

On Farm Methode zur differenzierten Quantifizierung von Energie-, Stickstoff- und Phosphoreffizienzen auf Betriebsebene

Kohnen, H.¹, Boonen, J.¹, Conter, G.¹, van Vliet, G.² & Wengler, F.¹

¹ Lycée Technique Agricole Ettelbrück (L); henri.kohnen@education.lu

² Administration des Services Techniques de l'Agriculture (L)

Einleitung und Problemstellung

Das Führen von Pilotbetriebsnetzen in der Landwirtschaft ermöglicht Forschern, Beratern und Landwirten praxisnah Probleme zu erkennen sowie innovative Lösungen auszuarbeiten und umzusetzen. Diese Optimierungen auf den Höfen müssen betriebsspezifisch sein und hängen demnach von betriebseigenen Daten ab. Der Methodik dieser Datenerfassung kommt somit eine große Bedeutung zu – vor dem Hintergrund einer möglichst standardisierten Methode, und um den Arbeitsaufwand in Grenzen zu halten, soll dabei exklusiv auf vorhandene Datenquellen aus Buchführung und Betriebsmanagement (Milchleistungsprüfung, Fütterung ...) zurückgegriffen werden.

Die Hoftorbilanzierung für Energie, Stickstoff und Phosphor ist eine anerkannte Methode zur Analyse der nachhaltigen Nutzung dieser Betriebsmittel. Aktuelle Methoden liefern jedoch meist nur Ergebnisse auf Betriebsebene.

Dies macht auf den ersten Blick Sinn, denn eine nachhaltige Tierproduktion kann nie unabhängig vom Feldfutterbau bewertet werden. Zu stark sind die Zusammenhänge der Nährstoffflüsse für Energie, Stickstoff und Phosphor zwischen Feld und Stall: Auf den landwirtschaftlichen Flächen geerntete Nährstoffe gelangen als Futtermittel in den Stall, werden von den Tieren aufgenommen und zu tierischen Produkten veredelt. Ein großer Teil des Futters gelangt jedoch mit den tierischen Ausscheidungen wieder auf die Felder. Will man nun die Nutzung der Nährstoffe im Betrieb verbessern und betriebliche Schwachstellen aufdecken, ist es unerlässlich die Nährstoffflüsse im Stall bzw. auf den Feldern getrennt zu erfassen.

Das größte Problem stellt die Ertragserfassung im Futterbau dar. Grünland- sowie Maiseerträge sind auf Betriebsebene kaum direkt messbar und können bis dato nur indirekt geschätzt werden. Die Präzision dieser Schätzung ist somit ein zentrales Schlüsselement einer differenzierten Analyse der Nährstoffflüsse auf Feld- und Stallebene.

Im Rahmen des Dairyman- Projektes (Dairyman 2009- 2013) hat sich die ANCA- Methodik (Annual Nutrient Cycling Assessment) aus den Niederlanden (AARTS, 2013; HOLTER *et al.*, 2013; SCHROEDER *et al.*, 2014) diesbezüglich als interessant erwiesen. Leider ist besagte Methode ausschließlich auf spezialisierte Milchviehbetriebe ausgerichtet und kann somit selten auf luxemburgische Betriebe angewandt werden, da es sich in Luxemburg zumeist um Gemischtbetriebe mit verschiedenen Produktionszweigen (Milchvieh-, Mutterkuhherde oder Bullenmast) handelt. Das Ziel ist es die ANCA- Methode weiter zu entwickeln, und u.a. an folgenden Punkten an luxemburgische Verhältnisse anzupassen, bzw. auf Verlässlichkeit zu prüfen:

- Mengen an Nährstoffen (N, P) durch tierischen Ausscheidungen,
- Futtereffizienz und -verluste von N und P in der Milch- und Fleischproduktion, Düngereffizienz und -verluste im Futterbau und
- Erträge im Grünland und Maisanbau.

Material und Methoden

Die Arbeiten basieren auf einem Netz von 6 Pilotbetrieben, welches aus dem Dairyman- Projekt hervorgegangen ist. Neben einer wirtschaftlichen Buchführung (nach dem BMELV-Standard, erweitert) liegen für diese Betriebe auch Daten zu Nährstoffflüssen und Futterertrag vor, welche die Basis zur Anwendung der erweiterten ANCA- Methode bilden.

