

Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb

3. Mitteilung: Nährstoffbilanzen auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis

L. Gruber, R. Steinwender, T. Guggenberger und G. Plakolm

Comparison of organic and conventional farming on a grassland farm

3rd Communication: Nutrient balances on supply/withdrawal basis and import/export basis

Summary

In a grassland farm at BAL Gumpenstein, organic (BE) and conventional farming (KE) were compared in an interdisciplinary experiment lasting 11 years. The experimental groups differed in the treatment of slurry (aeration and addition of rock-meal in BE), the level of fertilization (146 kg/ha mineral N in KE in addition to slurry), in the method of weed control (only mechanical in BE) and the origin of the concentrate for the dairy cows (from organic farms in BE). In group BE and KE, 5.51 and 4.36 ha were used, respectively. Seven cows were kept in each group, which results in a stocking rate of 1.27 and 1.60 cows per ha.

In both treatment groups, nutrient balances were calculated on the basis of supply/withdrawal and import/export (farmgate). The input and output components for the balances originated mainly from the experimental data of the production trial. Since the cows were kept on pasture during the summer, some data (feed intake, excretion of slurry) had to be estimated through regression equations from similar data of this station. The output of nutrients consists of the withdrawal by the plants (supply/withdrawal balance) and of the sale of milk (farmgate balance). The nutrient input results from mineral fertilizer and manure (supply/withdrawal balance) and from mineral fertilizer and purchased concentrates, respectively (farmgate balance). Regarding nitrogen, the mobilisation (60 kg/ha) and symbiotic N fixation (3 kg per % legumes) were additionally taken into account as input in the supply/withdrawal balance.

In case of nitrogen, the supply/withdrawal balance (-1 kg) and farmgate balance (4 kg) per ha agricultural area were more or less balanced in group BE. On the other hand, the N input of 146 kg by mineral fertilizer resulted in a marked surplus of the supply/withdrawal balance (116 kg) and farmgate balance (142 kg) per ha in group KE. The amount of N, additionally supplied by mineral fertilizer and manure (due to higher stocking rate) in group KE was utilized only with an efficiency of 39 % (11 kg DM/kg N). Regarding phosphorus, input and output were well balanced (supply/withdrawal balance -2 and -3 kg in BE and KE, farmgate balance 3 and 2 kg in BE and KE, respectively). Negative balances were partly found for potassium, which was reflected in decreasing K concentrations in the soil during the experimental years (supply/withdrawal balance -13 und -34 kg in BE and KE, farmgate balance 3 and -10 kg in BE and KE, respectively).

Due to numerous literature data and the present experimental results it has been concluded that the nutrient import with mineral fertilizers is primarily responsible for nutrient surpluses in agriculture, followed by purchased concentrates. If forages as well as concentrates are exclusively produced on the farm and purchased fertilizers are abandoned, a surplus in the nutrient balances cannot arise in livestock farms, since animals will not excrete more nutrients than they have consumed with feedstuffs before. Therefore, feeding livestock animals mainly with nutrients produced on one's own farm to a high extent is the key for well balanced input/output relations (production limited to one's own area). This principle of nutrient cycles is the bearing of biological farming.

Key words: Organic farming, grassland, nutrient balance, supply/withdrawal balance, farmgate balance.

Zusammenfassung

In einem Mähweidebetrieb der BAL Gumpenstein wurde in einem 11-jährigen interdisziplinären Versuch (1982–1992) die organisch-biologische (BE) mit der konventionellen Wirtschaftsweise (KE) verglichen. Die Versuchsgruppen unterschieden sich in der Behandlung der Gülle (Belüftung und Zusatz von Steinmehl in BE), dem unterschiedlichen Düngungsniveau (zusätzlich zu Gülle 146 kg/ha min. N in KE), der Unkrautbekämpfung (in BE nur mechanisch) und dem Kraftfutter der Kühe (aus biologischem Anbau in BE). Die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) betrug in BE 5,51 ha und in KE 4,36 ha. Bei 7 Kühen je Gruppe errechnet sich ein Tierbesatz von 1,27 Kühen pro ha LN in BE und 1,60 Kühen in KE.

Von den beiden Versuchseinheiten wurden die Nährstoffbilanzen (auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis) ermittelt. Die Input- und Output-Komponenten für die Bilanzierung wurden vorwiegend aus den Versuchsdaten genommen, zum Teil über Regressionsgleichungen von ähnlichen Daten dieser Versuchsstation geschätzt, da die Kühe während des Sommers geweidet wurden (Futteraufnahme, Gülleausscheidung). Der Nährstoff-Output besteht im Entzug durch die Pflanzen (Feld/Stall-Bilanz) bzw. im Verkauf der Milch (Hoftor-Bilanz). Der Nährstoff-Input ergibt sich aus Mineraldünger und Wirtschaftsdünger (Feld/Stall-Bilanz) bzw. Mineraldünger und Zukaufsfutter (Hoftor-Bilanz). Bei Stickstoff wurden außerdem die Mobilisation (60 kg/ha) und die symbiotische N-Bindung (3 kg pro % Flächenanteil an Leguminosen) auf der Inputseite der Feld/Stall-Bilanz berücksichtigt.

Bei Stickstoff war die Feld/Stall-Bilanz (–1 kg) und Hoftor-Bilanz (4 kg) pro ha LN in Gruppe BE mehr oder weniger ausgeglichen. Dagegen führte der N-Input von 146 kg über Mineraldünger zu einem starken Überschuss in der Feld/Stall-Bilanz (116 kg) und Hoftor-Bilanz (142 kg) pro ha in Gruppe KE. Der in KE mit Mineraldünger und Wirtschaftsdünger (infolge höherer Tierbesatzdichte) zusätzlich eingesetzte N wurde nur zu 39 % verwertet (11 kg T/kg N). Bei Phosphor waren die Bilanzen in beiden Gruppen nahezu ausgeglichen (Feld/Stall-Bilanz –2 und –3 kg in BE und KE, Hoftor-Bilanz 3 und 2 kg in BE und KE). Input und Output hielten sich folglich die Waage. Für Kalium wurden zum Teil negative Bilanzen festgestellt, was sich auch in abnehmenden Bodengehaltswerten widerspiegelte (Feld/Stall-Bilanz –13 und –34 kg in BE und KE, Hoftor-Bilanz 3 und –10 kg in BE und KE).

Auf Grund zahlreicher Literaturdaten und der vorliegenden Versuchsergebnisse wird der Schluß gezogen, daß in erster Linie der Nährstoffinput über Dünger und in zweiter Linie über Zukaufsfutter für Nährstoffüberschüsse in der Landwirtschaft verantwortlich sind. Wenn Grund- und auch Kraftfutter zur Gänze auf dem Betrieb erzeugt werden und auch auf zugekaufte Düngemittel verzichtet wird, können keine Überschüsse in den Nährstoffbilanzen der viehhaltenden Betriebe auftreten, da die Tiere nicht mehr an Nährstoffen ausscheiden können, als sie vorher über das Futter aufnehmen. Der Schlüssel für ausgeglichene Bilanzen liegt also in einer weitgehenden Versorgung der Tiere mit Nährstoffen, die großteils auf dem eigenen Betrieb erzeugt werden (flächengebundene Produktion). Genau in diesem Kreislaufprinzip liegt eine Stärke des biologischen Landbaues.

Schlagerworte: Biologische Bewirtschaftung, Grünland, Nährstoffbilanz, Feld/Stall-Bilanz, Hoftor-Bilanz.

1. Einleitung und Stand der Literatur

Im biologischen Betrieb gilt das Prinzip der (weitgehenden) innerbetrieblichen Kreislaufwirtschaft. Ertrags- und Qualitätsverbesserungen können – soweit sie nährstoffbedingt zu erreichen sind – somit nur über einen effizienten Umgang mit den im System verfügbaren Nährstoffen erzielt werden (HESS, 1997). Die Bilanzierung der Nährstoffe zwischen Input und Output ist ein Instrument zur Feststellung der Nährstoffsituation im Betrieb und des Umweltbelastungspotentials durch den Betrieb (HEGE, 1997).

