strategies for an improvement of ecological benefits such as the decrease of emissions from nitrogen and greenhouse gases or the advancement of organic matter supply require farm individual solutions. It is discussed, how the scientific methods used in this project can be fitted best to consulting conditions to develop effective consulting tools

Keywords: greenhouse gases, humus-balance, energy balance, nitrogen balance, farming systems

5.12.1 Einleitung

Im transdisziplinären Projekt „Netzwerk der Pilotbetriebe“ ist ein übergeordnetes Ziel, allen Projektpartnern relevante Daten und Untersuchungsergebnisse in strukturierter Form zur Verfügung zu stellen. Um den Wissenstransfer zu sichern, werden die aufbereiteten Projektergebnisse zu ökologischen Nachhaltigkeitsindikatoren, Energie-, Nährstoff- und Treibhausgasbilanzen den teilnehmenden Pilotbetrieben übergeben, in Beratungsgesprächen und regionalen Workshops diskutiert. So können die Betriebsleiter

direkt Nutzen aus ihrer Teilnahme am Projekt ziehen; gleichzeitig können methodische Erfahrungen zum Wissenstransfer gesammelt werden. Durch Betriebsvergleiche (Benchmarking) und Bewertungsfunktionen werden betriebliche Schwachstellen und Optimierungspotenziale identifiziert.

5.12.2 Material und Methoden

In den Pilotbetrieben werden nach definierten Vorgaben und abgestimmten Methoden alle projektrelevanten Daten erfasst, z.B. durch Betriebsleiterinterviews und die Datenübernahme aus Ackerschlagkarteen. Die Daten werden auf Vollständigkeit und Plausibilität geprüft und in der zentralen Projektdatenbank NutriWeb abgelegt. Anschließend erfolgen umfangreiche Auswertungen und Analysen mit dem Modell REPRO (Berechnung von Energie-, Nährstoff-, Humus- und Treibhausgasbilanzen). Die Vorgehensweise entspricht der unter Kapitel 5.9 beschriebenen Methodik.

Zur Darstellung der einzelbetrieblichen Modellaussagen wurden vier Pilotbetriebe ausgewählt¹ – zwei Betriebe der Region Ost und zwei Betriebe der Region West; davon sind zwei Betriebe benachbart und hinsichtlich der Standortbedingungen vergleichbar (PB 58 und PB 68); die beiden anderen Betriebe (PB 30 und PB 40) unterscheiden sich gravierend hinsichtlich der Standortbedingungen und Ertragspotenziale. Im Einzelnen sind die Betriebe wie folgt zu kennzeichnen (Tabelle 5.12-1):

- **PB 58, Region Ost:** Ökologischer Marktfruchtbetrieb mit extensiver Mutterkuhhaltung (0,17GV ha⁻¹) im Bereich der Mittleren Mulde (Sachsen); Standortbedingungen: zum Teil lößbeeinflusste Böden, Bodenzahl: 57; Jahresniederschlag < 600 mm. Der Betrieb wirtschaftet in einem Trinkwassereinzugsgebiet; daher bestehen Restriktionen, z.B. hinsichtlich des Stickstoffeinsatzes und der Bewirtschaftungsintensität; ein Unternehmensziel ist die Minimierung von Nitratausträgen (Grundwasserschutz).
- **PB 68, Region Ost:** Konventioneller Milchvieh-/Gemischtbetrieb (1,01 GV ha⁻¹) im Bereich der Mittleren Mulde (Sachsen); Standortbedingungen: zum Teil lößbeeinflusste Böden, Bodenzahl: 54; Jahresniederschlag < 600 mm. Der Betrieb wirtschaftet teilweise in einem Trinkwassereinzugsgebiet mit entsprechenden Bewirtschaftungseinschränkungen, z.B. Begrenzung der N-Düngungsintensität und der flächenbezogenen N-Salden.
- **PB 33, Region West:** Ökologischer (biologisch-dynamischer) Milchvieh-/Gemischtbetrieb (0,38 GV ha⁻¹) im Sauerland; Standortbedingungen: Bodenzahl: 33, lehmig-tonige Böden, Höhenlage 380 m NN; feucht-kühles Klima: Jahresniederschlag: 1090 mm a⁻¹, Jahresdurchschnittstemperatur: 7,3°C.
- **PB 40, Region West:** Konventioneller Marktfruchtbetrieb (0 GV ha⁻¹) in der Soester Börde; Standortbedingungen: Jahresniederschlag: 700 mm a⁻¹, Jahresdurchschnittstemperatur: 9,7°C Lößböden mit hoher natürlicher Bodenfruchtbarkeit, Bodenzahl: 70; hohes Ertragsniveau; 100 % ackerbaulig.

¹ Untersuchungsergebnisse aus diesen Pilotbetrieben wurden von den Betriebsleitern auf zwei Tagungen vorgestellt: (a) auf der Wintertagung der DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) am 16.01.2013 in Berlin zum Thema „Klimaverträglich und nachhaltig produzieren – Betriebskonzepte erfolgreicher Praktiker“ sowie (b) der wissenschaftlichen Tagung „Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Pilotbetriebe in Deutschland“ am 27.02.2013 am Thünen-Institut in Braunschweig.

che Nutzung; wichtigste Kulturarten sind: Winterweizen, Winterroggen, Zuckerrüben, Kartoffeln, Mais.

5.12.3 Ergebnisse und Diskussion

5.12.3.1 Betriebsstrukturen und Ertragsleistungen

Aufgrund der differenzierten Standortbedingungen und Betriebsformen ergeben sich sehr unterschiedliche Anbaustrukturen (Tabelle 5.12-1).

Pilotbetrieb PB 58 zeichnet sich durch den für einen Marktfruchtbetrieb außergewöhnlich hohen Anbauumfang von Luzerne (34 % des AL) aus; die zweijährig genutzte Luzerne erfüllt wichtige Fruchtfolge-Funktionen (Unkrautregulierung; Humusaufbau, N₂-Fixierung) und wird teilweise futterbaulich genutzt (Futterverkauf). Der Standort (trocken-warm, Lössböden) ist für den Luzerneanbau prädestiniert. Aufgrund ausgeprägter Trockenperioden findet kaum Zwischenfruchtanbau statt (Probleme der Bestandsetablierung, Wasserkonkurrenz zu den Hauptfrüchten). Die wichtigsten Getreidearten sind Winterweizen, Triticale und Dinkel; auf 7 % der AF werden Zuckerrüben und Kartoffeln angebaut, auf 3 % der AF Gemüse.

Im Pilotbetrieb PB 68 ist der Futterbau zur Versorgung der Milchvieh- und Rinderbestände ein wichtiger Betriebszweig; der Silomaisanteil erreicht 18 % der AF. Die Milchleistung beträgt 8700 kg a⁻¹. Die benachbarten Betriebe PB 58 und PB 68 haben durch ihre Lage in einem Trinkwassereinzugsgebiet teilweise Nutzungs- und Intensitätsbeschränkungen. Der Vergleich der Ertragsleistungen ergibt folgende Resultate (vgl. Tabelle 5.12-1): der ökologische Pilotbetrieb PB 58 erreicht im Vergleich zum konventionellen Betrieb PB 68 etwa 49 % der GE-Erträge, 63 % der Weizenerträge und 65 % der Energiebindung.

Der biologisch-dynamische Pilotbetrieb PB 33 ist auf eine flächengebundene Milchviehhaltung ausgerichtet; der Grünlandanteil beträgt 36 %. Der Betrieb erreicht eine hohe Fruchtartendiversität (2,70); neben verschiedenen Getreidearten, Körnerleguminosen werden auch Ölfrüchte angebaut. Aufgrund der ungünstigen Standortbedingungen liegt das Ertragsniveau mit 33 GE ha⁻¹ deutlich unter dem Mittel der ökologischen Pilotbetriebe.

Der am Rande der Soester Börde gelegene konventionelle Pilotbetrieb PB 40 hat sehr günstige Standortvoraussetzungen für den Marktfruchtbau. Der Betrieb ist vielseitig strukturiert; die Fruchtartendiversität beträgt 2,41. Das Ertragsniveau (Winterweizen: 93 dt ha⁻¹, 97 GE ha⁻¹) ist, auch im Vergleich zum Mittel der konventionellen Pilotbetriebe, überdurchschnittlich hoch.