Die ANCA- Methode (KringloopWijzer) wurde ursprünglich von WURL (Wageningen University & Research Centre; www.wageningenur.nl) und speziell dem Projekt Koeien & Kansen (Kühe und

Möglichkeiten; www.koeienenkansen.nl) entwickelt (SCHRÖDER *et al.*, 2014). Sie besteht aus 5 Modulen:

- (1) BEX: Berechnung der tierischen Exkretion für Stickstoff (N) und Phosphor (P);
- (2) BEA: Berechnung der Ammoniak-Emission;
- (3) BEN: Berechnung der Nährstoffflüsse für Stickstoff (N);
- (4) BEP: Berechnung der Nährstoffflüsse für Phosphor (P);
- (5) BEC: Berechnung der Nährstoffflüsse für Kohlenstoff (C).

BEX stellt das zentrale Basismodul dar, welches es als Online Tool ermöglicht, die Futtererträge zu schätzen und so getrennt die Nährstoffflüsse auf Tier- und Bodenebene zu isolieren und zu analysieren. BEX funktioniert exklusiv auf spezialisierten Milchviehbetrieben. Das von uns entwickelte Modell (Excel- Arbeitsblatt) ermöglicht es dagegen, auch Gemischtbetriebe zu erfassen, welche neben der Milchwirtschaft auch noch andere betriebliche Standbeine haben (Fleischrinder, ...) - das Hinzufügen weiterer (tierischer) Produktionsrichtungen (Schafe, Ziegen, Pferde, Schweine...) ist nach Belieben möglich.

Das Saldo der betrieblichen Hoftorbilanz ergibt sich aus der Differenz (Nährstoff-Saldo) von INPUT (Nährstoffmengen, meist für N und P, welche über Dünger und Tierfutter in den landwirtschaftlichen Betrieb gelangen) und OUTPUT (Nährstoffmengen welche diesen als landwirtschaftliche Produkte z.B. Milch, Fleisch,...) wieder verlassen.

$$\text{IMPORT}_{(\text{NST})} - \text{EXPORT}_{(\text{NST})} = \text{Saldo}_{(\text{NST})} \quad (\text{NST: Nährstoffe})$$

Das Prinzip einer erweiterten Nährstoffbilanz auf den Produktionsebenen Tier und Boden ist in Abb. 1 dargestellt. Sie ermöglicht eine getrennte Berechnung der Nährstoffeffizienz auf beiden Ebenen. Als Einheit für die Futterenergie wird das niederländisch- belgische VEM System benutzt. Ein [MVEM] (MegaVEM) entspricht der Futterenergie für Milchproduktion, welche in einer Tonne Futtergerste enthalten ist. Stickstoff wird in [kg N] und Phosphor in [kg P₂O₅] gerechnet. Für die Berechnungen werden folgende Formeln benutzt:

- Effizienz auf Tierebene: $\text{Tier}_{\text{EXP}} \cdot (\text{Fut}_{\text{IMP}} + \text{Fut}_{\text{HOF}})^{-1} \cdot 100$
- Effizienz auf Bodenebene: $(\text{Düng}_{\text{HOF}} + \text{Düng}_{\text{IMP}}) \cdot (\text{Fut}_{\text{HOF}} + \text{Fut}_{\text{EXP}})^{-1} \cdot 100$
- Organischer Dünger: $\text{Fut}_{\text{IMP}} + \text{Fut}_{\text{HOF}} - \text{Tier}_{\text{EXP}}$
- Verluste Bodenebene: $\text{Düng}_{\text{HOF}} + \text{Düng}_{\text{IMP}} - \text{Fut}_{\text{HOF}} - \text{Fut}_{\text{EXP}}$

(Tier_{EXP}: Verkaufte tierische Produkte; Fut_{IMP}: Zugekaufte Futtermittel; Fut_{HOF}: Auf den betriebseigenen Flächen produzierte Futtermittel; Fut_{EXP}: Verkaufte Futtermittel; Düng_{HOF}: Organischer Dünger aus den Tierausscheidungen).