Der Nährstoffsaldo landwirtschaftlicher Betriebe kann prinzipiell auf zwei Arten kalkuliert werden, auf Feld/Stall-Basis und auf sog. Hoftor-Basis (HEGE, 1997). Für den Nährstoff Stickstoff (N) sind die Vorgangsweise und die erforderlichen Daten für die Bilanzierung von Nährstoffzufuhr und –abfuhr in Übersicht 1 nach HEGE (1997), modifiziert nach PÖTSCH (1998), dargestellt. Dabei wird nach dem bei SCHACHTSCHABEL et al. (1998) dargestellten Schema des landwirtschaftlichen N-Kreislaufes vorgegangen. Die Hoftor-Bilanz unterscheidet sich von der Feld/Stall-Bilanz dadurch, daß die innerbetrieblich erzeugten und verwendete

Übersicht 1: Vorgangsweise und erforderliche Daten für die Bilanzierung von Nährstoffzufuhr und -abfuhr am Beispiel N (nach HEGE, 1997; modifiziert nach PÖTSCH, 1998)

View 1: Principle and necessary data for balancing of nutrient input and output (Example N) (after HEGE, 1997; modified after PÖTSCH, 1998)

NÄHRSTOFFZUFUHR	-	NÄHRSTOFFABFUHR	=	NÄHRSTOFFSALDO
<i>Feld/Stall-Basis:</i>				
Mineraldünger Wirtschaftseigener Dünger Symbiotische N-Bindung Mobilisation Deposition	-	Entzug durch Pflanzen Auswaschung	=	FELD/STALL-BILANZ
<i>Hoftor-Basis:</i>				
Mineraldünger Futtermittel Viehzukauf Symbiotische N-Bindung	-	Verkauf von Produkten (Pflanzen und Tiere)	=	HOFTOR-BILANZ

ten Futtermittel und Wirtschaftsdünger nicht berücksichtigt werden. Stattdessen werden die Nährstofffrachten der Futtermittel- und Viehzukäufe erfaßt, die neben den Nährstoffzufuhren mit Düngemitteln und der N-Bindung der Leguminosen den Nährstoffabfuhr aus der Tier- und Pflanzenproduktion gegenübergestellt werden (FRITSCH, 1997). Aus der Sicht des Umweltschutzes (Gewässer) ist das Ergebnis der Feld/Stall-Bilanz, die sich auf einzelne Flächen bezieht, aussagekräftiger als die Hoftor-Bilanz, die – gleich einer black box – nur ein durchschnittliches Ergebnis für den Gesamtbetrieb ausweist (PÖTSCH, 1998).

Nach den Untersuchungen von PÖTSCH (1998) hat die Stickstoff-Düngung einen entscheidenden Einfluß auf den N-Saldo im Grünland. Innerhalb des N-Düngungsbereichs von 0 bis 240 kg N/ha (aus Gülle und Mineraldünger) in dieser Untersuchung trat bei etwa 150 kg N/ha eine ausgeglichene N-Bilanz ein. Eine darüber hinausgehende N-Düngung führte zu einem N-Überschuß von 0,6 kg pro zusätzlichem kg N. In weiteren Versuchen auf den Standorten Gumpenstein, Admont und Piber bei einem höheren Düngungsniveau (0 bis 300 kg N/ha) trat bereits bei einer N-Zufuhr ab 90 kg/ha ein N-Überschuß auf (PÖTSCH, 1997). PÖTSCH (1999) kalkulierte für eine teilweise biologisch bewirtschaftete Grünlandregion im steirischen Ennstal (28 % Bio-Betriebe) eine N-Bilanz von 27 kg/ha.

HEGE und WEIGELT (1991) untersuchten 7 landwirtschaftliche Betriebe, die mehr als 15 Jahre hindurch alternativ (biologisch) bewirtschaftet waren. Die Nährstoffsalden betragen +10 kg N, -13 kg P₂O₅ und -6 kg K₂O pro ha. FREYER und PERICIN (1996) stellten in 26 Schweizer Biobetrieben ebenfalls ausgeglichene Nährstoffbilanzen fest und bezeichnen sie daher als ökologisch zufriedenstellend. Nach der Methode der Hoftor-Bilanz waren die Nährstoffsalden -20 kg N, -4 kg P₂O₅ und -3 kg K₂O pro ha, auf

Basis der Feld/Stall-Bilanz -14 kg N, -3 kg P₂O₅ und 0 kg K₂O pro ha. Bezüglich des Kaliums war die Übereinstimmung zwischen den beiden Saldierungsmethoden geringer als bei Stickstoff und Phosphor. Für Nährstoffüberschüsse waren zugekaufte Futter- und Düngemittel verantwortlich und können als grobes Kontrollinstrument für die Ausgeglichenheit der Nährstoffhaushalte eingesetzt werden.

Demgegenüber war die Landwirtschaft in westeuropäischen und nordamerikanischen Ländern durch die Intensivierung der Pflanzen- und Tierproduktion gekennzeichnet, die über den starken Einsatz von außen in den Betrieb eingebrachte Energie sowie Dünge- und Futtermittel erfolgte (TAMMINGA, 1998). Als Extrembeispiel sei ein Nährstoffbilanz-Versuch aus den USA mit 10,4 Kühen pro ha angeführt (VAN HORN et al., 1996). Von den 1037 kg N, den die Kühe pro ha über den Dünger ausschieden, konnten die Pflanzen nur 55 % aufnehmen, und von den 1492 kg N, den die 10,4 Kühe pro Jahr verzehrten, stammten 62 % aus zugekauftem Kraftfutter. Das Futterprotein wurde zu 30 % in verkaufbare Produkte (Milch und Kälber) umgewandelt. Auch in den spezialisierten Milchfarmen Hollands treten große N-Überschüsse auf. KOREVAAR (1992) gibt die N-Bilanz von 177 Betrieben mit +486 kg/ha an (568 kg Input und 82 kg Output pro ha). Dafür sind vor allem die Erhöhung des Grünlandertrages über die mineralische Düngung und ein hoher Kraftfutterzukauf verantwortlich, die zu hohen Besatzdichten an Tieren führen. Modellrechnungen von VAN BRUCHEM et al. (1997) zeigen, daß die Zurücknahme der N-Düngung das einzig wirksame Mittel zur Verminderung der N-Überschüsse in holländischen Milchviehbetrieben darstellt. Auch in einer neueren Arbeit wird der N-Überschuß in einer ähnlichen Größenordnung, nämlich 405 kg N/ha, angegeben (VAN BRUCHEM et al., 1999). Auf Pilotbetrieben in verschiedenen Regionen und Böden wur-

den die N- und P-Überschüsse jedoch durch geeignete Maßnahmen (Güllebehandlung, weniger Dünger und Kraftfutter, geringerer Proteingehalt der Ration, Verbesserung der mikrobiellen Effizienz im Verdauungstrakt sowie der Fruchtfolge) mit Erfolg auf 54 bis 135 kg N und -7 bis 8 kg P pro ha reduziert. SIMON et al. (1994) geben für Nord-West-Frankreich N-Überschüsse im Ausmaß von 128 bis 225 kg/ha an und machen ebenfalls die N-Düngung und zum kleineren Teil hohe Kraftfuttermengen dafür verantwortlich.

Demgegenüber ist der Tierbesatz in den Alpenländern wesentlich geringer. Bei einem Ertrag von z. B. 8.500 kg T (Trockenmasse) und einer Grundfutteraufnahme von 13 kg T errechnet sich eine durchschnittliche Tieranzahl von 1,8 Kühen pro ha. Es muß allerdings beachtet werden, daß in diesen Regionen auch die Entzüge durch die Pflanzen wesentlich geringer ausfallen als in den intensiv bewirtschafteten Gunstlagen, somit fällt nicht nur der Input über die Nährstoffrücklieferung aus der Tierhaltung geringer aus, sondern auch der Output über den Entzug durch die Futterpflanzen. Modellrechnungen von GRUBER und STEINWIDDER (1996) zeigen, daß sich die N-Ausscheidung pro ha Grundfutterfläche von 100 auf 180 kg erhöht, wenn die Milchleistung durch Futterzukauf von 4.000 auf 8.000 kg ansteigt. Neben dem Milchleistungsniveau beeinflusst die Art der Grünlandbewirtschaftung die Höhe der Nährstoffrücklieferung ganz entscheidend (GRUBER et al., 1999). Nach diesen Untersuchungen sinkt mit höherer Schnitthäufigkeit des Grünlandes der Ertrag und steigt die Futteraufnahme, als Folge davon geht der Tierbesatz pro ha Grundfutterfläche zurück. Außerdem bestehen noch starke Wechselwirkungen zwischen Grünlandbewirtschaftung und Kraftfutterniveau. Ohne Kraftfutter ändert sich die N-Ausscheidung pro ha Grundfutterfläche kaum bei Erhöhung der Nutzungsfrequenz (im Durchschnitt 127 kg/ha N), weil sich die wegen des höheren Proteingehaltes gesteigerte Ausscheidung pro Tier und die geringere Tieranzahl pro ha in etwa die Waage halten. Dagegen traten bei bedarfsgerechter Kraftfuterergänzung die höchsten N-Ausscheidungen pro ha bei niedriger Grundfutterqualität auf (199, 174 bzw. 151 kg/ha N bei 2, 3 bzw. 4 Schnitten pro Jahr). Auch die Modellberechnungen von KÜHBAUCH und ANGER (1999) zeigen, daß bei hoher Grundfutterqualität ein größerer Nährstoffspielraum für Kraftfutter besteht als bei niedriger (auf Basis Hoftorbilanz). Bei einer Energiekonzentration von 5,8 MJ NEL trat ein N-Überschuß in der Hoftorbilanz bei einem Kraftfuter-einsatz von 1.149 kg und einer Milchleistung von 4.999 kg auf, bei einer Energiekonzentration von 6,3 MJ NEL dagegen erst bei 1.786 kg Kraftfutter und 7.911 kg Milch.