Tabelle 5.12-1: Betriebsstrukturen und Ertragsleistungen ausgewählter Pilotbetriebe

| Kennzahl | ME | Ökologische Pilotbetriebe | | | Konventionelle Pilotbetriebe | | |
|---|------------------------|---------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | | Mittel | PB 58 | PB 33 | Mittel | PB 40 | PB 68 |
| | | | MF | Milch | | MF | Milch |
| Standortbedingungen und Betriebsstruktur | | | | | | | |
| Bodenzahl | | 48 | 57 | 33 | 52 | 70 | 54 |
| Höhenlage | m NN | | 110 | 380 | | 107 | 110 |
| Niederschlag | mm a ⁻¹ | | 589 | 1090 | | 702 | 589 |
| Jahresdurchschnittstemperatur | °C | | 9,1 | 7,3 | | 9,7 | 9,1 |
| Landwirtschaftl. Nutzfläche (LN) | ha | 187 | 742 | 185 | 195 | 125 | 942 |
| Ackerland (AL) | % der LN | 70 | 84 | 64 | 74 | 100 | 90 |
| Tierbesatz | GV ha ⁻¹ | 0,54 | 0,17 | 0,38 | 0,92 | 0 | 1,01 |
| Anbaustruktur | | | | | | | |
| Getreide | % des AL | 46 | 56 | 52 | 48 | 48 | 59 |
| Körnerleguminosen | % des AL | 6 | 2 | 12 | 1 | 0 | 15 |
| Hackfrüchte / Silomais | % des AL | 8 | 7 | 1 | 23 | 28 | 22 |
| Luzerne-Kleegrass / Ackergras | % des AL | 29 | 34 | 25 | 5 | 8 | 1 |
| Untersaaten | % des AL | 5 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 |
| Zwischenfrüchte | % des AL | 13 | 5 | 3 | 14 | 6 | 2 |
| Fruchtartendiversität | Index | 2,18 | 2,20 | 2,70 | 1,64 | 2,41 | 2,13 |
| Erträge und Leistungen | | | | | | | |
| Getreideeinheiten-Ertrag | GE ha ⁻¹ LN | 42 | 34 | 33 | 79 | 97 | 69 |
| Energiebindung | GJ ha ⁻¹ LN | 106 | 82 | 89 | 172 | 180 | 158 |
| Winterweizen-Korn-Ertrag | dt ha ⁻¹ | 38 | 36 | 32 | 80 | 93 | 57 |
| Luzerne-Kleegrass-Ertrag | dt FM ha ⁻¹ | 374 | 270 | 360 | 525 | 260 | 365 |

5.12.3.2 Humusbilanzen

Die Humusbilanzen (berechnet mit der dynamischen HE-Methode²; Hülsbergen, 2003; Brock et al., 2013) zeigen deutlich den Einfluss der unterschiedlichen Anbaustrukturen, des Tierbesatzes und des Wirtschaftsdüngeraufkommens. Der mit Abstand höchste Humusbedarf (784 kg C ha⁻¹ a⁻¹) wurde für den Pilotbetrieb PB 40 aufgrund des hohen Silomais- und Hackfruchtanteils (28 % der AF), der geringste Humusbedarf für Betrieb PB 33 (413 kg C ha⁻¹ a⁻¹, Hackfruchtanteil: 1 % der AF) ermittelt. Die Humusreproduktion erfolgt im Betrieb PB 58 überwiegend durch den Luzerneanbau (Humusmehrerleistung: 313 kg C ha⁻¹ a⁻¹), im Betrieb PB 33 hingegen durch die Wirtschaftsdünger der Tierhaltung (260 kg C ha⁻¹ a⁻¹); im Betrieb PB 40 dominiert die Stroh- und Gründüngung (328 kg C ha⁻¹ a⁻¹), während in Betrieb PB 68 die Wirtschaftsdünger den höchsten Anteil an der Humuszufuhr haben.

² Die dynamische Humuseinheiten (HE)-Methode berücksichtigt die Standortbedingungen (Bodenzahl, Niederschlag), die Mineral-N-Düngung, den fruchtartenspezifischen Ertrag und N-Entzug und reagiert damit sensitiver auf die Bewirtschaftungsbedingungen als die statischen Humusbilanzmethoden (z.B. VDLUFA 2004).

Die Humussalden zeigen ein sehr differenziertes Bild. Die beiden ökologischen Betriebe erreichen eine ausgeglichene bis leicht positive Humusbilanz; nach dem Bewertungsschema des VDLUFA (2004) entspricht dies einer optimalen Humusversorgung bzw. der Versorgungsstufe C. Für die konventionellen Betriebe PB 40 und PB 68 wurden negative Humussalden ermittelt ($-290 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $-213 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$); nach VDLUFA entspricht dies der Versorgungsstufe A (vgl. Abbildung 5.12-6).

Tabelle 5.12-2: Stoff- und Energiebilanzen ausgewählter Pilotbetriebe

| Kennzahl | ME | Ökologische Pilotbetriebe | | | Konventionelle Pilotbetriebe | | |
|---|--|---------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
| | | Mittel | PB 58 | PB 33 | Mittel | PB 40 | PB 68 |
| | | | MF | Milch | | MF | Milch |
| Humusbilanz (Ackerland) | | | | | | | |
| Humusbedarf | kg C ha ⁻¹ | -447 | -487 | -413 | -605 | -784 | -636 |
| Humusmehrleistung | kg C ha ⁻¹ | 279 | 313 | 156 | 85 | 50 | 23 |
| Stroh- und Gründüngung | kg C ha ⁻¹ | 120 | 116 | 82 | 215 | 328 | 145 |
| Wirtschaftsdünger | kg C ha ⁻¹ | 174 | 46 | 260 | 231 | 115 | 249 |
| Humussaldo | kg C ha ⁻¹ | 126 | -12 | 84 | -74 | -290 | -213 |
| Stickstoffbilanz (Landwirtschaftliche Nutzfläche) | | | | | | | |
| N-Entzug | kg N ha ⁻¹ | 147 | 104 | 115 | 205 | 198 | 158 |
| N-Abfuhr | kg N ha ⁻¹ | 125 | 86 | 104 | 182 | 160 | 139 |
| N-Zufuhr | kg N ha ⁻¹ | 156 | 102 | 116 | 261 | 221 | 197 |
| Symbiotische N ₂ -Fixierung | kg N ha ⁻¹ | 46 | 50 | 37 | 14 | 8 | 7 |
| Organische Dünger | kg N ha ⁻¹ | 66 | 13 | 46 | 90 | 49 | 55 |
| Mineraldünger | kg N ha ⁻¹ | 0 | 0 | 0 | 113 | 103 | 95 |
| Änderung Bodenvorrat (ΔN_{org}) | kg N ha ⁻¹ | 6 | -1 | 5 | -8 | -27 | -18 |
| N-Saldo (mit ΔN_{org}) | kg N ha ⁻¹ | 3 | -3 | -4 | 64 | 50 | 58 |
| N-Verwertung | % | 89 | 100 | 99 | 78 | 90 | 80 |
| Energiebilanz (Landwirtschaftliche Nutzfläche) | | | | | | | |
| Energieinput | GJ ha ⁻¹ | 7,0 | 6,2 | 5,9 | 13,7 | 12,8 | 10,6 |
| Netto-Energieoutput | GJ ha ⁻¹ | 97 | 72 | 82 | 157 | 164 | 146 |
| Energieintensität | MJ GE ⁻¹ | 174 | 185 | 190 | 181 | 133 | 157 |
| Output/Input-Verhältnis | | 15 | 12 | 15 | 13 | 14 | 15 |
| Treibhausgas-(THG)-bilanz (Landwirtschaftliche Nutzfläche) | | | | | | | |
| CO ₂ -Emissionen (Anbau)* | kg CO _{2 eq} ha ⁻¹ | 385 | 360 | 357 | 837 | 881 | 696 |
| C-Sequestrierung** | kg CO _{2 eq} ha ⁻¹ | -221 | 29 | -201 | 302 | 1062 | 704 |
| N ₂ O-Emissionen | kg CO _{2 eq} ha ⁻¹ | 856 | 564 | 638 | 1401 | 1224 | 1085 |
| THG-Emissionen, flächenbezogen | kg CO _{2 eq} ha ⁻¹ | 1020 | 953 | 794 | 2540 | 3167 | 2485 |
| THG-Emissionen, produktbezogen | kg CO _{2 eq} GE ⁻¹ | 25 | 28 | 24 | 32 | 32 | 36 |
| THG-Emissionen, produktbezogen | kg CO _{2 eq} GJ ⁻¹ | 11 | 12 | 9 | 15 | 17 | 16 |

* CO₂-Emissionen durch den Einsatz fossiler Energie.

** Negative Werte bedeuten C-Speicherung im Boden (Humusaufbau), positive Werte CO₂-Abgabe (Humusabbau).

5.12.3.3 Stickstoffbilanzen und Stickstoffkreisläufe

In den Pilotbetrieben ist eine unterschiedliche N-Intensität anzutreffen (Tabelle 5.12-2). Die N-Zufuhren betragen $102 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (PB 58, Low-Input-System) bis $221 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (PB 40, High-Input-System); sie sind dem unterschiedlichen Ertrags- und N-Entzugsniveau gut angepasst. Während die ökologischen Pilotbetriebe PB 58 und PB 33 nahezu ausgeglichene N-Bilanzen erreichen, ist der flächenbezogene N-Saldo in den konventionellen Betrieben mit $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $58 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ auf moderatem Niveau. Zum Vergleich – im Durchschnitt der Bundesrepublik Deutschland betragen die N-Salden (= potenzielle Verluste reaktiver N-Verbindungen) derzeit ca. $100 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Osterburg 2008, Taube 2013). Einschränkend ist auf die besondere Situation des Betriebes PB 68 hinzuweisen, dessen Flächen teilweise in einem Trinkwassereinzugsgebiet liegen. Hier besteht in Abstimmung mit den regionalen Wasserwerken die Zielstellung, die N-Salden auf unter $65 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, auf Flächen in der Nähe der Trinkwasserbrunnen auf $30 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zu begrenzen.