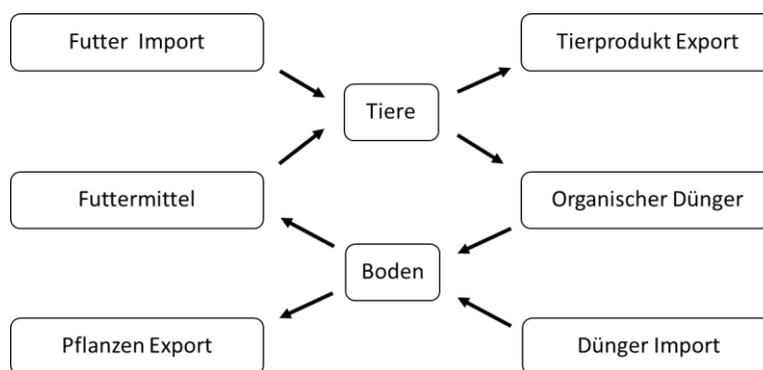


Abb. 1: Prinzip einer erweiterten Nährstoffbilanz auf Tier- und Pflanzenebene.

Die Werte für (1) Futterimport, (2) tierische Exporte, (3) Düngerimport und (4) Pflanzenexporte können relativ einfach aus den Daten der wirtschaftlichen Buchführung des Betriebes entnommen werden. Hofintern produziertes und verfüttertes Futter ist dagegen in der Regel nicht erfasst und muss rechnerisch ermittelt werden. Hier werden die Futtererträge nach einer Methode geschätzt, welche auf der Futterenergie aus den Futterrationen beruht (Basis Ration). Der Gesamtenergieverbrauch der Herde kann über Tierzahl, Lebendgewichte und tierische Leistungen errechnet wer-

den. Durch Subtraktion der Energie aus den Zukaufsfuttermitteln wird die Energieproduktion der landwirtschaftlichen Fläche des Betriebes geschätzt. Aus den durchschnittlichen Energiegehalten und den Trockenmasseanteilen (% TM für Grünfutter, und Silagen, ...) der jeweiligen Futtermittel können Erträge errechnet werden. Die durchschnittlichen Energiegehalte sind aus den Futtermittelanalysen bekannt. Bei der ANCA- Methode werden die Trockenmasseanteile einfach durch eine durchschnittliche Futterration der Milchkühe ermittelt. Dies ergibt auf spezialisierten Milchviehbetrieben mit einer übers Jahr konstanten Futterration, auch gute Resultate. Für die Gemischtbetriebe in Luxemburg gestaltet sich dies allerdings schwieriger, da meist mehrere Tiergruppen gefüttert werden und die Futterrationen saisonal stark schwanken. Als Konsequenz müssen die variierenden Futterrationen der einzelnen Gruppen deshalb in einem monatlichen Rhythmus erfasst, und im Folgenden die Trockenmasseanteile errechnet werden.