In der vorliegenden Arbeit werden die Nährstoffbilanzen (auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis) bei biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb verglichen. Als Grundlage der Berechnungen dienten die Ergebnisse aus der 1. Mitteilung über die Grünlandbewirtschaftung (STEINWENDER et al., 2000) und aus der 2. Mitteilung über die Milchviehhaltung (GRUBER et al., 2001).

2. Material und Methoden

Ausgehend von der in Übersicht 1 dargestellten Vorgangsweise bei der Nährstoffbilanzierung wurden die erforderlichen Input- und Output-Komponenten für die Bilanz entweder direkt aus den Versuchsergebnissen genommen (STEINWENDER et al., 2000; GRUBER et al., 2001 sowie 4. Mitteilung) oder, wenn diese Parameter nicht verfügbar waren, aus Literaturquellen geschätzt. Die in die Bilanz eingegangenen Werte sind in Tabelle 1 angeführt.

Die Versuchsflächen umfaßten 5,5 (BE) und 4,4 (KE) ha. Bei 7 Kühen pro Versuchsgruppe errechnet sich ein Tierbesatz von 1,3 und 1,6 Kühen pro ha. Da die Güllemenge infolge des Weidebetriebes im Sommer nicht durchgehend für das ganze Jahr erfaßt werden konnte, wurde die Ausscheidungsmenge an Gülle mit einer Regressionsformel von GRUBER et al. (1999) geschätzt. Wenn die Futter- und Nährstoffaufnahme (IT, NEL, XP) der Kühe – wie im vorliegenden Fall – bekannt ist, ist diese Schätzung relativ genau ($R^2 = 95\%$, $RSD = 3,4\%$). Es errechnet sich eine Güllemenge von 21,4 bzw. 22,1 to pro Kuh und Jahr in BE bzw. KE, infolge des unterschiedlichen Tierbesatzes ergibt sich eine geschätzte Ausbringungsmenge von 27,3 bzw. 35,5 to pro ha. Die in der Gülle-Schätzformel erforderliche Grundfutteraufnahme wurde aus dem Trockenmasse-Ertrag (T) der Versuchseinheit dividiert durch die Kuhanzahl unter Berücksichtigung von 16 % Verlusten (Ernte, Konservierung, Lagerung etc.; nach RIEDER, 1995) abgeleitet (Daten aus STEINWENDER et al., 2000). Die so ermittelten Grundfutteraufnahmen (13,1 bzw. 13,5 kg T in BE und KE) stimmen mit den in den Futteraufnahmeversuchen (GRUBER et al., 2001) festgestellten Werten gut überein (13,4 bzw. 13,1 kg T):

$$GF = T\text{-Ertrag}/(\text{Kuhanzahl} \cdot 365) \cdot 0,84$$

Ebenso wurde der Energie- und Proteingehalt des Grundfutters aus dem Energie- und Proteintrag dividiert durch den T-Ertrag ebenfalls unter Berücksichtigung von Verlusten ermittelt (Daten aus STEINWENDER et al., 2000):

$$NEL = NEL\text{-Ertrag}/T\text{-Ertrag} \cdot 0,90$$

$$XP = XP\text{-Ertrag}/T\text{-Ertrag} \cdot 0,98$$

Die Inhaltsstoffe der Gülle sind den tatsächlichen Versuchsergebnissen entnommen. Signifikante Unterschiede traten – infolge des geringeren Proteingehaltes im Wiesenfutter und der Belüftung der Gülle in Gruppe BE – nur im Stickstoffgehalt auf (4,5 und 5,2 g/kg Gülle 10 % T in BE und KE).

Das Ausmaß der symbiontischen N-Bindung wurde nach dem Vorschlag von PÖTSCH (1998) mit 3 kg N pro % Leguminosen kalkuliert, wobei – ausgehend von einem Ertrag von 10.000 kg/ha T – der Wert 3 kg mit dem jeweiligen Ertragswert eines Jahres und der Versuchseinheit gewichtet wurde. Der durchschnittliche Leguminosenanteil betrug

13 und 10 % (vgl. 4. Mitteilung), der mittlere Ertrag 7,24 und 9,33 to/ha T (STEINWENDER et al., 2000). Daraus errechnet sich eine legume N-Bindung von 2,2 bzw. 2,8 kg N pro % Leguminosen in BE und KE. Wie in den Untersuchungen von PÖTSCH (1998) wurde von einer Netto-Mobilisation des organisch gebundenen N im Ausmaß von 60 kg pro ha und Jahr ausgegangen. Dieser Wert wurde auf ähnlichen Standorten aus leguminosenarmen Null-Düngungspartellen ermittelt.

Bei der statistischen Auswertung wurden – wie bei den Grünlandertrag-Daten – im Modell die fixen Effekte „Versuchsgruppe“ (BE, KE) und „Jahr“ (1982, 1983, ..., 1991, 1992) verwendet (HARVEY, 1987).

Tabelle 1: Mengen und Gehalte der Input- und Output-Komponenten für die Nährstoff-Bilanzierung
Table 1: Amounts and concentrations of input and output components used in the nutrient balances

	Quelle	Einheit	Menge		Einheit	Konzentration					
			BE	KE		N	BE P	K	N	KE P	K
ALLGEMEINE DATEN											
Landwirtschaftliche Nutzfläche	1	ha	5,51	4,36	–	–	–	–	–	–	–
Tierbesatz	1	Kühe/ha	1,27	1,60	–	–	–	–	–	–	–
Lebendmasse der Kühe	1	kg	607	614	–	–	–	–	–	–	–
Grundfütterraufnahme	2	kg T/Tag	13,1	13,5	–	–	–	–	–	–	–
Proteingehalt Grundfutter	1	g XP/kg T	153	168	–	–	–	–	–	–	–
NEL-Gehalt Grundfutter	1	MJ/kg T	5,65	5,63	–	–	–	–	–	–	–
Kraftfütterraufnahme	2	kg T/Tag	1,7	1,6	–	–	–	–	–	–	–
Proteingehalt Kraftfutter	2	g XP/kg T	117	109	–	–	–	–	–	–	–
NEL-Gehalt Kraftfutter	2	MJ/kg T	7,5	7,9	–	–	–	–	–	–	–
Gülle (10 % T) je Kuh	3	to/Jahr	21,4 ³	22,1 ³	–	–	–	–	–	–	–
FELD/STALL-BILANZ											
Input											
Gülle (10 % T)	3, 1	to/ha LN	27,3 ³	35,5 ³	g/kg	4,51 ¹	0,99 ¹	5,03 ¹	5,18 ¹	0,96 ¹	5,07 ¹
min. N-Düngung (NAC)	1	kg/ha LN	–	526	g/kg	–	–	–	279	–	–
Steinmehl	1	kg/ha LN	466	–	g/kg	–	1,7	23,2	–	–	–
Leguminosenanteil	4	Flächen-%	12,6	9,8	–	–	–	–	–	–	–
Output											
Ertrag	1	kg T/ha LN	7.240	9.334	g/kg	24,5	4,1	23,0	26,8	4,0	22,9
HOFTOR-BILANZ											
Input											
min. N-Düngung (NAC)	1	kg/ha LN	–	526	g/kg	–	–	–	279	–	–
Steinmehl	1	kg/ha LN	466	–	g/kg	–	1,7	23,2	–	–	–
Leguminosenanteil	4	Flächen-%	12,6	9,8	–	–	–	–	–	–	–
Kraftfutter je Kuh	2	kg T/Jahr	605	585	g/kg T	18,7	3,7	4,3	17,4	3,5	4,1
Mineralfutter je Kuh	2	kg/Jahr	49,6	49,6	g/kg	–	136	–	–	136	–
Output											
Milchleistung (ECM) je Kuh	2, 5	kg/Jahr	5,867 ²	5,877 ²	g/kg	4,80 ²	0,94 ⁵	1,44 ⁵	4,86 ²	0,94 ⁵	1,44 ⁵
Kalb je Kuh	5	kg/Jahr	44,4	48,3	g/kg	185 ⁵	8,0 ⁵	2,1 ⁵	185 ⁵	8,0 ⁵	2,1 ⁵

Erläuterungen zu den Quellen:

1: STEINWENDER et al. (2000)

2: GRUBER et al. (2001)

3: GRUBER et al. (1999)

$$\text{Gülle (kg/Kuh u. Tag)} = 53,09 + 0,007 \text{ LM} + 0,028 (\text{GF} \cdot \text{XP}_{\text{GF}}) + 0,025 (\text{KF} \cdot \text{XP}_{\text{KF}}) + 0,336 (\text{KF} \cdot \text{NEL}_{\text{KF}}) - 0,011 (\text{KF} \cdot \text{XP}_{\text{GF}}) - 0,232 (\text{KF} \cdot \text{NEL}_{\text{GF}}) - 0,067 (\text{XP}_{\text{GES}} \cdot \text{NEL}_{\text{GES}})$$

(RSD = 2,3 kg, R² = 94,7 %)

4: siehe 4. Mitteilung

5: ARC (1980)

3. Ergebnisse

3.1 Stickstoff-Bilanz

Die Ergebnisse der Feld/Stall-Bilanz bzw. Hofator-Bilanz von Stickstoff sind in Tabelle 2 und 3 angeführt.

Input und Output an N hielten sich in der Gruppe BE nahezu die Waage (-1,2 kg N/ha LN), während in Gruppe KE ein deutlicher Überschuss an N (116 kg/ha LN) festzustellen war (Tabelle 2). In dieser Gruppe wurden durch die mineralische N-Düngung 146 kg in das System gebracht. Auch über den Wirtschaftsdünger wurden infolge des höheren Tierbesatzes um 45 kg/ha mehr an Input zugeführt. Die geschätzte symbiotische N-Bindung (Leguminosen) belief sich in beiden Gruppen auf etwa 27 kg/ha, der geringere Leguminosenanteil in Gruppe KE wurde durch das höhere Ertragsniveau ausgeglichen. In Summe betrug der N-Input 190 bzw. 382 kg/ha in Gruppe BE und KE. Dem stand ein Output von 191 bzw. 266 kg N gegenüber. Der über das Niveau von BE zugeführte N in Gruppe KE wurde nur mit einer Effizienz von 39 % in pflanzlichen N übergeführt.

Die Ergebnisse der Hofator-Bilanz stimmen mit der Feld/Stall-Bilanz gut überein. In Gruppe BE wurde nach dieser Methode ebenfalls ein ausgeglichener Saldo ermittelt (4,4 kg N/ha LN). In Gruppe KE war der N-Überschuss jedoch höher (142 kg/ha LN). Die wesentlichste Input-Komponente war der mineralische N-Dünger (in KE) mit 146 kg/ha LN, dagegen machte die N-Zufuhr über das (proteinarme, aus Getreidearten zusammengesetzte) Kraftfutter nur etwa 10 % des Mineraldüngers aus (im Mittel 16 kg/ha LN). Unter Hinzunahme der symbiotischen N-Fixierung über die Leguminosen betrug der N-Input in den Betrieb 42 bzw. 191 kg/ha LN in Gruppe BE und KE. Infolge des höheren Tierbesatzes verließen in KE um 11 kg/ha und Jahr mehr N den Betrieb über die Milch (36 bzw. 47 kg in BE und KE). Da die Kälber sofort nach der Geburt aus dem Versuchsbereich genommen wurden, ist deren N-Output unwesentlich (etwa 2 kg nach Daten der Körperzusammensetzung aus ARC 1980). Der Output von abgegangenen Kühen wurde nicht berücksichtigt, da die Tiere innerhalb weniger Tage durch neue ersetzt wurden.

Tabelle 2: Feld/Stall-Bilanz von Stickstoff (pro ha LN)

Table 2: Nutrient balances on supply/withdrawal basis of nitrogen (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Gülle (75 % anrechenbar)	kg	92,4	137,7	11,0	0,000
Mineraldünger	kg	–	146,4	–	–
Symbiotische N-Bindung	kg	27,2	27,7	4,9	0,784
Mobilisation	kg	60,0	60,0	–	–
Niederschlag	kg	10,0	10,0	–	–
Summe Input	kg	189,5	381,9	20,2	0,000
Output					
Entzug	kg	180,8	256,3	10,3	0,000
Auswaschung	kg	10,0	10,0	–	–
Summe Output	kg	190,8	266,3	10,3	0,000
FELD/STALL-BILANZ	kg	-1,2	115,6	18,2	0,000

Tabelle 3: Hofator-Bilanz von Stickstoff (pro ha LN)

Table 3: Nutrient balances on import/export basis of nitrogen (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Kraftfutter	kg	14,7	16,5	1,6	0,027
Mineraldünger	kg	–	146,4	–	–
Symbiotische N-Bindung	kg	27,2	27,7	4,9	0,784
Summe Input	kg	41,8	190,7	12,8	0,000
Output					
Milch	kg	35,9	46,7	5,5	0,001
Kalb	kg	1,6	2,1	0,3	0,004
Summe Output	kg	37,4	48,8	5,7	0,001
HOFTOR-BILANZ	kg	4,4	141,9	15,6	0,000

3.2 Phosphor-Bilanz

Die Ergebnisse der Feld/Stall-Bilanz bzw. Hoftor-Bilanz von Phosphor sind den Tabellen 4 und 5 zu entnehmen.

Die Phosphor-Bilanzen waren in beiden Versuchsgruppen nahezu ausgeglichen, d. h. Input und Output entsprachen sich in etwa. Nach der Feld/Stall-Bilanz ergab sich ein leichtes Minus (-2 bzw. -3 kg/ha LN in Gruppe BE bzw. KE), nach der Hoftor-Bilanz lag dagegen ein ganz leichter Überschuß vor (3 bzw. 2 kg/ha LN in Gruppe BE bzw. KE). Doch diese Unterschiede sind unwesentlich. In der Feld/Stall-Bilanz sind die Wirtschaftsdünger die wesentliche Input- und der Entzug durch die Pflanzen die einzige Output-Komponente. In der Hoftor-Bilanz ist der P-Input über das Mineralfutter größer als über das Kraftfutter.

3.3 Kalium-Bilanz

Die Ergebnisse der Feld/Stall-Bilanz bzw. Hoftor-Bilanz von Kalium finden sich in den Tabellen 6 und 7.

Aus der Feld/Stall-Bilanz zeigt sich, daß die Pflanzen dem Boden mehr Kalium entzogen haben, als mit den Wirtschaftsdüngern (und Steinmehl in BE) zugeführt worden ist. Strenggenommen ist Steinmehl nach dem Düngemittel-

gesetzt kein Mineraldünger, sondern ein Bodenhilfsstoff. Auch ist die Verfügbarkeit von Kalium aus dem Steinmehl als niedrig einzustufen (FRAGSTEIN, persönliche Mitteilung). Auf Grund des höheren Ertrages trat in Gruppe KE ein höheres Defizit auf (-13 bzw. -34 kg/ha LN). Dies spiegelt sich auch im Verlauf der K_2O -Werte im Boden wider, die in Gruppe KE von 16 mg/100 g Feinboden im Jahr 1981 auf 12 mg/100 g im Jahr 1992 abgenommen haben (siehe 4. Mitteilung). Nach der Methode der Hoftor-Bilanz war die Situation in Gruppe BE ausgeglichen (3 kg), in Gruppe KE lag dagegen ein Defizit (-10 kg/ha) vor. Der Kalium-Input über das Kraftfutter war mit 3–4 kg unwesentlich. Mit der Milch verließen etwa 11–14 kg K pro ha und Jahr den Betrieb.

Der Verlauf der Nährstoffbilanzen während der Versuchsjahre ist in Abbildung 1 zusammenfassend dargestellt. Hinsichtlich der Feld/Stall-Bilanzen zeigte sich ein leicht abnehmender Trend, vor allem beim Nährstoff Kalium in Gruppe KE. Bei Phosphor schwankten die Bilanzwerte um Null. Bei Stickstoff lag die Bilanz in Gruppe BE während der ganzen Versuchsdauer um Null, in Gruppe KE nahm sie – ausgehend von hohen Werten (150 kg/ha) in der Mitte des Versuchs – in der zweiten Versuchshälfte deutlich ab. Dafür war vor allem die Ertragsentwicklung im Grünland

Tabelle 4: Feld/Stall-Bilanz von Phosphor (pro ha LN)

Table 4: Nutrient balances on supply/withdrawal basis of phosphorus (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Gülle	kg	27,0	34,1	2,6	0,000
Mineraldünger	kg	0,8	–	–	–
<i>Summe Input</i>	<i>kg</i>	<i>27,7</i>	<i>34,1</i>	<i>2,8</i>	<i>0,000</i>
Output					
Entzug	kg	29,3	37,0	1,9	0,000
<i>Summe Output</i>	<i>kg</i>	<i>29,3</i>	<i>37,0</i>	<i>1,9</i>	<i>0,000</i>
FELD/STALL-BILANZ	kg	-1,5	-3,0	2,6	0,222

Tabelle 5: Hoftor-Bilanz von Phosphor (pro ha LN)

Table 5: Nutrient balances on import/export basis of phosphorus (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Kraftfutter	kg	2,9	3,3	0,3	0,015
Mineralfutter	kg	6,4	8,0	0,6	0,000
Mineraldünger	kg	0,8	–	–	–
<i>Summe Input</i>	<i>kg</i>	<i>10,0</i>	<i>11,3</i>	<i>1,1</i>	<i>0,019</i>
Output					
Milch	kg	7,0	9,0	1,1	0,002
Kalb	kg	0,4	0,6	0,1	0,004
<i>Summe Output</i>	<i>kg</i>	<i>7,5</i>	<i>9,6</i>	<i>1,1</i>	<i>0,001</i>
HOFTOR-BILANZ	kg	2,6	1,7	1,2	0,112

Tabelle 6: Feld/Stall-Bilanz von Kalium (pro ha LN)

Table 6: Nutrient balances on supply/withdrawal basis of potassium (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Gülle	kg	141,8	179,6	15,8	0,000
Mineraldünger	kg	10,8	–	–	–
Summe Input	kg	152,6	179,6	18,2	0,006
Output					
Entzug	kg	165,3	213,6	10,3	0,000
Summe Output	kg	165,3	213,6	10,3	0,000
FELD/STALL-BILANZ	kg	-12,8	-33,9	17,3	0,017

Tabelle 7: Hoftor-Bilanz von Kalium (pro ha LN)

Table 7: Nutrient balances on import/export basis of potassium (per ha LN)

		BE	KE	s_e	P-Wert
Input					
Kraftfutter	kg	3,4	3,9	0,4	0,011
Mineraldünger	kg	10,8	–	–	–
Summe Input	kg	14,2	3,9	3,9	0,000
Output					
Milch	kg	10,8	13,8	1,6	0,002
Kalb	kg	0,1	0,2	0,0	0,004
Summe Output	kg	10,9	14,0	1,7	0,001
HOFTOR-BILANZ	kg	3,3	-10,1	4,6	0,000

verantwortlich. Betrachtet man die Entwicklung auf Betriebsebene (Hoftor-Bilanz), so zeigen sich etwas andere Trends. Bei Stickstoffstieg der Überschuß in Gruppe KE im Laufe des Versuches eher an, während sich die Bilanz in Gruppe BE durchgehend um Null bewegte. Beim Nährstoff Phosphor entwickelte sich der (leichte) Hoftor-Überschuß in KE gegen Null, während die Bilanz in Gruppe BE durchgehend etwa ausgeglichen war. Hinsichtlich Kalium bestand im ersten Versuchsdrittel in Gruppe KE ein Überhang, um während der restlichen Versuchsdauer ausgeglichen zu sein. Die K-Bilanz in Gruppe BE war gegen Versuchsende weniger negativ ausgeprägt.

4. Diskussion

4.1 Menge und Gehalt der Gülle

In den vorliegenden Berechnungen wurde von einer durchschnittlichen Güllemenge von 21,8 to pro Kuh und Jahr bzw. 27,3 und 35,5 to pro ha LN in Gruppe BE und KE ausgegangen. Aus einer zusammenfassenden Auswertung von Bilanzversuchen mit 153 Kühen zeigt sich, daß Futtermittelaufnahme, Milchleistung, Energie- und Proteingehalt der Ration die wesentlichen Einflußfaktoren auf das Ausmaß der

Gülle- und N-Ausscheidung von Milchkühen sind (KIRCHGESSNER et al., 1991; WINDISCH et al., 1991). Dies zeigt sich auch in weiteren Untersuchungen (GRUBER et al., 1999). SCHECHTNER et al. (1991) geben einen Anfall an Gülle (10 % T) von 15 m³ pro GVE und Jahr bei ausschließlicher Stallhaltung an. Daraus errechnet sich bei einer Lebendmasse von 610 kg und einem Kuhbesatz von 1,27 pro ha LN in Gruppe BE bzw. 1,60 pro ha LN in Gruppe KE ein jährlicher Gülleanfall von 23,2 bzw. 29,3 m³ pro ha LN. In der Schweiz wird von einem durchschnittlichen Gülleanfall (9 % T) von 20 m³ pro GVE und Jahr ausgegangen, das sind 18 m³ bei einem T-Gehalt von 10 %. GRUBER et al. (1999) stellten einen großen Einfluß der Nutzungsfrequenz auf den Düngereintrag pro Grundfutterfläche fest. Bei bedarfsgerechter Kraftfütterergänzung betrug die Güllemenge 61, 45 und 32 m³ Gülle (10 % T) pro ha Grundfutterfläche bei 2, 3 und 4 Schnitten pro Jahr. Die N-Rücklieferung belief sich auf 199, 174 und 151 kg pro ha. In den österreichischen „Richtlinien für die sachgemäße Düngung“ (FBB, 1999) sind Mengenanfall (15 to/GVE und Jahr) und Gehaltswerte der Gülle (4,5 g N/kg mit 10 % T) von der Broschüre „Wirtschaftsdünger“ (SCHECHTNER et al., 1991) übernommen worden. Im bayerischen „Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland“ (LBP, 1997) wird bei der Gülle- und Nährstoffausscheidung von Kühen nach Leistungsniveau

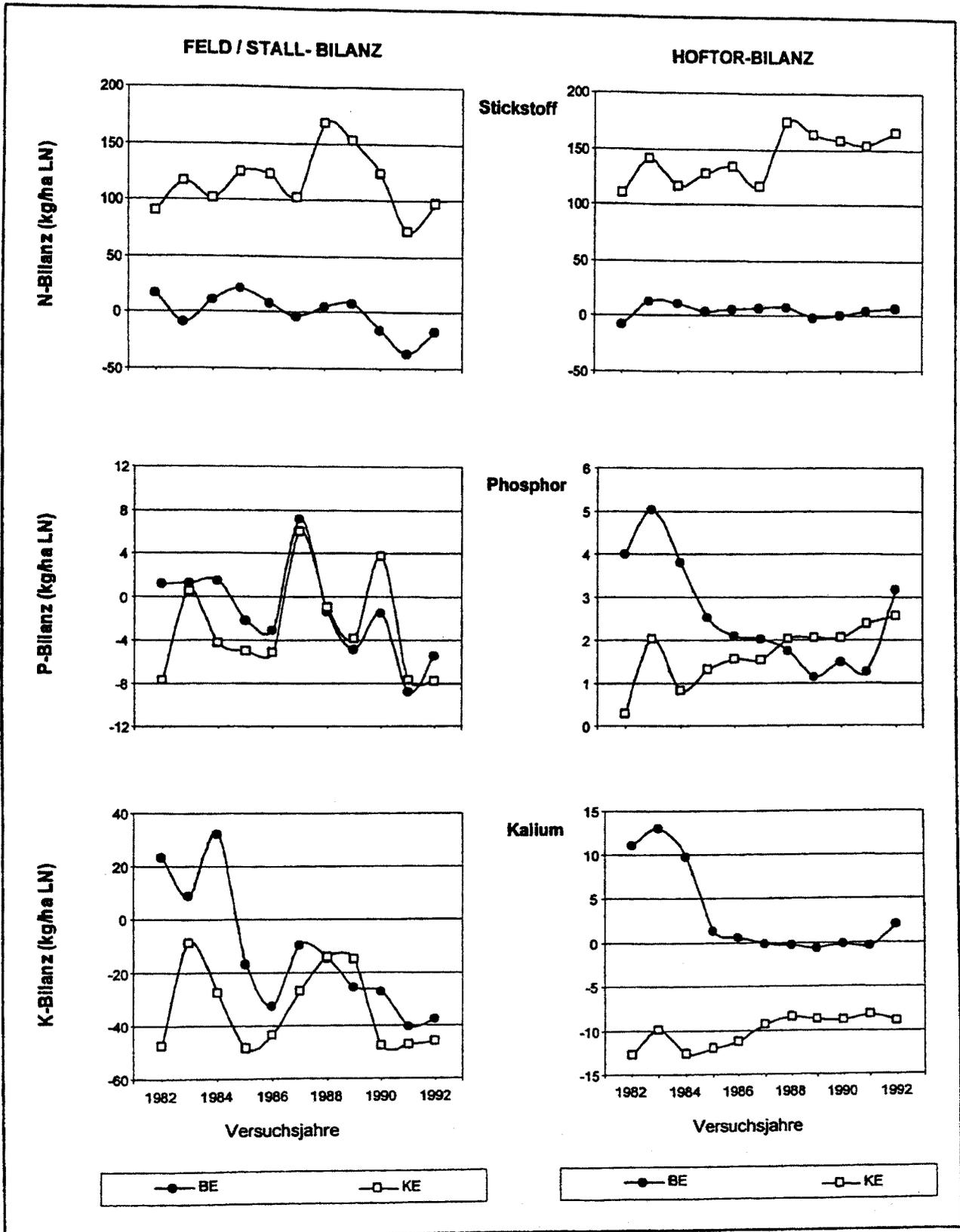


Abbildung 1: Nährstoffbilanzen auf Feld/Stall-Basis und Hoftor-Basis während der Versuchsjahre
 Figure 1: Nutrient balances on supply/withdrawal basis and import/export basis during the experimental years

(4.000–6000 kg Milch) und Standort des Betriebes (Grünland, Acker-Grünland) differenziert. Im Grünland sind N-Gehalt und N-Ausscheidung höher (19,6 m³ Gülle, 4,0 g N/kg, 115 kg N/Kuh) als im Acker-Grünland (18,7 m³ Gülle, 3,7 g N/kg, 102 kg N/ Kuh). In einer bayerischen Praxiserhebung wurde in 212 Rindergülleproben ein N-Gehalt von 4,7 ± 2,7 g/kg Gülle (10 % T) ermittelt. Der Anfall an Kot und Harn betrug bei 4000, 5000 bzw. 6000 kg Milch 19, 20 bzw. 21 m³ (RUPPERT und STICHLMAIR, 1985).

In der vorliegenden Untersuchung betrug der N-Gehalt der Gülle 4,5 bzw. 5,0 g/kg Gülle (mit 10 % T). Aus den Verdauungsabläufen und Fermentationsvorgängen in den Vormägen der Wiederkäuer ergibt sich, daß die N-Ausscheidung über den Harn direkt vom Verhältnis von im Pansen fermentierbarer Energie und abgebautem Protein abhängt (z. B. NRC, 1985; JARRIGE, 1989; GfE, 1997). Die mikrobielle Proteinsynthese wird im wesentlichen von der im Pansen verfügbaren Energie bestimmt. Ist im Verhältnis zur Energie mehr Stickstoff vorhanden, wird dieser als Harnstoff über den Harn ausgeschieden. Umgekehrt wird bei N-Mangel die N-Ausscheidung über den Harn vermindert und in den Pansen recycelt. Daraus folgt, daß das Protein/Energie-Verhältnis im Pansen auch das Verhältnis von Kot-N zu Harn-N beeinflusst. Die N-Verbindungen des Harns sind ökologisch wesentlich kritischer als die des Kotes, weil sie rasch zu NH₃ abgebaut werden, wogegen der organisch gebundene Kot-N nur langsam mineralisiert wird (AMBERGER et al., 1982). Im Durchschnitt liegen bei der Gülle aus der Milchproduktion 46 % als NPN (Nicht-Protein-N), d. h. in wasserlöslicher Form, vor (KIRCHGESSNER et al., 1991).

4.2 Nährstoffbilanzen

Im vorliegenden Versuch wurde vor allem beim Stickstoff-Input eine deutliche Differenzierung zwischen den Versuchsgruppen vorgenommen (146 kg min. N in Gruppe KE), während bei Phosphor und Kalium – außer durch die unterschiedliche Bestandesdichte bedingt – keine wesentlichen Unterschiede in der Düngungsmenge bestanden. Der – im Vergleich zur Gruppe BE – in KE zusätzlich ausgebrachte N (192 kg/ha LN) erhöhte den Grünlandertrag um 2.094 kg T, das sind 10,9 kg T/kg N. Die Verwertung des dabei eingesetzten N macht 39 % aus (Rohprotein-Ertrag in BE und KE ist 1.136 bzw. 1.604 kg/ha LN, STEINWENDER et al., 2000). Diese relativ geringe Verwertung im Ausmaß von 39 % ((1.604-1.136)/6,25/192*100

= 39) ist auch die Ursache für die N-Überschüsse in den Bewirtschaftungssystemen mit hohen Düngungsmengen. Nur ein Teil der zugeführten Nährstoffe wird von den Pflanzen aufgenommen, der Rest verbleibt im Boden und ist damit zugänglich für diverse Verlustwege (Auswaschung, NH₃-Verdunstung, Denitrifikation, Immobilisation, NH₄-Fixierung (nach SCHACHTSCHABEL et al., 1998)). Während in Wirtschaftssystemen, die nach biologischen Grundlagen geführt werden (Nährstoffkreislauf zwischen Pflanzenbau und Tierhaltung), durchwegs ausgeglichene Nährstoffbilanzen anzutreffen sind, gelangen bei Anwendung von nicht aus dem Betrieb stammenden Düngern Nährstoffüberschüsse in den Boden (HEGE und WEIGELT, 1991; FREYER und PERICIN, 1996; PÖTSCH, 1999). Folglich wurden mit hohen Düngermengen auch entsprechende Nährstoffüberschüsse in der Nährstoffbilanz festgestellt. In Düngungsversuchen hat PÖTSCH (1997) ab einer N-Zufuhr von 90 kg/ha N bzw. PÖTSCH (1998) ab 150 kg/ha N Überschüsse in der N-Bilanz ermittelt. In diesem Bereich liegt auch die bei Milchviehhaltung anfallende N-Menge (LBP, 1997; FBB, 1999; GRUBER et al., 1999). Wie die Bilanzierungen von intensiv bewirtschafteten Milchviehbetrieben in Westeuropa zeigen, sind hohe Düngergaben für die Überschüsse verantwortlich (KORVAAR, 1992; SIMON et al., 1994; VAN BRUCHEM et al., 1997). Neben den zugekauften Düngern tragen auch Zukaufsfutter (üblicherweise Kraftfutter) wesentlich zum verstärkten Nährstoff-Input bei (SIMON et al., 1994; TAMMINGA, 1998). Wurden Düngung und weitere Nährstoffimporte in den Betrieb (z. B. Kraftfutter) reduziert, ließen sich auch unter holländischen Produktionsbedingungen die N- und P-Überschüsse großteils herabsetzen (VAN BRUCHEM et al., 1999).

ANGER et al. (1997) untersuchten die Hoftor-Bilanzen von Grünlandbetrieben des Mittelgebirges Nordrhein-Westfalens. In konventionell geführten Betrieben (n = 27) wurden für N, P und K Bilanzüberschüsse von 149, 23 und 46 kg/ha ermittelt. In Betrieben mit Extensivierungsaufgaben (reduzierter Viehbesatz, ohne Mineraldünger, n = 31) betrugen die Nährstoffsalden für N, P und K dagegen nur 37, 12 und 18 kg/ha. ANGER et al. (1997) nennen 5 Kriterien zur Vermeidung großer Nährstoffüberhänge: (1) hohe Flächenausstattung bzw. geringe Tierbesatzstärke, (2) Reduzierung der Düngemittel-Importe, (3) gleichmäßiger und verlustarmer betriebsinterner Nährstoffrückfluß, (4) höchste Grundfutterleistung, (5) geringer und gezielter Einsatz der Zukaufsfuttermittel.

HARENZ et al. (1992) ermittelten für die Landwirtschaft

der BRD und der DDR Nährstoffbilanzen für den Zeitraum 1950 bis 1988. In dieser Zeitspanne wurden insgesamt 2.400 kg N, 900 kg P und 2.200 kg K je Hektar im Überschuß eingesetzt. Die jährlichen Überschüsse beliefen sich 1988 auf etwa 110 kg N, 25 kg P und 65 kg K pro Hektar und liegen infolge der zusätzlichen Nährstoffeinträge durch Importfuttermittel in der Größenordnung des gesamten Mineraldüngerverbrauches. Die Autoren halten den gegenwärtigen Mineraldüngereinsatz daher für ökonomisch nicht gerechtfertigt und ökologisch nicht mehr vertretbar.

Auch SPIEKERS (1997) ermittelte für rheinische Milchviehbetriebe ($n = 12$) hohe Überschüsse an N (178 kg/ha) und P (28 kg/ha). In diesen Betrieben wurden im Mittel 161 kg N über Mineraldünger und 56 kg N über Zukaufsfutter in den Betrieb eingebracht. Aus pflanzenbaulicher Sicht werden folgende Maßnahmen zur Entlastung der Nährstoff-Bilanz empfohlen: (1) effizienter Einsatz der Wirtschaftsdünger, (2) Anpassung der Mineraldüngung, (3) Steuerung der Nährstoffgehalte im Futter. In der Viehhaltung können (1) die Nährstoff-Ausscheidung vermindert werden (Steigerung der Milchleistung, angepaßte Fütterung) und (2) die NH_3 -Verluste vermindert werden (Stallbau/Lüftung etc., Fütterung).

Für die Schweizer Landwirtschaft wurden Hoftor-Bilanzen der vergangenen Jahre (1975–1995) von SPIESS (1999) berechnet. Bezogen auf ein Hektar LN (ohne Almflächen) betrug der Überschuß 116 kg N bzw. 13 kg P. Im Mittel der Jahre und der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche hielten sich pflanzliche Futtermittel (145.000 to N, 24.000 to P) und tierische Ausscheidungen (141.000 to N, 24.000 to P) in etwa die Waage, ebenso importierte Futtermittel (25.000 to N, 5.000 to P) und Erzeugung tierischer Nahrungsmittel (29.000 to N, 5.000 to P). Der Überschuß (124.000 to N, 13.000 to P) resultiert daher aus den Mineraldüngern, der N-Fixierung und der Deposition. Die Futtermittelimporte machen – wie in Deutschland (HARENZ et al., 1992) – den Abfluß durch die tierischen Nahrungsmittel wett. Im Untersuchungszeitraum stieg in der Schweiz der Mineraldüngeraufwand bis 1988 an und sinkt seitdem infolge der Ökomaßnahmen. Die Futtermittelimporte an N und P verminderten sich seit 1975 um die Hälfte. Die Ergebnisse zeigen, daß die ab 1993 durch das Schweizer Landwirtschaftsgesetz eingeführten Ökomaßnahmen zu einer Verminderung der N- und P-Überschüsse geführt haben.

Aus all den hier angeführten Literaturdaten und auch den vorliegenden Versuchsergebnissen ist klar ersichtlich, daß in erster Linie die Nährstoffinputs über Dünger und in zweiter Linie über Zukaufsfutter für die Nährstoffüberschüsse in der

Landwirtschaft verantwortlich sind. Nach den Untersuchungen von PÖTSCH (1997, 1998) erhöht sich der N-Überschuß um 0,5–0,6 kg pro kg N-Düngung. Der Grund liegt in einer nur teilweisen Verwertung des zugeführten N durch die Pflanzen. Ein weiteres Problem stellen die Nährstoffzufuhren über Kraftfutter (häufig reich an Protein und Phosphor) in den viehhaltenden Betrieb dar. Besonders in den sogenannten absoluten Grünlandbetrieben (ohne jeglichen Getreidebau) wird sämtliches Kraftfutter und damit beträchtliche Mengen an N und P zugekauft. Auch durch Stroh gelangen gewisse Nährstoffmengen in den Betrieb. Neben der Düngung hat auch die Auflassung des Getreidebaues in den Grünlandgebieten zur Erhöhung der Besatzstärke an Tieren pro Hektar geführt, da dadurch relativ mehr Grundfutterfläche verfügbar wurde. Eine hohe Grundfutterqualität ergibt einen größeren Nährstoffspielraum im Grünlandbetrieb, da der erforderliche Kraftfüttereinsatz geringer ist (KÜHBAUCH und ANGER, 1999). Der Preis dafür ist allerdings eine geringere Milchproduktivität pro Flächeneinheit (GRUBER et al., 1999), was den klassischen Gegensatz zwischen Ökologie und Ökonomie aufzeigt.

Wenn Grund- und auch Kraftfutter zur Gänze auf dem Betrieb erzeugt werden und auch auf zugekaufte Düngemittel verzichtet wird, können keine Überschüsse in den Nährstoffbilanzen der viehhaltenden Betriebe auftreten, da die Tiere nicht mehr an Nährstoffen ausscheiden können, als sie vorher über das Futter aufnehmen. Der Schlüssel für ausgeglichene Bilanzen liegt also in einer weitgehenden Versorgung der Tiere mit Nährstoffen, die großteils auf dem eigenen Betrieb erzeugt werden (flächengebundene Produktion). Genau in diesem Kreislaufprinzip liegt das Wesen des biologischen Landbaues (HESS, 1997). Auf den Zukauf von externen Betriebsmitteln (Dünger, Futter) ist weitgehend zu verzichten. Die Eigenproduktivität des Standortes steht im Vordergrund. Durch Reduzierung der Nährstoffimporte ergibt sich im Vergleich zu düngungsintensiven Bewirtschaftungssystemen ein deutlich geringeres Nährstoffniveau. Dies führt zu niedrigeren Erträgen auf der einen, geringeren Austrägen in Wasser und Atmosphäre auf der anderen Seite. Bei weitgehendem Verzicht auf externe Düngemittel sind Wirtschaftsdünger aus der flächengebundenen Tierhaltung keine für die Umwelt problematischen Abfallstoffe, sondern erforderliche und knappe Nährstoffträger für das Pflanzenwachstum dieses Betriebes. Bei der Düngerlagerung und -ausbringung müssen vielmehr Verluste soweit wie möglich vermindert werden, um die Nährstoffe zur Aufrechterhaltung des Ertragsniveaus im Betrieb zu behalten (HESS, 1997).

Abkürzungen:

BE	Biologische Einheit
ECM	Energie-korrigierte Milch (3,1 MJ/kg Milch)
GES	Gesamtration (kg T)
GF	Grundfutter (kg T)
GVE	Großvieheinheit (500 kg LM)
ha	Hektar
IT	Futtermittelaufnahme (Intake DM)
K	Kalium (g/kg T)
KE	Konventionelle Einheit
KF	Kraftfutter (kg T)
LM	Lebendmasse (kg)
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
N	Stickstoff
NAC	Nitramoncal [N-Dünger 28 % N]
NEL	Nettoenergie-Laktation (MJ/kg T)
NH ₃	Ammoniak
P	Phosphor (g/kg T)
T	Trockenmasse (kg)
to	Tonne
XP	Rohprotein (g/kg T)

Literatur

- AMBERGER, A., K. VILSMEIER und R. GUTZER (1982): Stickstoffreaktionen verschiedener Gülle und deren Wirkung im Pflanzenversuch. *Z. Pflanzenernährg., Bodenkd.*, 145, 325–336.
- ANGER, M., U. HOFFMANN und W. KÜHBAUCH (1997): Hoftorbilanzen von Grünlandbetrieben des Mittelgebirges. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 27, 147–153.
- ARC (AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL) (1980): *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. 1. Composition of the ruminant's body and its products.* CAB, Farnham Royal, Slough SL2 3BN, England, 1–58.
- FREYER, B. und C. PERICIN (1996): Nährstoffhaushalt in biologisch bewirtschafteten Betrieben. *Agrarforschung*, 3, 29–32.
- FBB (FACHBEIRAT FÜR BODENFRUCHTBARKEIT UND BODENSCHUTZ) (1999): *Richtlinien für die sachgerechte Düngung*, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien.
- FRITSCH, F. (1997): Anwendung betriebs- und schlagbezogener Nährstoffbilanzen in der landwirtschaftlichen Beratung vor dem Hintergrund der Düngeverordnung. In: *Umweltbundesamt (Hrsg.): „Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz?“*, Tagungsberichte Band 20, 108–127.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen) (1997): *Zum Proteinbedarf von Milchkühen und Aufzuchttrindern.* *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 6, 217–236.
- GRUBER, L. und A. STEINWIDDER (1996): Einfluß der Fütterung auf die Stickstoff- und Phosphorauscheidung landwirtschaftlicher Nutztiere – Modellkalkulationen auf Basis einer Literaturübersicht. *Die Bodenkultur*, 47, 255–277.
- GRUBER, L., A. STEINWIDDER, B. STEFANON, B. STEINER und R. STEINWENDER (1999): Influence of grassland management in Alpine regions and concentrate level on N excretion and milk yield of dairy cows. *Livest. Prod. Sci.*, 61, 155–170.
- GRUBER, L., R. STEINWENDER, T. GUGGENBERGER, J. HÄUSLER und A. SCHAUER (2001): Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 2. Mitteilung: Futtermittelaufnahme, Milchleistung, Gesundheit und Fruchtbarkeit. *Die Bodenkultur* 52 (1), 55–70.
- HARENZ, H., W. KÖSTER und D. MERKEL (1992): Stickstoff-, Phosphor- und Kaliumbilanzen der Landwirtschaft der Bundesrepublik Deutschland und der ehemaligen DDR. *Agribiol. Res.*, 45, 285–293.
- HARVEY, W. R. (1987): *User's guide for LSMLMW PC-1 version. Mixed model least-squares and maximum likelihood computer program.* Ohio State University.
- HEGE, U. (1997): Nährstoffsaldierung landwirtschaftlicher Betriebe – Vorgehensweise und Bewertung. In: *Umweltbundesamt (Hrsg.): „Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz?“*, Tagungsberichte Band 20, 94–100.
- HEGE, U. und H. WEIGELT (1991): Nährstoffbilanzen alternativ bewirtschafteter Betriebe. *Bayer. Landw. Jahrbuch*, 68, 403–407.
- HESS, J. (1997): Biologischer Landbau: Systemimmanenter Zwang zu möglichst geschlossenen Nährstoffkreisläufen. In: *Umweltbundesamt (Hrsg.): „Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz?“*, Tagungsberichte Band 20, 71–76.
- JARRIGE, R. (Ed.) (1989): *Ruminant Nutrition. Recommended Allowances and Feed Tables.* Institut National de la Recherche Agronomique, John Libbey, Eurotext, Paris, London, Rome.
- KIRCHGESSNER, M., W. WINDISCH und M. KREUZER (1991): Stickstoffemission laktierender Milchkühe über

- die Gülle in Abhängigkeit von der Leistungsintensität. *Agribiol. Res.*, 44, 1–13.
- KOREVAAR, H. (1992): The nitrogen balance on intensive Dutch dairy farms: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 17–27.
- KÜHBAUCH, W. und M. ANGER (1999): Modellberechnung des Nährstoffspielraums von Grünlandbetrieben mit Milchproduktion. *Agribiol. Res.*, 52, 77–84.
- LBP (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU) (1997): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. 6. Auflage.
- NRC (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, USA) (1985): Ruminant Nitrogen Usage. Subcommittee on Nitrogen Usage in Ruminants. National Academy Press. Washington D.C.
- PÖTSCH, E. M. (1997): Zur Bedeutung der Nährstoffbilanzierung am Grünland. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): „Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz?“, Tagungsberichte Band 20, 77–89.
- PÖTSCH, E. M. (1998): Über den Einfluß der Düngungsintensität auf den N-Kreislauf im alpenländischen Grünland. *Die Bodenkultur*, 49, 19–27.
- PÖTSCH, E. M. (1999): Kreislaufwirtschaft im alpenländischen Grünlandbetrieb. *Ökosoziales Forum und BAL Gumpenstein* (Hrsg.): Wintertagung, 8.–12. Feb. 1999, 243–253.
- RIEDER, J. (1995): Standortgemäße und bestandesorientierte Düngung des Dauergrünlandes. *Alpenländisches Expertenforum „Düngung im alpenländischen Grünland“*, 23.–24. Mai 1995, Bericht BAL Gumpenstein, 1–13.
- RUPPERT, W. und M. STICHLMAIR (1985): Daten und Informationen zum Gülleeinsatz in der Landwirtschaft. Arbeitsgemeinschaft der Bayerischen Landesanstalten, Unterlage für den Dienstgebrauch.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE und U. SCHWERTMANN (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHECHTNER, G. et al. (1991). Wirtschaftsdünger – Richtige Gewinnung und Anwendung. Sonderausgabe der Zeitschrift „Förderungsdienst“. BMLF, Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 118 S.
- SIMON, J.-C., L. LE CORRE and F. VERTES (1994). Nitrogen balances on a farm scale: results from dairy farms in north west France. *Proc. 15th Gen. Meeting EGF*, 6–9 June 1994, Wageningen, NL, 429–433.
- SPIEKERS, H. (1997): Nährstoff-Ausscheidung und Nährstoff-Bilanzen in tierhaltenden Betrieben. In: DLG-Umweltgespräche „Ökobilanzen – von der Erzeugung zum Produkt“, 18. Juni 1997, Bonn. DLG-Arbeitsunterlagen, 85–94.
- SPIESS, E. (1999): Stickstoff- und Phosphorbilanz der Schweizer Landwirtschaft. *Agrarforschung*, 6, 261–264.
- STEINWENDER, R., L. GRUBER, A. SCHAUER, T. GUGGENBERGER, J. HÄUSLER und M. SOBOTIK (2000): Vergleich zwischen biologischer und konventioneller Wirtschaftsweise im Grünlandbetrieb. 1. Mitteilung: Ertrag, Futterqualität und Gülleanfall. *Die Bodenkultur*, 51, 267–281.
- TAMMINGA, S. (1998): The role of nutrition management in the control of environmental pollution. *Proc. Conference „Agriculture and Environment“*, Bled, Slovenia, 12–13 March 1998, 423–432.
- VAN BRUCHEM, J., M. VAN OS und H. VAN KEULEN (1997): Towards environmentally balanced grassland-based dairy farming – New perspectives using an integrated approach. *Book of Abstracts No. 3, 48th Annual Meeting of EAAP*, Vienna, Austria, 25–28 August 1997, Paper CNMS1.3, 189.
- VAN BRUCHEM, J., H. SCHIERE und H. VAN KEULEN (1999): Dairy Farming in the Netherlands in transition towards more efficient nutrient use. *Livest. Prod. Sci.*, 61, 145–153.
- VAN HORN, H. H., G. L. NEWTON und W. E. KUNKLE (1996): Ruminant nutrition from an environmental perspective: Factors affecting whole-farm nutrient balance. *J. Anim. Sci.*, 74, 3082–3102.
- WINDISCH, W., M. KIRCHGESSNER und M. KREUZER (1991): Güllemenge bei laktierenden Milchkühen in Abhängigkeit von der Leistungsintensität. *Agribiol. Res.*, 44, 170–181.

Anschrift der Verfasser

Univ.-Doz. Dr. Leonhard Gruber, Dr. Rudolf Steinwender, Ing. Thomas Guggenberger, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein, A-8952 Irdning; e-mail: leonhard.gruber@bal.bmlf.gv.at
 Dr. G. Plakolm, Bundesamt für Agrarbiologie, Wieningerstraße 8, A-4021 Linz.

Eingelangt am 11. November 1999
 Angenommen am 15. Februar 2000