Bei der Interpretation der N-Bilanzen ist zu beachten, dass bei der Berechnung der N-Salden alle N-Inputs (auch die N-Deposition) sowie die Boden-N-Vorratsänderungen durch Humusaufbau und -mineralisation (ΔN_{org}) als Korrekturglied berücksichtigt werden (Tabelle 5.12-2). Damit liegen die hier ausgewiesenen N-Salden über den nach Düngeverordnung berechneten Werten (vgl. Küstermann et al., 2010).

Die Darstellung der betrieblichen Stickstoffkreisläufe (Abbildung 5.12-1 bis 5.12-4) zeigt die wichtigsten N-Inputs, N-Outputs und innerbetrieblichen N-Flüsse³. Die N-Kreisläufe werden für jeden Pilotbetrieb erstellt und zur Ergebnisdiskussion mit den Betriebsleitern genutzt. Die N-Kreisläufe veranschaulichen Stoffflussbeziehungen zwischen den Betriebszweigen. Sie sind gut geeignet, betriebliche Schwachstellen und Optimierungspotenziale zu erkennen, die in weiteren Detailanalysen, z.B. fruchtarten- und schlagspezifischen N-Bilanzen, näher untersucht werden können.

Im ökologischen Pilotbetrieb PB 58 (Abbildung 5.12-1) sind die innerbetrieblichen N-Kreisläufe nur schwach ausgeprägt; es stehen nur wenig organische N-Dünger zur Verfügung. Die dominierende N-Zufuhr ist die symbiotische N_2 -Fixierung durch den Luzerneanbau. Der Gesamt-N-Input in das Betriebssystem beträgt $71 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, der N-Export mit pflanzlichen und tierischen Marktprodukten $61 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Der Betrieb erreicht eine sehr hohe N-Effizienz (85,9 %), auch aufgrund der Ausrichtung auf pflanzliche Produkte. In der extensiven Mutterkuhhaltung treten flächenbezogen nur geringe N-Emissionen auf. Ein vorrangiges Unternehmensziel besteht darin, die Nitrateinträge ins Grundwasser zu minimieren und N-Überschüsse zu vermeiden. Die negative N-Bilanz weist darauf hin, dass Stickstoff nur begrenzt verfügbar ist und ertragslimitierend wirken könnte. Eine Intensivierung der N-Kreisläufe mit dem Ziel der Ertragssteigerung hätte potenziell auch positive Wirkungen auf die Energieeffizienz und die produktbezogenen Treibhausgasflüsse. Derzeit ist aber, aufgrund der Trinkwasser-schutzrestriktionen, eine Steigerung der N-Zufuhren keine realistische Option.

³ Geringfügige Abweichungen der N-Flüsse und N-Salden von in der Tabelle 5.12-2 angegebenen Werten können sich durch abweichende Untersuchungszeiträume ergeben.

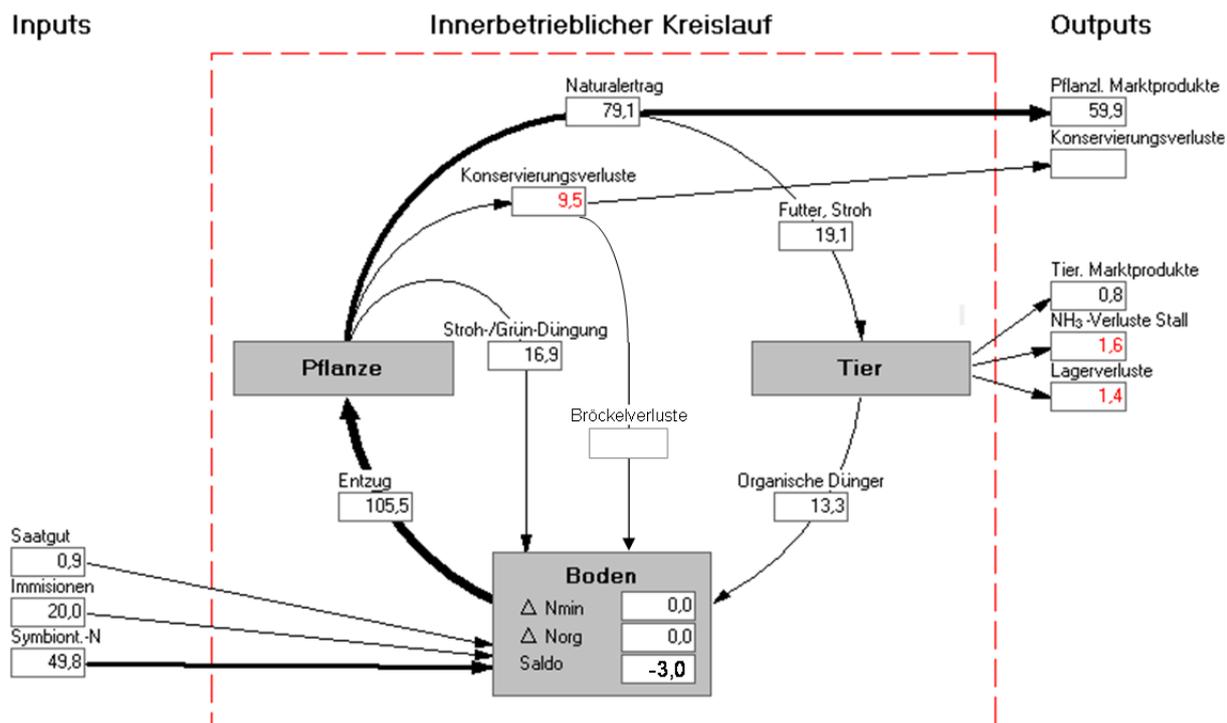


Abbildung 5.12-1: Stickstoffkreislauf im Mittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche ($\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) des Pilotbetriebs 58, Region Ost (Sachsen, Mittlere Mulde), Ökologischer Landbau, Marktfruchtbetrieb mit extensiver Mutterkuhhaltung, $0,17 \text{ GV ha}^{-1}$, Getreide, Kartoffel- und Gemüsebau, Untersuchungsjahr 2009/2010.

Im konventionellen Pilotbetrieb PB 68 (Abbildung 5.12-2) erfolgt die N-Zufuhr in das Betriebssystem vor allem über Mineral-N und Futterzukauf (Gesamt N-Input: $177 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Der N-Export mit den pflanzlichen und tierischen Marktprodukten beträgt $87 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$; daraus resultiert auf der Systemebene des Betriebs eine N-Effizienz von 49 % und ein Gesamt-N-Verlustpotenzial von $89 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Unter Berücksichtigung der Boden-N-Vorratsänderung (N-Mineralisierung) beträgt das flächenbezogene N-Verlustpotenzial $57 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Betriebliche Ansatzpunkte zur N-Effizienzsteigerung und zur Minderung der N-Salden sind:

- Optimierung des Humusmanagements mit dem Ziel, mindestens ausgeglichene Humusbilanzsalden zu erreichen ($\Delta N_{\text{org}} > 0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Hierfür stehen unterschiedliche acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen zu Wahl, z.B. Zwischenfruchtbau und Gründüngung, Integration von Klee gras in die Fruchtfolge und Verwertung in der Rinderhaltung, die allerdings auch unter ökonomischen Gesichtspunkten bewertet werden müssen.
- Optimierung der Mineral-N-Düngung durch Nutzung moderner sensorgestützter N-Düngesysteme (Berücksichtigung der Standort- und Ertragspotenziale, der witterungsabhängigen N-Verfügbarkeit sowie der aktuellen N-Aufnahme von Pflanzenbeständen zum Zeitpunkt der N-Düngung).

Eine höhere N-Effizienz und optimierte Humusversorgung würde auch in anderen Agrar-Umweltbereichen zu positiven Effekten führen (z.B. Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit und der Ertragssicherheit, Steigerung der Energieeffizienz, Reduzierung von THG-Emissionen).