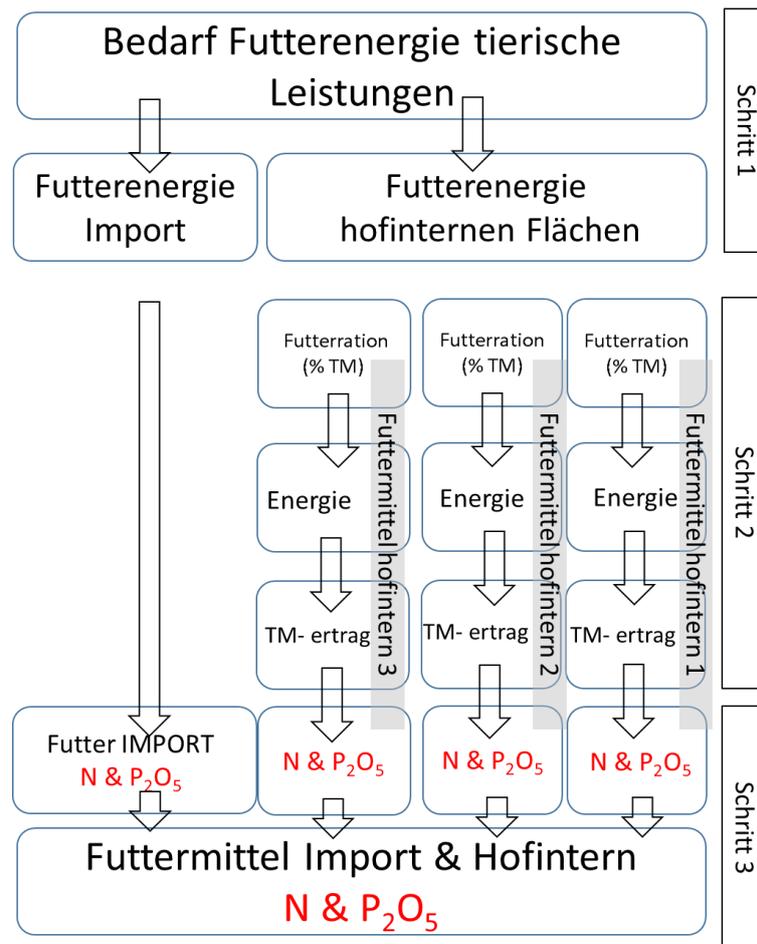


Abb. 2: Schema zur Erstellung einer Nährstoffbilanz auf der Tierebene. Schritt 1: Errechnen der Futterenergie aus den hofinternen Flächen, Schritt 2: Abschätzen der Trockenmasseerträge der hofinternen Futtermittel, Schritt 3: Errechnen den Nährstoffe im Gesamtfuttermittel.

In der tierischen Produktion genutzte Inputstoffe (Nährstoffe), die nicht als Produkt auf der Outputseite erscheinen, werden zu den tierischen Ausscheidungen und somit zu dem auf dem Betrieb produzierten Dünger gerechnet. Diese Nährstoffe wiederum, falls nicht vom Hof exportiert, werden mit jenen der zugekauften Düngemittel auf die Felder ausgebracht. Da man nun die Erträge durch die Rückrechnung aus Futtermittelenergie und Futtermittelanteile kennt, können die durch die Futtermittelproduktion gewonnenen Nährstoffe geschätzt werden. Alle Düngernährstoffe, die nicht über die Pflanzenproduktion wiedergewonnen werden, gelten als Verluste (Auswaschung oder Verflüchtigung).

Systembedingte Verluste welche bei der Futterwerbung, Futterkonservierung, Futterreste, Lagerung und Ausbringung von Gülle entstehen, werden nicht berücksichtigt und den Verlusten im Boden zugerechnet. In der erweiterten ANCA Methode (Modul BEA, BEN und BEP) werden diese

Verluste berücksichtigt und aus Standardverlustwerten errechnet. Auch die Stickstofffixierung durch Leguminosen und Stickstoffdeposition werden ignoriert. Betriebe mit hohem Anteil an Leguminosen werden somit grundsätzlich effizienter eingestuft.

Zur Kontrolle der Ernteerträge aus der Grundfutterproduktion (Grünland, Mais, ...) werden diese nach einer zweiten Methode geschätzt, welche auf den Ertragsvolumen beruht (Basis Volumen). Die Ertragsvolumen für Grassilage; Maissilage; Silage- und Heuballen werden nach ihrer geschätzten Dichte in Trockenmassenerträge konvertiert:

- Dichte Grassilage: $[5 \cdot TM + 16 \cdot \text{Höhe} + 34]$;
- Dichte Maissilage: $[(929 - (17,5 \cdot TM) + (7,9 \cdot \text{Stärkegehalt}) + (44 \cdot \text{Höhe})) \cdot TM / 100]$;
- Dichte Rundballensilage: $[51,67 + TM \cdot 2,33]$; Dichte Rundballenheu: $[190]$;
- Dichte Quaderballenheu: $[220]$;

Einheiten:

- Dichte $[\text{kg TM} \cdot (\text{m}^3)^{-1}]$;
- Höhe $[\text{m}]$;
- TM $[\%]$;
- Stärkegehalt $[\%]$.