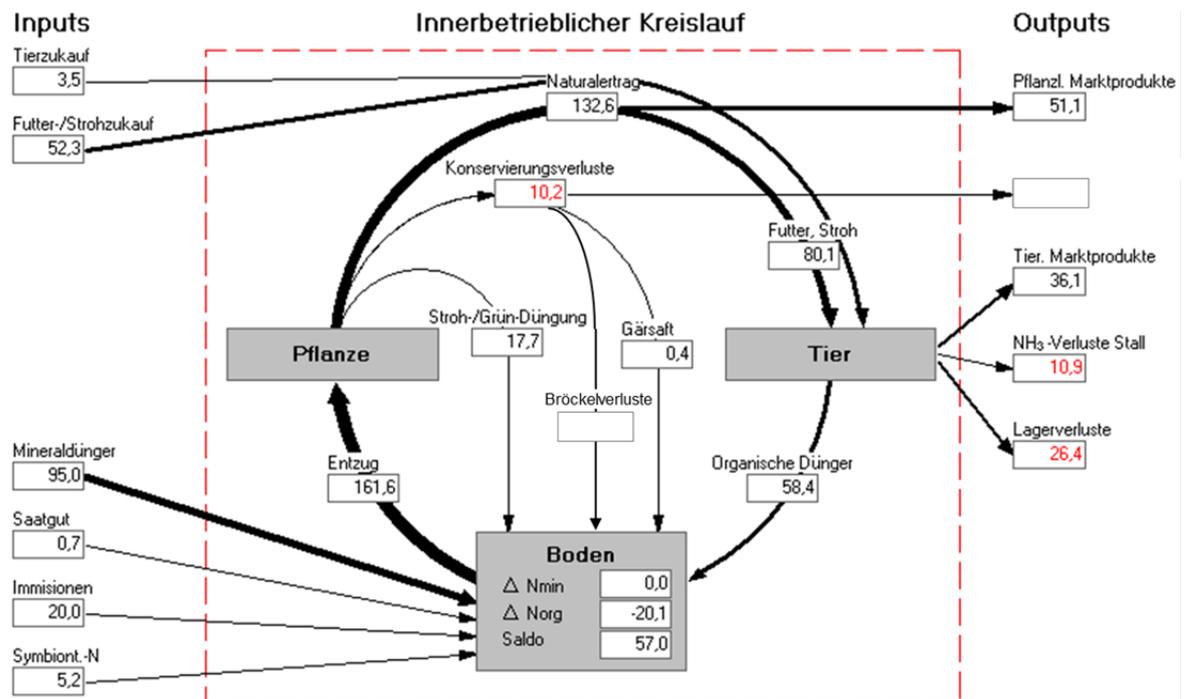


Abbildung 5.12-2: Stickstoffkreislauf im Mittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche ($\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) des Pilotbetriebs 68, Region Ost (Sachsen, Mittlere Mulde), Konventioneller Landbau, Gemischtbetrieb, $1,0 \text{ GV ha}^{-1}$ (Milchkühe, Rinder), Getreide-, Ölfrucht- und Hackfruchtanbau.

Der biologisch-dynamisch wirtschaftende Betrieb PB 33 (Abbildung 5.12-3) ist als Low-Input-System zu charakterisieren. Der N-Input, überwiegend durch die N_2 -Fixierung der Leguminosen und N-Immissionen, beträgt nur $62 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$; der Futterzukauf ist marginal und beschränkt sich auf $110 \text{ dt Rapsexpeller je Jahr}$ ($3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Mit den pflanzlichen und tierischen Marktprodukten werden $37 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ exportiert; die betriebliche N-Effizienz erreicht 59% . PB 33 ist ein nahezu N-autarkes, vielseitig strukturiertes Betriebssystem mit flächengebundener Tierhaltung und weitgehend geschlossenen N-Kreisläufen. Der Tierbesatz und der N-Umsatz sind standortangepasst; die Boden-Klimabedingungen begrenzen die Ertragsleistungen und die Futterproduktion.

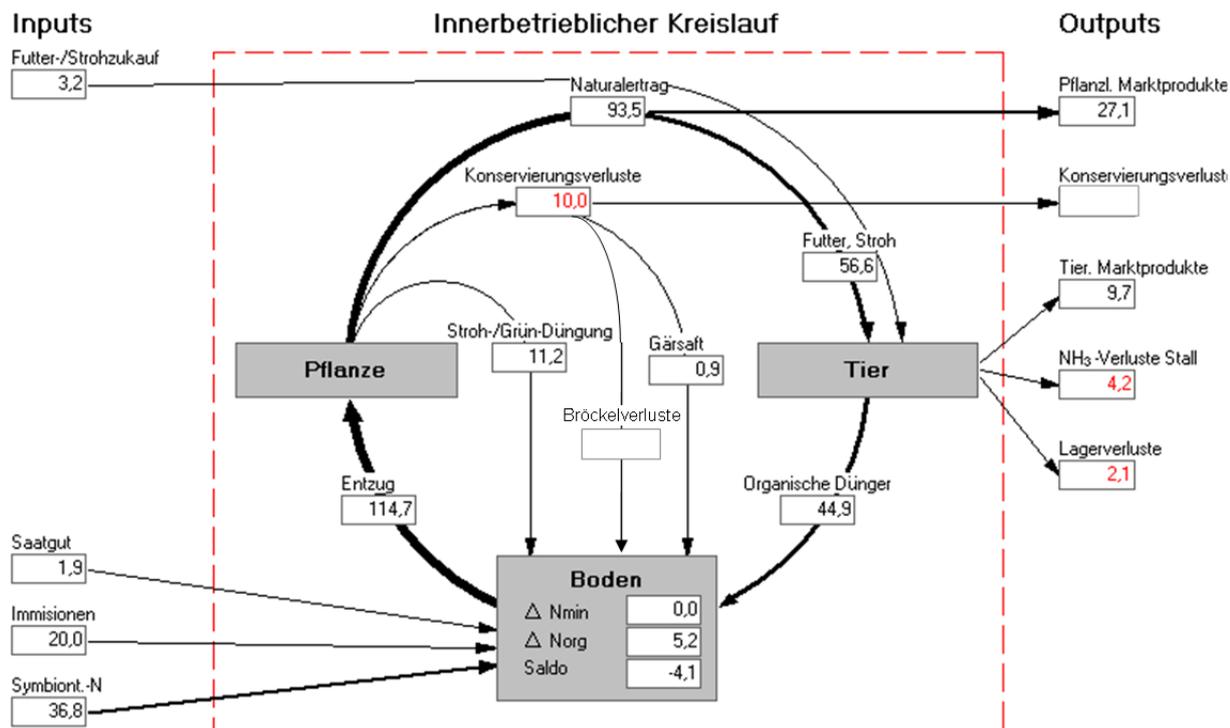


Abbildung 5.12-3: Stickstoffkreislauf im Mittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche ($\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) des Pilotbetriebs 33, Region West (Sauerland), Ökologischer Landbau, Milchviehhaltung, $0,38 \text{ GV ha}^{-1}$, Getreide, Körnerleguminosen- und Ölfruchtbau, Untersuchungsjahr 2009/2010.

Der konventionelle Betrieb PB 40 ist auf den Marktfruchtbau ausgerichtet. Er nutzt die günstigen Standortbedingungen der Soester Börde, um energie- und stickstoffeffizient hohe Erträge zu erzielen. Bei einem N-Input von $181 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ wird eine Marktproduktion von $153 \text{ kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ realisiert, das entspricht einer N-Effizienz von 84 % auf der Betriebsebene. Optimierungsbedarf besteht bei der Humusversorgung der Ackerböden (in den Untersuchungsjahren 2009/10: Humussaldo $-290 \text{ kg C}_{\text{org}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$, $-27 \text{ kg N}_{\text{org}} \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Wenn die Böden langfristig auf dem hohen Bodenfruchtbarkeits- und Ertragsniveau gehalten werden sollen – und dies sollte ein Grundprinzip nachhaltiger Wirtschaftsweise sein, muss die Zufuhr organischer Primärsubstanz deutlich erhöht werden. Der Betriebsleiter hat inzwischen, auch aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse, das Humusmanagement angepasst, u.a. durch Änderungen in der Fruchtfolge, vor allem die Integration von Klee gras). Dies wiederum wird auch die Treibhausgasbilanz durch die C-Sequestrierung der Böden verbessern.

Insgesamt ist zu schlussfolgern, dass die gesamtbetriebliche Systembetrachtung – hier dargestellt am Beispiel der Stickstoffkreisläufe – notwendig ist, um Schwachstellen zu erkennen und Optimierungspotenziale abzuleiten. In prinzipiell gleicher Weise können C-, P-, K-Kreisläufe sowie die betrieblichen Energieflüsse bewertet und in die Nachhaltigkeitsdiskussion einbezogen werden.

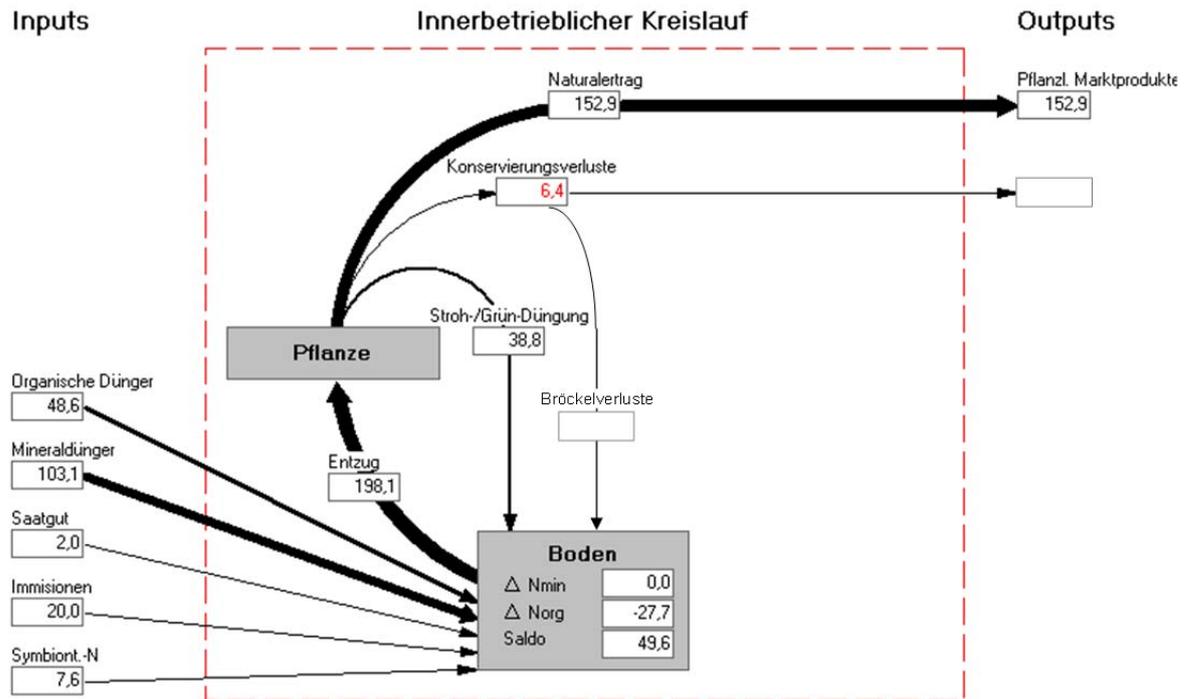


Abbildung 5.12-4: Stickstoffkreislauf im Mittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche ($\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) des Pilotbetriebs 40, Region West (Soester Börde), Konventioneller Landbau, Marktfruchtbetrieb, 0 GV ha^{-1} , Getreide-, Ölfucht- und Hackfruchtanbau.

5.12.3.4 Bewertungsfunktionen

Zur Einschätzung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme ist die Ableitung anzustrebender Wertebereiche (Zielwerte) für die verwendeten Indikatoren erforderlich. Für eine Gesamtbewertung von Betriebssystemen ist es zudem notwendig, die auf unterschiedliche Art ermittelten Indikatoren vergleichend zu betrachten. Um die Kenngrößen zusammenfassen zu können, sind sie in eine einheitliche Skala zu überführen, z.B. mit Bewertungsfunktionen, die in Maßeinheiten angegebene Indikatorenwerte in dimensionslose Werte umwandeln (vgl. Andreoli und Tellarini, 2000; Hülsbergen, 2003). Im Modell REPRO werden Bewertungsfunktionen verwendet (Beispiele in Abbildung 5.12-5 und 5.12-6); für jeden Indikator wird das Bewertungsergebnis in einem Diagramm angezeigt⁴, so dass die Bewertung nachvollziehbar ist. Die Indikatoren können anschließend gewichtet und zu einem Index zusammengefasst werden⁵.

⁴ Auf der x-Achse wird der Indikatorwert, auf der y-Achse der Grad der Nachhaltigkeit aufgetragen. Der normalisierte Wert 0 ist die ungünstigste Situation (nicht nachhaltige Bewirtschaftung), 1 die günstigste Situation (nachhaltige Bewirtschaftung).

⁵ Diese Bewertungsfunktionen bilden auch die Grundlage der ökologischen Bewertungen im DLG-Zertifizierungsverfahren „Nachhaltige Landwirtschaft“ (Schaffner und Hövelmann, 2009; Hülsbergen et al., 2013).

Beim Indikator „flächenbezogener N-Saldo“ (Abbildung 5.12-5) wurde bei der Ableitung des Optimalbereichs der Bewertungsfunktion davon ausgegangen, dass N-Verluste bis zu einer Höhe von $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ tolerierbar sind.⁶ Sowohl bei Über- als auch Unterschreiten des optimalen Wertebereiches wird eine nicht nachhaltige Bewirtschaftung angezeigt. Bei langjährig negativen N-Salden ist eine Verminderung der Boden-N-Vorräte zu erwarten, was letztlich zur Verminderung der Ertragsfähigkeit der Böden führt. Mit steigenden N-Salden steigt die Gefahr der N-Verluste. Bei der Festlegung der Bewertungsfunktion sind gleichermaßen Umweltwirkungen und ökonomische Effekte zu beachten.

Das Bewertungsergebnis der vier Pilotbetriebe (Abbildung 5.12-5) zeigt, dass die beiden ökologischen Betriebe PB 33 und 58 im unteren, die konventionellen Betriebe PB 40 und 68 im oberen Optimalbereich liegen. Alle Betriebe erreichen die mit 0,75 definierte Nachhaltigkeitsschwelle. Die Bewertungsfunktionen können auch auf andere Skalenebenen angewendet werden, z.B. Ackerland und Grünland, Fruchtfolgen, Fruchtarten und Produktionsschlägen.

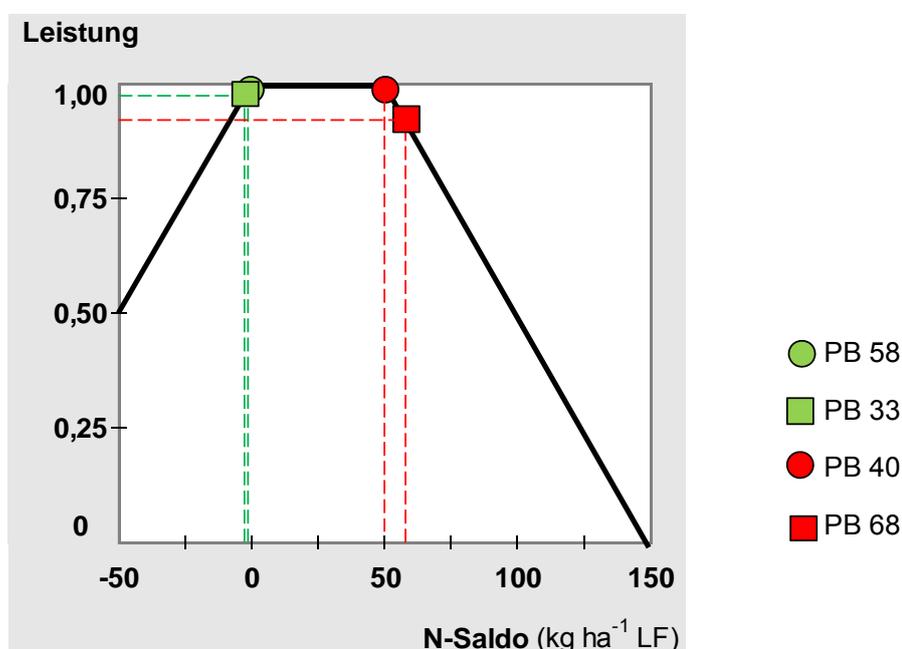


Abbildung 5.12-5: Bewertung der Stickstoffsalden ausgewählter Pilotbetriebe mit einer Nachhaltigkeits-Bewertungsfunktion (nach Hülsbergen, 2003).

Die Ableitung der Bewertungsfunktionen für die Humussalden (Abbildung 5.12-6) folgt einem vom VDLUFA (2004) vorgeschlagenen Bewertungsschema. Demnach liegt der optimale Bereich (= Versorgungsklasse C, Bewertung: optimal hinsichtlich der Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko, Einstellung standortgerechter Humusgehalte) zwischen -75 bis $100 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Wertespanne be-

Sie wurden in interdisziplinären Expertengruppen abgestimmt. Als Nachhaltigkeitsschwelle wurde eine Bewertung von 0,75 im Mittel aller ökologischen Indikatoren definiert.

⁶ Diese Spannweite (0 bis $50 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) kann nach Standorten differenziert werden, z.B. nach deren Nitratstragsgefährdung und Schutzbedürftigkeit.

rücksichtigt auch die Unsicherheiten und Fehlerbereiche der Humusbilanzierung. Der kritische Bereich der Humusunterversorgung (= Versorgungsstufe A, Bewertung: ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistungen) beginnt bei $-200 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, der Bereich der Humusübersversorgung (= Versorgungsstufe E, Bewertung: erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste, niedrige Stickstoffeffizienz) beginnt bei $300 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$; beiden Werte wurde eine Nachhaltigkeitsbewertung von 0,50 zugeordnet.