Die beschriebene Methode basiert auf französischen Erkenntnissen und wird seit einigen Jahren auf unseren Pilotbetrieben eingesetzt. Die tägliche Weideaufnahme wird anhand des Weidekalenders (KOHLEN, 2009) geschätzt.

Ergebnisse und Diskussion

Die Strukturdaten (Tab. 1) der sechs Pilotbetriebe verdeutlichen die breite Diversität luxemburgischer Betriebe. Alle Betriebe betreiben neben der Milchproduktion (erstes Selektionskriterium) noch Ackerbau (Getreide-, Raps-, Hackfruchtanbau und Silomais). Drei Pilotbetriebe mästen zusätzlich Bullen, teils aus Fresserzukauf, teils aus Fressern der eigenen Mutterkuhherde (Fleckvieh, LU05 oder Limousin, LU01; LU02). Die landwirtschaftliche Nutzfläche wird im Durchschnitt zu 64% für die Milchproduktion genutzt. Dauergrünland und Maisanbau stellen die Hauptfutterflächen dar. Milchleistungsfutter wird zugekauft. Der organische Dünger wird ausschließlich auf die betriebseigenen Flächen ausgebracht.

Tab. 1: Betriebsdaten der 6 Pilotbetriebe (LUØ: Durchschnitt der 6 Betriebe)

Betrieb	LU01	LU02	LU03	LU04	LU05	LU06	LUØ6
EPCM $[1000 \text{ kg} \cdot \text{Betrieb}^{-1}]$	368	353	575	311	383	1.440	572
Milchleistung $[\text{kg} \cdot \text{Kuh}^{-1} \cdot \text{Jahr}^{-1}]$	6.151	8.123	9.164	6.173	6.398	9.094	7.517
Milchkühe $[\text{n}]$	60	44	63	50	60	158	72
Mutterkühe $[\text{n}]$	30	2	0				
Mastbullen $[\text{n}]$	46	2	0				
Landw. Nutzfläche $[\text{ha}]$	149	92	98	98	102	226	127
davon Mais $[\text{ha}]$	10,8	0,0	12,5	10,7	16,8	37,0	14,6
davon Grünland $[\text{ha}]$	111,1	77,9	63,2	62,5	65,5	139,8	86,7
davon Ackerfrüchte $[\text{ha}]$	27,3	14,1	21,9	25,2	19,6	48,7	26,1
Landw. Nutzfläche für Milchkühe $[\%]$	65	89	78	61	50	54	64
davon Mais $[\%]$	40	-	100	95	40	80	72
davon Grünland $[\%]$	70	99	100	80	68	60	76
davon Ackerfrüchte $[\%]$	55	37	0	0	0	18	18
produzierte Milch/ha LN für Milchkühe	3.790	4.298	7.604	5.165	7.464	11.784	6.684

Aktuell konnten 3 Betriebe ausgewertet (Tab. 2) werden. Zusätzlich wird noch ein spezialisierter Mutterkuhbetrieb (LU0X) sowie ein spezialisierter Milchviehbetrieb (LUXX) erfasst, um Unterschiede in den einzelnen Betriebsausrichtungen zu verdeutlichen.

Die Datenerfassung auf einem Betrieb, nimmt in etwa einen Tag in Anspruch, hierbei sind die Daten aus der betriebswirtschaftlichen Auswertung eine wertvolle Hilfe. Die Aussagekraft der Effizienzanalyse hängt somit maßgeblich von der Genauigkeit dieser zentralen Datenquelle ab.

Tab. 2: Effizienz [%] von 5 Betrieben

	N			P			
	Tier	Boden	Betrieb	Tier	Boden	Betrieb	
LU01	17	69	29	20	112	184	Milch & Bullen
LU02	20	94	73	22	79	47	Milch Bio
LU03	23	52	29	31	80	63	Milch spezialisiert
LU0X	10	98	94	-	-	-	Mutterkühe
LUXX	25	51	28	30	25	106	Milch spezialisiert

Die Quantifizierung der hofeigenen Grundfuttermittel in den einzelnen Rationen erwies sich weit- aus schwieriger als erwartet, denn es werden nicht die aktuellen (2015) Futterrationen benötigt, sondern jene aus dem letzten abgeschlossenen Buchführungsjahr (2013). Rückwirkend Futterrationen zu erfassen, die vor 24 bis 36 Monaten verfüttert wurden, ist schwierig. Milchviehbetriebe mit alleiniger Stallfütterung sind dabei auf Grund bestehender Berichte der Futterberatung noch gut dokumentiert. Bei Weidegang oder Verfütterung von Frischgras in den Sommermonaten wird dies schwieriger. Unsere Pilotbetriebe führen einen Futter- und Weidekalender (KOHLEN, 2009), der genauere Daten hierzu liefert. Auf anderen Betrieben wird ein gutes Einschätzungsvermögen des Herdenmanagers benötigt. Dies gilt auch für die Erfassung der Futterrationen für Mutterkühe. Die Rationen in der Bullenmast sind meist konstant und somit auch leichter zu belegen.

Die Rückrechnung der Futtererträge über den Energiebedarf der Tiere birgt zusätzlich das Problem, dass die verfütterte Gras- und Maissilage nicht aus dem aktuellen Jahr stammen sondern teils Konserven vorheriger Jahre sind. Bei Weide oder Frischgrasfütterung ist dem nicht so. Die berechneten Grundfuttererträge stellen somit eine Mischung aus 2 Jahren dar.

Tab. 3: Unterschiede der Futtererträge für Grünland und Maisanbau je nach Schätzungsmethode (G: Grünland; M: Maisanbau; Erträge in [Tonnen Trockenmasse]). Die Methode auf Basis der Volumina schätzt die Erträge 2014 mit den Überschüssen, die Methode auf Basis der Futterrationen nur die verfütterten Erträge 2013- 2014.

	Basis Volumen		Basis Ration	
	G	M	G	M
	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹
LU01	3,8	15,4	4,2	9,8
LU02	6,7	-	3,9	-
LU03	7,7	14,8	3,8	13,5

Tabelle 3 verdeutlicht ein weiteres Problem, nämlich die Erfassung von nicht unmittelbar in der darauf folgenden Winterfütterungssaison genutzten Grundfuttermitteln, aufgrund eines besonders ertragsreichen Jahres. Grünlanderträge unterliegen wetterbedingt großen Schwankungen. Eine Inventur der Futtermittelvorräte, wenn möglichst zur Jahreswende (Dezember; Januar) bleibt demnach unerlässlich.

In den Niederlanden scheint das Erfassen der Futterrationen weniger problematisch. Zum einen werden nur spezialisierte Milchviehbetriebe ausgewertet und zum anderen ist Weidegang, falls angewendet, durch starke Zufütterung im Stall sehr begrenzt. Die Futterrationen sind sehr konstant und oft muss Grundfutter noch zugekauft werden. Eine Überproduktion im Futterbau durch ein besonders ertragsreiches Jahr wird selten als Reserve für eine spätere als bei der unmittelbar folgenden Winterfütterung eingesetzt.

Auch wenn die Anzahl der untersuchten Betriebe sehr niedrig ist, deutet sich doch an, dass sich die Effizienzen für Betriebe mit spezialisierten Milch- oder Mutterkuhherden und/oder gemischten Betrieben, deutlich unterscheiden: Milchviehbetriebe kennzeichnen sich durch eine höhere Effizienz

als Mutterkuhherden, Gemischtbetriebe mit zwei Herden reihen sich dazwischen ein. Durch weitere Versuchsreihen sollen diese Tendenzen belegt und Referenzwerte geschaffen werden. Die Effizienz auf Biobetrieben sollte sehr hoch sein, da ausschließlich hofeigener organischer Dünger eingesetzt wird und die N-Fixierung durch Leguminosen nicht berücksichtigt wird.

Ein geringeres Problem stellt die Einstreu mit Stroh aus dem Getreideanbau dar, kommt diese doch in den Futterrationen nicht vor, findet sich aber in der Gülle wieder.

Schlussfolgerungen

Die ANCA- Methode besticht durch ihre einfache Handhabung in der Datenerfassung und wird in den Niederlanden aktuell im Pilotbetriebsnetz des Koeien & Kansen- Projektes erfolgreich getestet, mit dem hochgesteckten Ziel, dass Betriebe mit guter Nährstoffeffizienz in Zukunft von restriktiven Umweltauflagen bezüglich Gülleverordnung entlastet werden könnten. Niederländische Milchviehbetriebe sind überwiegend hoch spezialisiert und setzen mehrheitlich auf eine konstante Stallfütterung.

Dieses Modell nun für luxemburgische Verhältnisse anzupassen, erweist sich schwieriger als erwartet. Die Ertragsschätzung der Grundfuttermittel nach der Basisration ist kompliziert (monatliches Erfassen der Ration; Weidegang, großes Zeitfenster zwischen Datenerfassung und Fütterung, Inventur der Futtervorräte zum Jahreswechsel, ...).

Diese Probleme könnten einfach umgangen werden, indem man die Effizienz über dreijährige Zeitspannen berechnen würde. Auch eine mittelfristige Planung mit einer gezielten Erfassung der benötigten Daten im Voraus bringt Arbeitseffizienz und verbesserte Datenqualität. Des Weiteren muss eine Kontrollmethode erarbeitet werden um die Futtererträge zu schätzen.

Eine korrekte Datenerfassung wird nur durch eine geschulte betriebsexterne Person möglich sein. Dies wäre zum Beispiel arbeitseffizient durch einer Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Buchführungsstellen möglich. Futterrationen sowie Inventur der Grundfuttervorräte könnten so sicherer erfasst werden. Sollte die Methode zur individuellen Betriebsverbesserung genutzt werden, müssen noch Referenzwerte für die verschiedenen Betriebstypen sowie für die einzelnen Produktionen (Pflanzen, Tiere) erarbeitet werden. Hierzu würde sich eine Zusammenarbeit in einem internationalen Projekt anbieten.

Die Methode wurde auch von den Schülern einer Abschlussklasse der Ackerbauschule auf den elterlichen Betrieben angewendet. Für alle Schülerbetriebe konnten nicht nur die jeweilige betriebliche Effizienz errechnet werden, sondern auch Ansätze für eine Betriebsoptimierung (GRIGNARD, 2012) ausgearbeitet werden.

Literatur

AARTS, H.F.M. and HAAN, M.H.A. (2013): Project 'Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA)' <http://www.verantwoordeveehouderij.nl/nl/mijnkringloopwijzer/Publicaties.htm>.

GRIGNARD A., ET AL. (2012): La définition de plans d'amélioration pour améliorer les performances environnementales des élevages laitiers. RENC. RECH. RUMINATS, 2012,19 PP 269-272

HILHORST, G.J.. (2013): KringloopWijzer onmisbaar voor betere mineralenbenutting In: Koeien & Kansen Nieuwsbrief 2013 38. - p. 3.

HOLSTER, H.C., HAAN, M.H.A. DE , PLOMP, M. , TIMMERMAN, M. & VROLIJK, M. (2013): KringloopWijzer, goed geborgd! = Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA), adequately assured!?. Wageningen UR report 676 p. 55

KOHLEN H. (2009): L'ABAQUE PATURAGE: UN OUTIL POUR DETERMINER ET OPTIMISER LA QUANTITE D'HERBE PATUREE A PARTIR DE LA PRODUCTION LAITIERE ET DE LA COMPLEMENTATION. FOURRAGES No. 199, PP. 393-396

SCHRÖDER JJ., LB SEBEK, JW REIJS, J OENEMA, RMA GOSELINK, JG CONIJN & DE BOER, J. (2014): Rekenregels van de KringloopWijzer. Wageningen UR report 553. <http://www.verantwoordeveehouderij.nl/nl/mijnkringloopwijzer/Publicaties.htm>

ZESSEN, T. VAN. (2013): De sector op zijn best - Kringloopwijzer verplicht in voorstellen van het nieuwe mestbeleid Livestock Research. In: Veeteelt 30 (2013)11. - ISSN 0168-7565 - p. 39 - 39..