Nach diesem Bewertungsschema liegen die beiden ökologischen Pilotbetriebe PB 58 und PB 33 im Optimalbereich der Humusversorgung, die konventionellen Pilotbetriebe PB 40 und PB 68 werden als deutlich unterversorgt eingestuft.

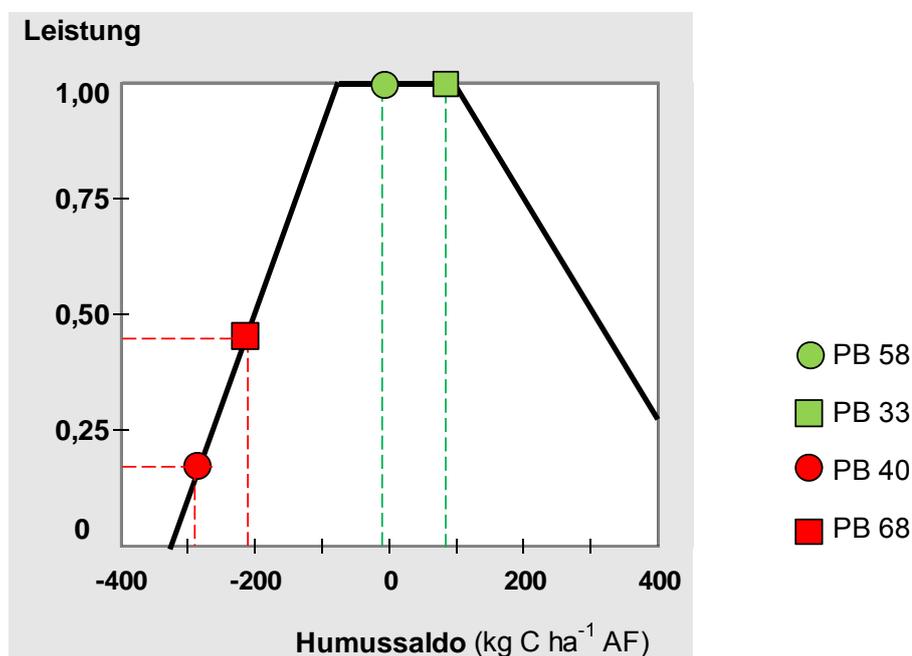


Abbildung 5.12-6: Bewertung der Humussalden ausgewählter Pilotbetriebe mit einer Nachhaltigkeits-Bewertungsfunktion (nach Hülsbergen, 2003 und VDLUFA, 2004).

5.12.3.5 Betriebsvergleiche und Benchmarking

Durch die Anwendung des Modells REPRO in den Pilotbetrieben steht ein Datensatz für Betriebsvergleiche für wichtige Agrar-Umweltindikatoren, z.B. Energieinput, Stickstoffsaldo und Humussaldo zur Verfügung (Beispiele in Abbildung 5.12-7 bis 5.12-11). Dies ermöglicht die Einordnung und bessere Interpretation der Ergebnisse der Pilotbetriebe PB 33, PB 50, PB 58 und PB 68.

5.12.3.5.1 Energieeffizienz

Der Energieinput in der Pflanzenproduktion variiert in einem großen Bereich von $4 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Low-Input-Systeme) bis $18 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (High-Input-Systeme), der Energieoutput von 50 bis über $200 \text{ GJ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Einordnung der ökologischen Betriebe PB 33 und PB 58 im Spektrum aller Betriebe (Abbildung 5.12-7) belegt deren energieextensive Flächennutzung; der Energieinput ist ein Indikator für Regulations- und Eingriffsintensität in einem Agrarökosystem. Hinsichtlich der Energieeffizienz unterscheiden sich diese beiden Betriebe nur marginal.

Wie die Abbildung 5.12-7 zeigt, gibt es aber auch ökologische Betriebe, die bei gleichem Energieinput etwa 50 % höhere Energieoutputs erzielen. Als eine Teilursache sind standortbedingte Ertragseffekte nicht auszuschließen. Daher sollte für eine objektive Bewertung beim Indikator Energieeffizienz künftig eine standortdifferenzierte Auswertung erfolgen. Der Betrieb PB 68 liegt im unteren, der Betrieb PB 40 im mittleren Intensitätsniveau der konventionellen Pilotbetriebe. Beide Betriebe sind, gemessen am Energieoutput, im oberen Leistungsbereich; sie haben eine überdurchschnittlich hohe Energieeffizienz (vgl. auch Tabelle 5.12-2).

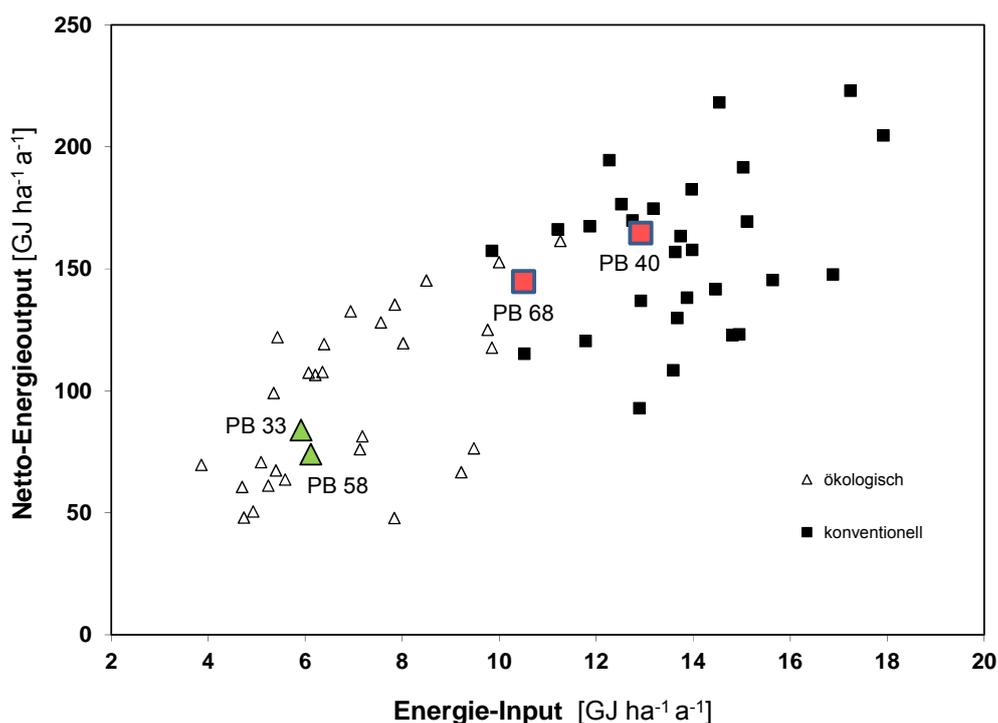


Abbildung 5.12-7: Beziehung zwischen dem Energieinput und dem Netto-Energieoutput in der Pflanzenproduktion.

5.12.3.5.2 Stickstoffsalden und Stickstoffverluste

Die bisher ausgewerteten Pilotbetriebe umfassen einen N-Inputbereich von 100 bis > 350 kg N ha⁻¹ a⁻¹ (Abbildung 5.12-8). Je nach standort- und bewirtschaftungsbedingter N-Ausnutzung ergeben sich N-Salden von -50 kg N ha⁻¹ a⁻¹ bis > 120 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Wirklich extreme N-Überschüsse, wie sie einzelbetrieblich und auch regional konzentriert bei flächenunabhängiger Tierhaltung sowie im Intensivgemüsebau auftreten, sind in diesem Datensatz nicht enthalten.⁷

Die beiden ökologischen Betriebe PB 58 und PB 33 markieren die untere Grenze des N-Inputs aller Untersuchungsbetriebe. Es gibt einige Ökobetriebe mit negativen N-Salden; dies weist auf abnehmende Boden-N-Vorräte auf den Acker- und Grünlandflächen hin.

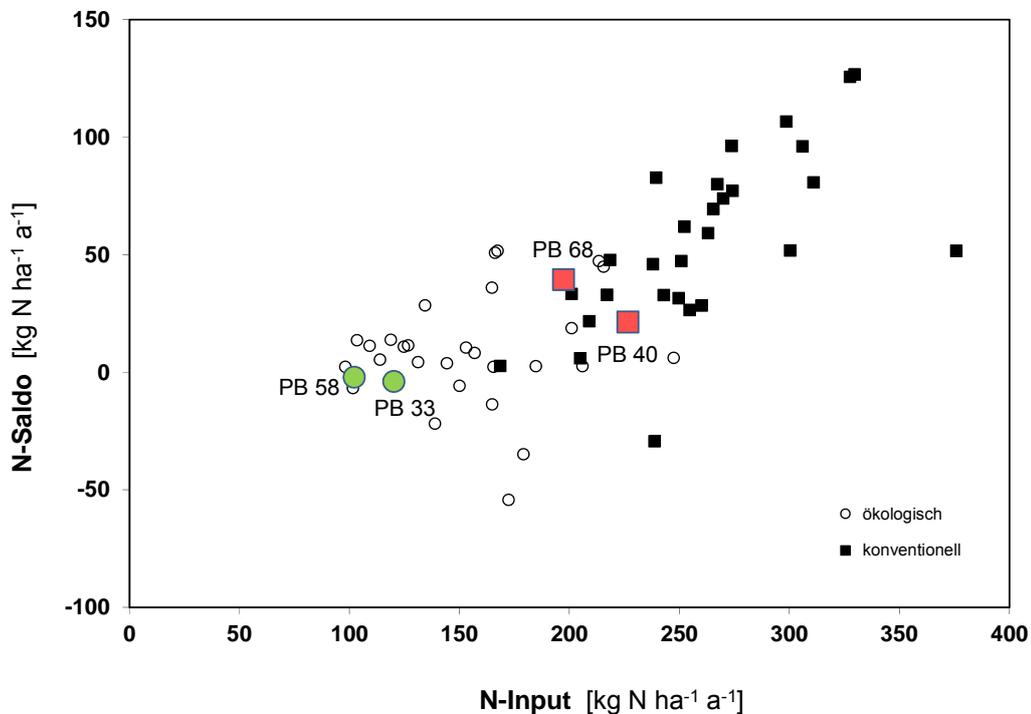


Abbildung 5.12-8: Beziehung zwischen dem N-Input und dem N-Saldo (ohne ΔN_{org}) der flächenbezogenen Stickstoffbilanz.

Die Betriebe PB 68 und PB 40 liegen mit N-Zufuhren von 200 bis 220 kg N ha⁻¹ a⁻¹ weit unter dem Durchschnitt der konventionellen Pilotbetriebe (261 kg N ha⁻¹ a⁻¹). Sie sind hinsichtlich der N-Salden im Vergleich aller Pilotbetriebe als optimal einzustufen; einige Betriebe auf sehr hohem N-Intensitätsniveau weisen so hohe N-Salden auf, dass unbedingt Maßnahmen zur Erhöhung der N-Effizienz und Minimierung der N-Verluste umgesetzt werden sollten.

⁷ Die „Hot Spots“ der N-Überschüsse in Bundesrepublik Deutschland, z.B. in Veredlungsregionen, sind nicht Gegenstand der Untersuchungen im Netzwerk der Pilotbetriebe.

5.12.3.5.3 Humusbilanz und C-Sequestrierung

Beim Indikator C-Sequestrierung, berechnet mit der dynamischen Humuseinheiten-Methode, zeigt sich eine deutliche Differenzierung der Pilotbetriebe mit einem sehr weiten Schwankungsbereich von $-600 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bis $500 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Abbildung 5.12-9). Die Pilotbetriebe PB 33, 40, 58 und 68 liegen im mittleren Wertebereich. Sie sind – verglichen mit anderen Pilotbetrieben – weder extrem über- noch extrem unterversorgt; wenngleich in den Betrieben PB 40 und PB 68 mit negativer Humusbilanz Optimierungsbedarf besteht (vgl. Abbildung 5.12-6).

Auch die THG-Emissionen der PB 33, 40, 58 und 68 sind mit etwa 24 bis 36 $\text{kg CO}_{2\text{eq}} \text{ GE}^{-1}$ auf mittlerem Niveau. Zur weiteren Minderung der produktbezogenen THG-Emissionen gibt es sehr unterschiedliche Möglichkeiten; eine Strategie ist die hier dargestellte C-Sequestrierung.

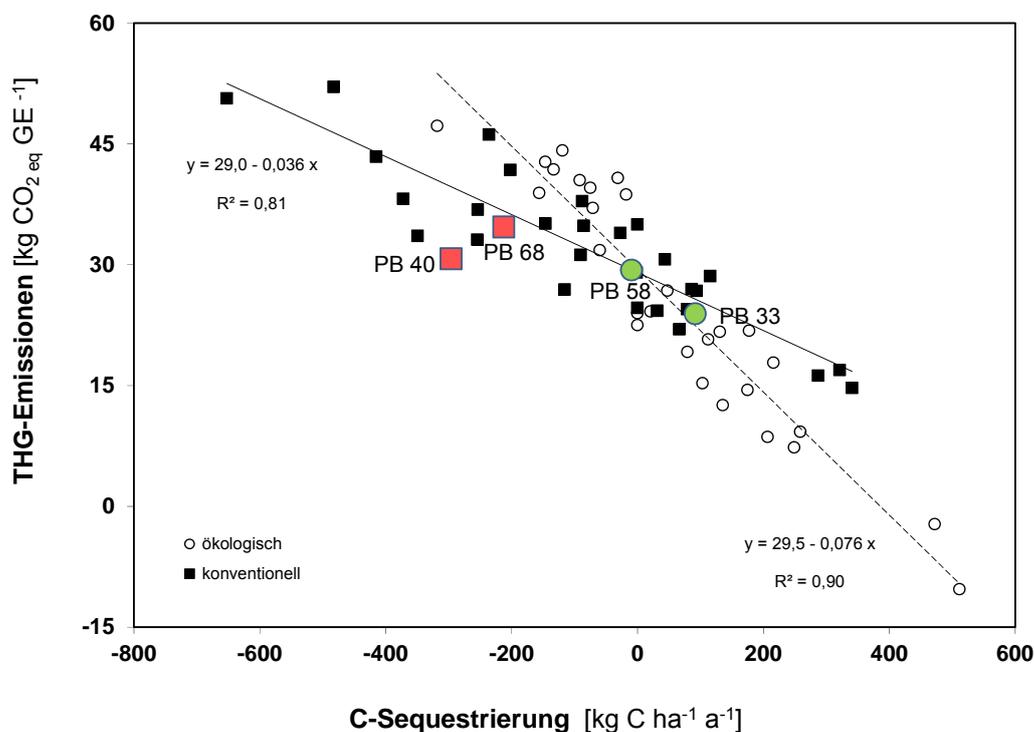


Abbildung 5.12-9: Beziehung zwischen der C-Sequestrierung und den produktbezogenen Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau.

5.12.3.5.4 Indikatoren zur Milchviehhaltung

Für die beiden milchviehhaltenden Betriebe PB 33 und PB 68 liegen sehr detaillierte Daten zur Milchproduktion vor, z.B. produktionstechnische Daten, Futtererzeugung und Futterqualität, Fütterungsregime, Milchleistungen und Milchqualität, Haltungssystem. Die von Frank et al. (2013) entwickelte Me-

thodik der Energie- und Treibhausgasbilanzierung der Milchviehhaltung kam auch in den Betrieben PB 33 und PB 68 zur Anwendung. Ausgewählte Ergebnisse sind als Betriebsvergleich in den Abbildungen 5.12-10 und 5.12-11 dargestellt.

Der Einsatz fossiler Energie ist ein wesentlicher Faktor, der die Effizienz der Milchviehhaltung und die Treibhausgasbilanz bestimmt. Der produktbezogene Energieinput schwankt in den Pilotbetrieben zwischen 1,8 und 3,0 MJ kg⁻¹ ECM (Frank et al. 2013), wobei eine negative Beziehung zur Milchleistung besteht (Abbildung 5.12-10). Hierbei überlagern sich sehr viele Einflussfaktoren wie Art und Intensität der Futtererzeugung, Futterzulauf, Rationsgestaltung, Bestandsreproduktion, Haltungsbedingungen; es gibt daher sehr unterschiedliche Ansatzpunkte zur Effizienzsteigerung.

Der biologisch-dynamische Betrieb PB 33 setzt mit 2,1 MJ kg⁻¹ ECM relativ wenig fossile Energie ein; Ursachen sind der Weidegang und die grundfutterbetonte Rationsgestaltung. Der Betrieb ist im oberen Milchleistungsbereich der ökologischen Pilotbetriebe zu finden.

Der Betrieb PB 68 benötigt etwa 2,5 MJ, um ein kg Milch zu produzieren; mit ca. 8000 kg ECM Kuh⁻¹ a⁻¹ liegt dieser Betrieb im mittleren Leistungsbereich der konventionellen Pilotbetriebe. Anhand der Detaildaten zur Milcherzeugung können einzelbetriebliche Ansätze zur energetischen Optimierung abgeleitet werden.

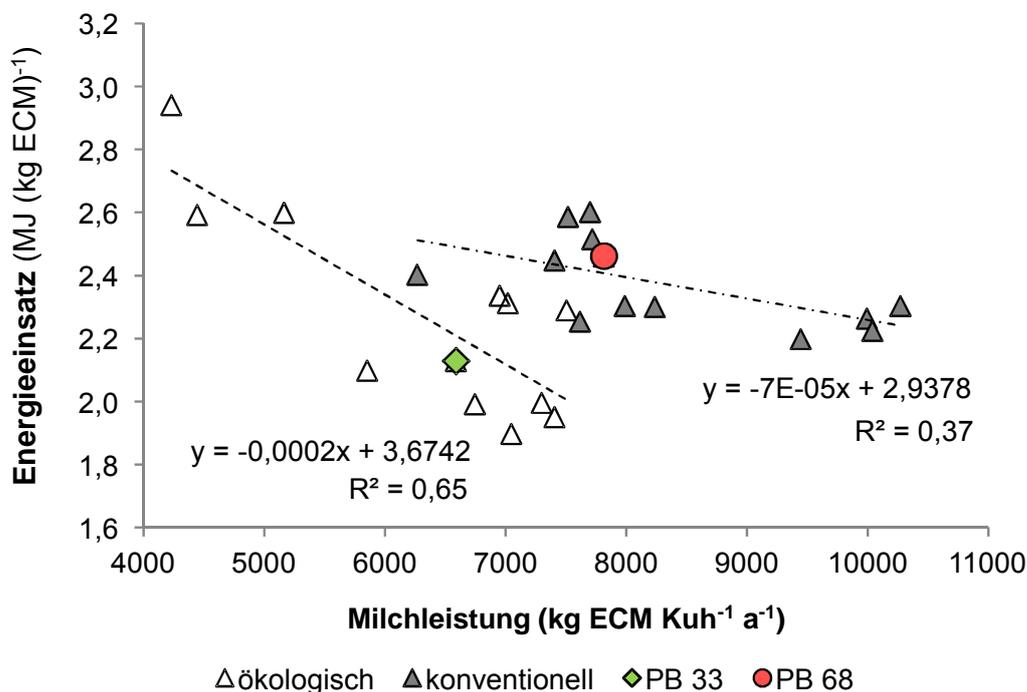


Abbildung 5.12-10: Beziehung zwischen der Milchleistung und dem Energieeinsatz je kg ECM.

Die Milchleistung steht nicht nur mit der Energieeffizienz, sondern auch mit den produktbezogenen Treibhausgasemissionen in Beziehung (Abbildung 5.12-11). Für beide Betriebe (PB 33 und PB 68) wurden nahezu identische THG-Emissionen in Höhe von $950 \text{ g CO}_{2\text{eq}} (\text{kg ECM})^{-1}$ ermittelt. Beide Betriebe produzieren im Vergleich zur Gesamtheit aller bisher ausgewerteten Pilotbetriebe relativ emissionsarm.

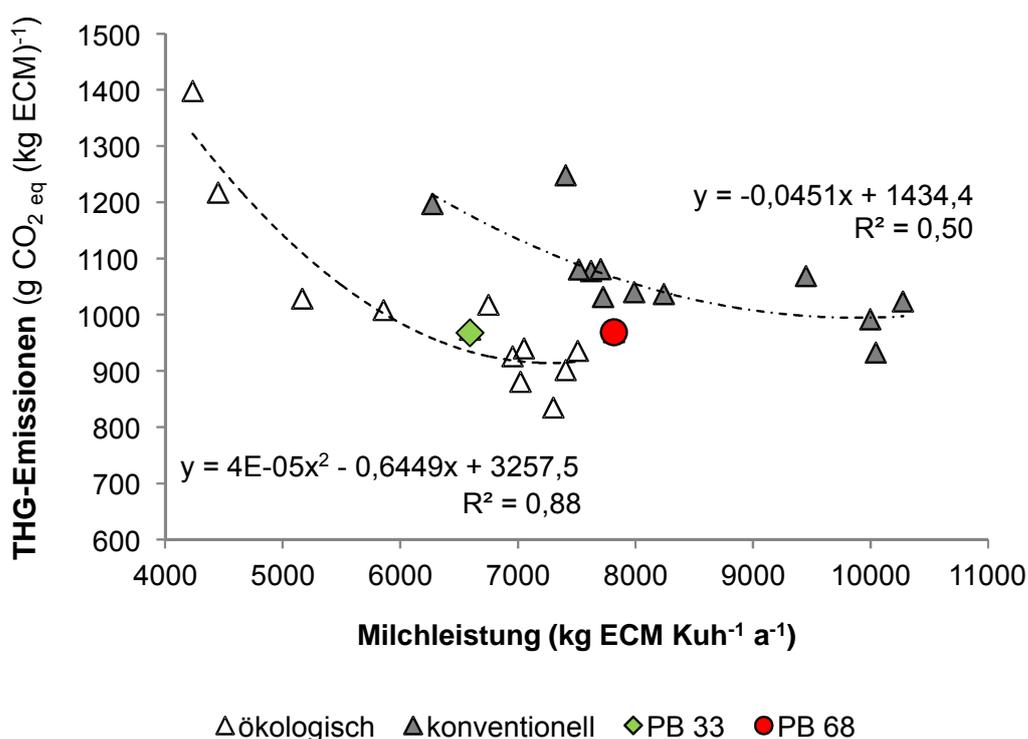


Abbildung 5.12-11: Beziehung zwischen der Milchleistung und den Treibhausgasemissionen je kg ECM.

5.12.4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Projekt hat gezeigt, dass in den landwirtschaftlichen Betrieben Beratungsbedarf zur Energie- und Nährstoffeffizienz, zur Humusversorgung von Ackerböden, zu Klimawirkungen der landwirtschaftlichen Produktion besteht. Landwirtschaftliche Betriebsleiter stehen dieser Thematik aufgeschlossen gegenüber. Sie sind aber noch relativ wenig oder gar nicht informiert, wie effizient ihr Einsatz von Nährstoffen und Energie im Vergleich zu anderen Betrieben ist bzw. welche Optimierungspotenziale zur Minderung von THG-Emissionen bestehen. Die Betriebsleiter legen großen Wert auf konkrete Aussagen zu ihrer betrieblichen Situation (keine pauschalen Empfehlungen, sondern ausreichend detaillierte und fundierte Ergebnisse).

Die bisherigen Auswertungen und Diskussionen zeigen, dass für Betriebsleiter der Vergleich mit anderen Betrieben oftmals wichtiger und aufschlussreicher ist als eine eher abstrakte Bewertung mit Zielwer-

tungen oder Bewertungsfunktionen. Bei wiederholtem Benchmarking können betriebliche Veränderungen und Entwicklungsprozesse in ihrem Einfluss auf wichtige Zielkriterien dargestellt werden.

Die Daten für Betriebsvergleiche sind derzeit noch nicht nach Regionen spezifiziert. Bei ausreichendem Untersuchungsumfang⁸ sollte aber unbedingt eine differenzierte Auswertung nach Agrar-Klimaregionen und Ertragspotenzialen (z.B. Bodenzahlen) erfolgen. Ein regional-spezifisches Datenset für ein Benchmarking wäre aussagekräftiger; mögliche Fehlbewertungen aufgrund unterschiedlicher Standortvoraussetzungen würden dadurch eingeschränkt werden.

5.12.5 Literatur

Andreoli M, Tellarini V (2000) Farm sustainability evaluation: methodology and practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77:43-52

Brock C, Franko U, Oberholzer H-R, Kuka K, Leithold G, Kolbe H, Reinhold J (2012) Humus balancing in Central Europe – concepts, state of the art, and further challenges. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176:3-11

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

Hülsbergen K-J (2003) Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker Verlag Aachen

Hülsbergen K-J (2009) Ein Modell zur Analyse und Bewertung landwirtschaftlicher Betriebssysteme. *Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Initiativen zum Umweltschutz* 74:13-28

Hülsbergen K-J, Schmid H, Frank H (2013) Ressourcenschonung in der Pflanzen- und Milchproduktion. DLG-Wintertagung am 15. bis 17. Januar 2013 in Berlin. DLG-Band 107:43-60

Küstermann B, Christen O, Hülsbergen K-J (2010) Modelling nitrogen cycles of farming system as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135:70-80

Osterburg B (2008) Bestandsaufnahme der N-Bilanzüberschüsse – Status quo, Entwicklungen und hot spots. *Agrarspectrum* 41:61-73

Schaffner A, Hövelmann L (2009) Der DLG-Nachhaltigkeitsstandard „Nachhaltige Landwirtschaft - zukunftsfähig“. In: Grimm C, Hülsbergen K-J (Hrsg.): *Nachhaltige Landwirtschaft, Indikatoren, Bilanzierungsansätze, Modelle*. *Initiativen zum Umweltschutz* 74:161-169

⁸ Auch Datensätze aus anderen Forschungsprojekten und Untersuchungen nach gleicher Methodik sollten – je nach Fragestellung – für Betriebsvergleiche verwendet werden.

Taube F (2013) Die Bedeutung der angewandten Systemforschung im Agrarbereich. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 4/2013, S. 23-36

VDLUFA (2004) VDLUFA-Standpunkt: Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten