

Der Einfluss länderspezifischer Berechnungsverfahren auf den betrieblichen Nährstoffvergleich gemäß Düngeverordnung

Andrea Machmüller* und Albert Sundrum*

Zusammenfassung

Mit der vorliegenden Untersuchung sollte der Frage nachgegangen werden, ob durch die Anwendung der länderspezifischen Berechnungsverfahren bei der Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs eine Gleichbehandlung landwirtschaftlicher Betriebe in Deutschland gewährleistet ist. Von 16 Betrieben lagen die betrieblichen Nährstoffvergleiche von 2012 mit den zugrundeliegenden Rohdaten vor. Die Rohdaten aller 16 Betriebe wurden über das Programm AODüngerordnung jeweils in 11 länderspezifische Berechnungsverfahren eingegeben. Folgende Variablen wurden ausgewertet: (1) Stickstoff-(N)-Saldo, N-Zufuhr über mineralische und organische Düngemittel, N-Bindung durch Leguminosen sowie N-Abfuhr über Erntegut; und (2) Phosphat-(P)-Saldo, P-Zufuhr über mineralische und organische Düngemittel sowie P-Abfuhr über Erntegut. Die Ergebnisse zeigen auf, dass eine Reproduzierbarkeit des betrieblichen Nährstoffsaldos bei Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren nicht gegeben ist. Im berechneten N-Saldo ergab sich für die Betriebe ein mittlerer Variationskoeffizient von 187 %, im berechneten P-Saldo von 37 %. Die maximalen Spannweiten bei der Berechnung des N- und P-Saldos lagen innerhalb eines Betriebes bei 91 kg N/ha bzw. 23 kg P₂O₅/ha. Die Variationsursachen für die Streuung der N- und P-Salden waren betriebsindividuell. Das Berechnungsverfahren selbst hatte auf alle Variablen, mit Ausnahme der N- und P-Zufuhr über mineralische Düngemittel, einen signifikanten Einfluss. Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung wird abgeleitet, dass aufgrund der unterschiedlichen, länderspezifischen Berechnungsverfahren eine Gleichbehandlung der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland in Hinblick auf die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs derzeit nicht gegeben ist.

Schlüsselworte: EU-Nitratrichtlinie (91/676/EWG), Düngerverordnung, betrieblicher Nährstoffvergleich, Stickstoff, Phosphat, Saldo

Abstract

The effect of German federal state-specific calculation methods on the farm nutrient comparison according to the German fertilizer application ordinance

The aim of the present investigation was to answer the question if there is an equal treatment of German farms despite using federal state-specific calculation methods to generate the farm nutrient comparison. From 16 farms the farm nutrient comparisons for 2012 and the underlying raw data were available. The raw data of all 16 farms have been typed into 11 federal state-specific calculation methods using the software AODüngerordnung. The following variables have been evaluated: (1) nitrogen-(N)-balance, N-input through mineral or organic fertilizer, N-binding through legumes as well as N-output through harvest; and (2) phosphate-(P)-balance, P-input through mineral or organic fertilizer as well as P-output through harvest. The results show that when using different calculation methods a reproducibility of the farm nutrient balances is not given. In the calculated N-balance, the farms had an average coefficient of variation of 187 % and for the calculated P-balance an average coefficient of variation of 37 %. Within one farm the maximum range for the calculated N- and P-balances was 91 kg N/ha and 23 kg P₂O₅/ha, respectively. The variation causes for the variance of the N- and P-balances have been farm specific. The calculation method itself had a significant effect on all variables except for the N- and P-input through mineral fertilizer. From the results of the present investigation it can be derived that due to the different federal state-specific calculation methods an equal treatment of German farms in terms of the generation of the farm nutrient balance is currently nonexistent.

Keywords: EU Nitrates Directive (91/676/EEC), German fertilizer application ordinance, farm nutrient comparison, nitrogen, phosphate, balance

* Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

1 Einleitung

Gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007) sind landwirtschaftliche Betriebe in der Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, jährlich einen betrieblichen Nährstoffvergleich für Stickstoff und Phosphat für das abgelaufene Düngejahr als Flächenbilanz oder aggregierte Schlagbilanz zu erstellen (§ 5 Abs. 1) und der nach Landesrecht zuständigen Stelle vorzulegen (§ 6 Abs. 1). In der Flächenbilanz werden bezogen auf die gedüngte landwirtschaftliche Nutzfläche eines Betriebes die Summe der Nährstoffzufuhren in einem Bilanzzeitraum von 12 Monaten mit der Summe der Nährstoffabfuhr im gleichen Bilanzzeitraum verglichen. Die Differenz zwischen Nährstoffzufuhr und -abfuhr entspricht dem betrieblichen Nährstoffsaldo. Die Obergrenze des betrieblichen Nährstoffsaldos bzw. Nährstoffüberschusses liegt für Stickstoff (N) derzeit bei 60 kg N/ha und Jahr (Durchschnitt der drei letzten Düngejahre; DüV, 2007, § 6 Abs. 2) und für Phosphat bei 20 kg P₂O₅/ha und Jahr (Durchschnitt der sechs letzten Düngejahre; DüV, 2007, § 6 Abs. 2).

Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung plädierte in ihrem Abschlussbericht dafür (Osterburg und Techen, 2012), dass bei Überschreitung dieser Obergrenzen zukünftig (1) eine kostenpflichtige Beratungspflicht des betroffenen Betriebes entsteht, (2) bei wiederholten oder hohen Überschreitungen der Obergrenzen behördliche Anordnungen angewendet werden und (3) eine Verletzung der Beratungspflicht oder behördlichen Anordnungen als Ordnungswidrigkeit geahndet wird. Für schärfere Sanktionen bei Verstößen sprachen sich auch die Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) sowie der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) in ihrer Kurzstellungnahme zur Novellierung der Düngeverordnung aus (WBA/WBD/SRU, 2013). Die Umsetzung juristisch relevanter Sanktionen setzt jedoch voraus, dass es bei der Berechnung des betrieblichen Nährstoffsaldos eine Gleichbehandlung aller Betriebe gibt.

Mit Einführung der Düngeverordnung (DüV, 1996) wurde die Aufgabe der Umsetzung der Bundesverordnung den einzelnen Bundesländern übertragen. Dies führte zu länderspezifischen Berechnungsverfahren für die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs. Erst 2006, mit der Neufassung der Düngeverordnung (DüV, 2007), wurde den Bundesländern mit den Anlagen ein umfassender Wertekatalog vorgeschrieben (u.a. für den Stickstoffgehalt pflanzlicher Erzeugnisse (Anlage 1) und den Nährstoffanfall bei landwirtschaftlichen Nutztieren (Anlage 5)). Im Abschlussbericht der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (Osterburg und Techen, 2012; Anhang 3, A3.5 Nährstoffvergleiche – Methoden und Salden) wird daher für die Erstellung der betrieblichen Nährstoffvergleiche angenommen, dass eine bundeseinheitliche Vorgehensweise in der Regel sichergestellt ist, da die Rechenwege und die zu verwendenden Daten in den Anlagen der DüV (DüV, 2007) weitgehend vorgegeben sind. Diese Annahme wurde aber bislang noch nicht anhand von Praxisdaten überprüft, da eine solche Überprüfung

voraussetzt, dass betriebliche Einzeldaten verfügbar gemacht werden (Osterburg, 2013). Mit der vorliegenden Untersuchung sollte daher der Frage nachgegangen werden, ob bei der Berechnung des betrieblichen Nährstoffsaldos eine bundeseinheitliche Vorgehensweise bzw. eine Gleichbehandlung deutscher Betriebe gewährleistet ist.

2 Material und Methoden

Die vorliegende Untersuchung ist Teil eines umfangreicheren Projektes zur systemischen Erfassung und Optimierung der Nährstoffeffizienz auf milchviehhaltenden Betrieben. Der Untersuchung lagen betriebliche Einzeldaten von 16 milchviehhaltenden Betrieben aus dem Jahr 2012 zugrunde. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Eckdaten der 16 Betriebe. Die Anzahl der Milchkühe variierte auf den Betrieben von 69 bis 1.119 Milchkühe. Die Milchleistung lag zwischen 7.498 und 10.563 kg ECM/Kuh und Jahr (ECM, energiekorrigierte Milchleistung, Milch mit 4% Fett- und 3,4% Eiweißgehalt). Bei der den Betrieben zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzfläche ergab sich eine Spannweite von 61 bis 2.612 ha mit einer Variation im Grünlandanteil von 0 bis 67%. Die 16 Betriebe verteilten sich auf insgesamt 9 Bundesländer (Tabelle 2).

Von jedem der 16 Betriebe lag der betriebliche Nährstoffvergleich für 2012 inklusive der zugrunde liegenden Rohdaten vor. Die Rohdaten umfassten detaillierte Informationen (1) zum Tierbestand: Anzahl Tiere und Haltungsbedingungen (Gülle, Mist oder Weide), (2) zum Düngemiteleinsatz: Art und Menge verkaufter bzw. an andere Betriebe abgegebener organischer Düngemittel und Art und Menge zugekaufter bzw. aus anderen Betrieben aufgenommener organischer oder mineralischer Düngemittel, sowie (3) zum pflanzlichen Erntegut: angebaute Pflanzenarten, Flächen und Erträge. Für das Management des Tierbestandes benutzen alle Betriebe das Programm „Herde“ von dsp-Agrosoft GmbH (Paretz, Parkring 3, 14669 Ketzin). Von allen Betrieben lag eine Datensicherung mit den Tierbestandsdaten von 2012 vor.

Zur Berechnung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung wurde das Programm „AODüngeverordnung“ verwendet. AODüngeverordnung ist ein Teil von AOAgar-Office und somit ein Softwareprodukt der LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG (Rennbahnstr. 7, 84347 Pfarrkirchen). Für die vorliegenden Auswertungen wurde die Programmversion 1.13.12.926 mit dem Module Stand vom 15.04.2013 verwendet, d.h. die zu diesem Zeitpunkt aktuelle Version für die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs 2012. In AODüngeverordnung werden nach Angaben des Softwareherstellers immer die aktuellsten gesetzlichen Ländervorgaben zur Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs eingearbeitet (Schlegel, 2013). Länderspezifische Vorgaben gibt es in AODüngeverordnung für folgende 11 Bundesländer: Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen. Keine länderspezifischen

Tabelle 1

Eckdaten der 16 Betriebe, Bezugsjahr 2012

Betriebe	Milchkühe Anzahl	Milchleistung kg ECM/Kuh und Jahr	Nutzfläche ha	Ackerfläche ha	Grünlandfläche ha	Grünlandfläche % der Nutzfläche
1	93	9.291	113	67	46	41
2	69	9.075	61	49	12	20
3	974	8.463	1.399	1.024	375	27
4	371	10.563	1.752	1.694	58	3
5	445	9.207	1.253	1.086	167	13
6	137	8.462	143	74	69	48
7	128	8.746	128	75	53	42
8	444	9.664	1.432	1.412	20	1
9	137	8.860	187	101	85	46
10	729	8.640	767	641	127	17
11	196	9.355	271	271	0	0
12	207	9.380	235	78	157	67
13	1.119	8.956	2.612	1.907	705	27
14	146	7.498	101	37	64	63
15	437	9.947	889	861	28	3
16	920	9.189	1.475	1.260	215	15
Median	289	9.132	519	456	66	23
Mittelwert	409	9.081	801	665	136	27
Standardabweichung	345	691	774	659	179	22

Tabelle 2

Verteilung der 16 Betriebe auf die Bundesländer

Bundesländer	Betriebe Anzahl
Brandenburg	3
Hessen	2
Niedersachsen	2
Nordrhein-Westfalen	2
Rheinland-Pfalz	1
Sachsen	2
Sachsen-Anhalt	2
Schleswig-Holstein	1
Thüringen	1
Summe	16

Vorgaben liegen für die restlichen fünf Bundesländer (Bremen, Schleswig-Holstein, Hamburg, Saarland und Berlin) vor. Für Bremen, Schleswig-Holstein und Hamburg gibt es im Programm AODüngerordnung eine Verknüpfung zu den länderspezifischen Vorgaben von Nordrhein-Westfalen, das Saarland ist mit den länderspezifischen Vorgaben von Rheinland-Pfalz verknüpft und Berlin mit denen von Sachsen.

Die von den 16 Betrieben vorliegenden Rohdaten wurden im Programm AODüngerordnung zur Berechnung des

Tabelle 3

Verwendete Berechnungsverfahren zur Bestimmung des N-Saldos der Betriebe

Berechnungsverfahren	Nr
Baden-Württemberg	1
Bayern	2
Brandenburg	3
Hessen	4
Mecklenburg-Vorpommern	5
Niedersachsen	6
Nordrhein-Westfalen	7
Rheinland-Pfalz	8
Sachsen	9
Sachsen-Anhalt	10
Thüringen	11

Zuordnung der restlichen Bundesländer:
 Berlin wie Sachsen
 Bremen, Hamburg und Schleswig-Holstein wie Nordrhein-Westfalen
 Saarland wie Rheinland-Pfalz

betrieblichen Nährstoffvergleichs in die Eingabemasken der Bundesländer eingegeben, bei denen das Programm länderspezifische Vorgaben ausweist (11 Berechnungsverfahren, Tabelle 3). Das bedeutet, es wurden 11 Mal die gleichen betrieblichen Rohdaten eingegeben und für jeden der 16 Betriebe 11 länderspezifische, betriebliche Nährstoffvergleiche

berechnet bzw. 11 Berechnungsverfahren angewendet. Insgesamt ergaben sich damit $16 \times 11 = 176$ Datensätze.

Bei der Eingabe der betrieblichen Rohdaten sind in der Auswahl- bzw. Eingabemöglichkeit des Tierbestandes und des geernteten Pflanzenmaterials Unterschiede zwischen den länderspezifischen Berechnungsverfahren aufgefallen. In Bezug auf das geerntete Pflanzenmaterial: (1) bei 12 Berechnungsverfahren müssen die Grünlanderträge als Trockenmasseerträge angegeben werden, bei 4 Berechnungsverfahren (3, 5, 7 und 10) als Frischmasseerträge; (2) der Leguminosenanteil im Grünland konnte bei 4 Berechnungsverfahren (1, 4, 7 und 8) nicht angegeben werden; (3) für Silomais gab es bei den Berechnungsverfahren 3, 5, 9 und 10 nur die Möglichkeit einen Trockenmassegehalt von 28% anzuwählen; und (4) die Eingabe von Nebenernteprodukten wie Strohbergung bei Getreide oder Blattbergung bei Zuckerrüben war nur bei Berechnungsverfahren 1 anwählbar. Hinsichtlich der Eingabe der Tierbestandsdaten unterschieden sich die Bundesländer in der Eingabemöglichkeit der Tierart und Tierklasse (Alters- oder Leistungsgruppen). Es wurden vier unterschiedliche Eingabemöglichkeiten (Tiergruppierungen) identifiziert: (1) Berechnungsverfahren 3, 4, 5, 8 und 10: Kühe, Nachzucht 0-27 Monate und Nachzucht über 27 Monate; (2) Berechnungsverfahren 1, 2 und 7: Kühe, Nachzucht in Altersstufen 0-6, 7-12, 13-24 und über 24 Monaten; (3) Berechnungsverfahren 6: Kühe, Nachzucht in Altersstufen 0-4, 5-27 und über 27 Monaten; sowie (4) Berechnungsverfahren 9 und 11: Kühe, Nachzucht in Altersstufen 0-3, 4-6, 7-12, 13-24 und über 24 Monaten. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass im Berechnungsverfahren 3, 4, 5, 8 und 10 „Milchkühe mit 0,9 Kälber“ anzugeben waren und in Berechnungsverfahren 1, 2, 6, 7, 9 und 11 Milchkühe ohne Kalb, d.h. eine separate Angabe der Kälber erforderlich war. Auch in der Abstufung der Milchleistung unterschieden sich die Berechnungsverfahren. Im Berechnungsverfahren 2 konnte die durchschnittliche Jahresmilchleistung der Kühe kilogrammgenau eingegeben werden, in Berechnungsverfahren 1, 10 und 11 musste die Milchleistung der Kühe des Betriebes in 1.000kg-Abstufungen eingeordnet werden und in Berechnungsverfahren 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 gab es zur Einordnung nur eine 2.000kg-Abstufung in der Milchleistung. Die benötigten Angaben zu den Tiergruppen gemäß länderspezifischen Vorgaben wurden für die einzelnen Betriebe aus der Betriebsdatensicherung zum Programm Herde ausgelesen. In der Anlage 5 der DüV (DüV, 2007) wird für die Milchviehhaltung eine dreigeteilte Tiergruppierung angegeben: (1) Kälberaufzucht, 0-16 Wochen; (2) Jungrinderaufzucht, Erstkalbealter 27 Monate; und (3) Milchkuh mit 0,9 Kälbern und einer 2.000kg-Abstufung in der Milchleistung.

Für die nachfolgenden statistischen Auswertungen in Excel (Microsoft Excel 2010) und SPSS (IBM SPSS Statistics 20) wurden folgende Variablen betrachtet: (1) Stickstoff-(N)-Saldo (kg N/ha), N-Zufuhr über (a) mineralische Düngemittel (kg N/ha) und (b) organische Düngemittel (kg N/ha), N-Bindung durch Leguminosen (kg N/ha) sowie N-Abfuhr über Erntegut (kg N/ha); und (2) Phosphat-(P)-Saldo (kg P_2O_5 /ha), P-Zufuhr über (a) mineralische Düngemittel (kg P_2O_5 /ha) und (b) organische Düngemittel (kg P_2O_5 /ha), sowie P-Abfuhr

über Erntegut (kg P_2O_5 /ha). Der Wert für die N-Zufuhr über organische Düngemittel ergab sich aus der Verrechnung des N-Anfalls in Form des Wirtschaftsdüngers tierischer Herkunft aus dem eigenen Tierbestand abzüglich des N-Verkaufs bzw. Abgangs von Wirtschaftsdünger, zuzüglich des N-Zukaufs bzw. Zugangs von organischen Düngemitteln und abzüglich der N-Verluste aus der Lagerung und Ausbringung der organischen Düngemittel. Diese Verfahrensweise wurde gewählt bzw. war für die Vergleichbarkeit der Daten nötig, da in der Zusammenstellung der Daten zum betrieblichen Nährstoffvergleich nur bei vier Berechnungsverfahren (2, 4, 7 und 8) „gasförmige N-Verluste“ bzw. „Ausbringungsverluste“ separat ausgewiesen wurden, bei den restlichen Berechnungsverfahren aber nicht.

Innerhalb der 16 Betriebe wurde (1) zur Beurteilung der Reproduzierbarkeit der Variablen des betrieblichen Nährstoffvergleichs über die 11 unterschiedlichen Berechnungsverfahren der Variationskoeffizient bestimmt und (2) zur Erklärung einer möglichen Streuung im N-Saldo der Korrelationskoeffizient (Pearson) zwischen N-Saldo und den für die Berechnung des N-Saldos zugrundeliegenden Variablen ermittelt. Darüber hinaus wurde innerhalb der 11 Berechnungsverfahren zur Beurteilung möglicher Unterschiede zwischen den Berechnungsverfahren für alle Variablen die Abweichung der betrieblichen Einzelwerte zum Durchschnittswert des jeweiligen Betriebes berechnet und anschließend eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Mittelwertvergleich (Tukey-B-Test) durchgeführt. Der über die 11 Berechnungsverfahren ermittelte Durchschnittswert des jeweiligen Betriebes wird im Rahmen der vorliegenden Untersuchung als die bestmögliche Schätzung für den unbekannt „wahren“ Wert angesehen.

3 Ergebnisse

3.1 Betrieblicher Nährstoffvergleich für Stickstoff

Für die 16 Betriebe ergab sich im N-Saldo im Durchschnitt ein Mittelwert von 25 kg N/ha. Den niedrigsten Mittelwert hatte Betrieb 1 (-24 kg N/ha), den höchsten Betrieb 11 (86 kg N/ha). Bei 11 der 16 Betriebe lag im Mittel ein N-Überschuss vor. Eine Übersicht über die Variabilität der kalkulierten N-Salden der 16 Betriebe bei Anwendung der 11 unterschiedlichen Berechnungsverfahren gibt Abbildung 1. Die Streuung innerhalb der Betriebe war zum Teil beträchtlich. Die Spannweite zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert im berechneten N-Saldo lag zwischen 8 kg N/ha (Betrieb 15) und 91 kg N/ha (Betrieb 14), im Mittel bei 43 kg N/ha. Für den Variationskoeffizienten im N-Saldo ergaben sich Werte zwischen 6% (Betrieb 4) und 2.236% (Betrieb 12), im Mittel von 187%. Abbildung 2 zeigt einen exponentiellen Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten und dem Absolutwert des betrieblichen N-Saldo-Mittelwerts. Je näher der betriebliche N-Saldo dem Wert Null kam, desto höher war der Variationskoeffizient im berechneten N-Saldo bei Anwendung der 11 verschiedenen Berechnungsverfahren.

Tabelle 4 gibt die Mittelwerte, Standardabweichungen, Spannweite und Variationskoeffizienten der N-Zufuhr,

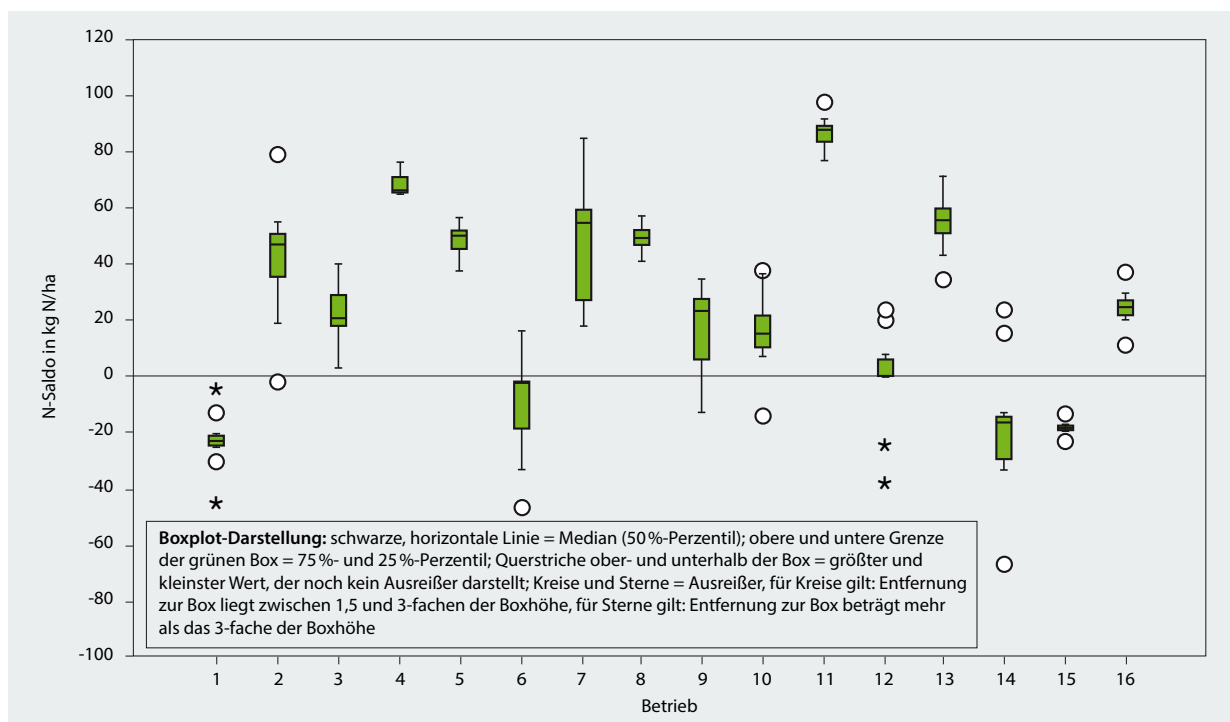


Abbildung 1
Variabilität der N-Salden (kg N/ha) von Betrieben bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

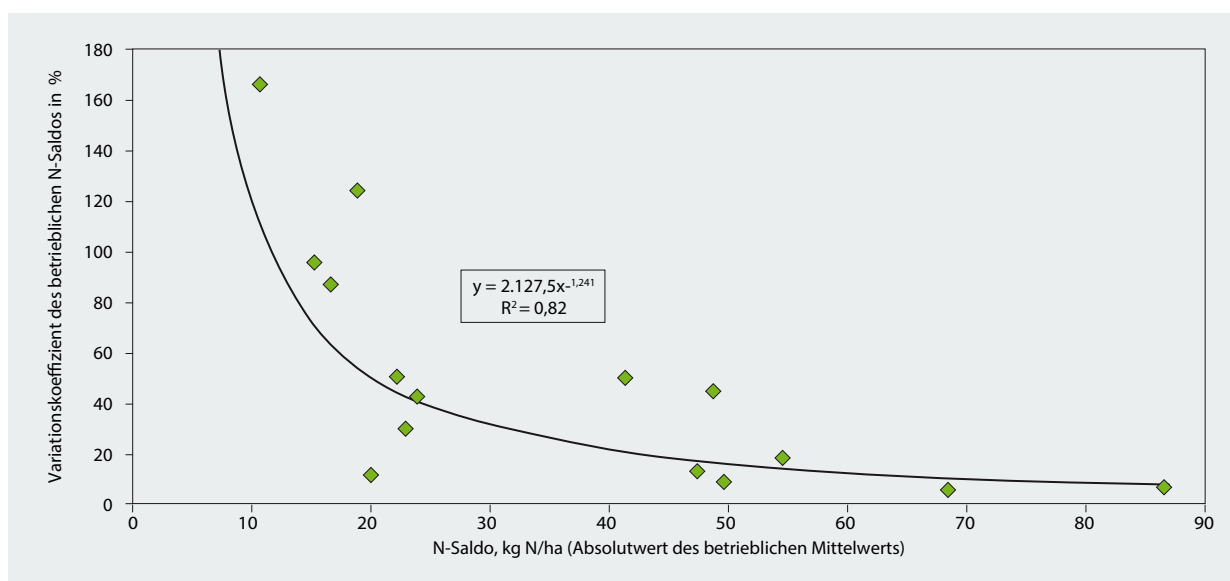


Abbildung 2
Variationskoeffizient des betrieblichen N-Saldos in Bezug zum Absolutwert des betrieblichen N-Saldo-Mittelwertes (n = 16, das Wertepaar für Betrieb 12 befindet sich außerhalb der Darstellung, Betrieb 12 hatte einen mittleren N-Saldo von -0,78 kg N/ha, eine Standardabweichung von 17,55 kg N/ha und einen Variationskoeffizient von 2.236%)

N-Bindung und N-Abfuhr der Betriebe bei Anwendung der 11 unterschiedlichen Berechnungsverfahren wieder. Bei der Berechnung der N-Zufuhr über mineralische Düngemittel ergab sich innerhalb der Betriebe keine Streuung, d.h. mit jeder der 11 Berechnungsverfahren wurde die gleiche betriebliche Einsatzmenge an Mineraldünger in kg N/ha ermittelt. Zwischen den Betrieben variierte die N-Zufuhr

über mineralische Düngemittel und lag bei 7 kg N/ha (Betrieb 1) bis 184 kg N/ha (Betrieb 11). In der berechneten N-Zufuhr über organische Düngemittel variierten die Betriebe zwischen 21 kg N/ha (Betrieb 15) bis 130 kg N/ha (Betrieb 14). Innerhalb der Betriebe ergaben sich Spannweiten für die N-Zufuhr über organische Düngemittel von maximal 50 kg N/ha (Betrieb 14). Der Variationskoeffizient lag

Tabelle 4

Mittelwert, Standardabweichung, Spannweite und Variationskoeffizient der N-Zufuhr, N-Bindung und N-Abfuhr der Betriebe bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

	Betrieb															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N-Zufuhr über mineralische Düngemittel, kg N/ha																
Mittelwert	7	120	102	168	116	81	163	109	122	125	184	113	106	100	109	100
Standardabweichung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-Zufuhr über organische Düngemittel, kg N/ha																
Mittelwert	101	123	69	33	42	102	111	31	82	25	90	82	65	130	21	83
Standardabweichung	3	8	3	2	2	11	9	3	8	13	5	8	2	13	1	2
Spannweite	10	24	11	8	6	44	31	10	32	44	15	32	7	50	4	6
Variationskoeffizient, %	3	6	4	7	6	11	8	10	10	53	5	10	3	10	7	2
N-Bindung durch Leguminosen, kg N/ha																
Mittelwert	27	20	12	7	14	12	11	11	10	9	17	16	8	17	1	18
Standardabweichung	7	8	6	2	2	5	4	1	5	2	5	7	3	6	0	6
Spannweite	23	32	20	7	7	19	17	3	18	5	17	27	10	25	1	20
Variationskoeffizient, %	24	43	51	34	17	42	37	7	50	28	33	44	39	37	49	36
N-Abfuhr über Erntegut, kg N/ha																
Mittelwert	159	222	161	140	124	206	237	101	199	141	204	212	124	266	150	177
Standardabweichung	7	17	8	4	4	9	17	1	12	7	2	14	8	22	2	3
Spannweite	30	70	25	14	14	34	58	4	30	23	5	52	34	92	7	11
Variationskoeffizient, %	5	8	5	3	3	4	7	1	6	5	1	6	7	8	1	2

zwischen 2% (Betrieb 16) und 53% (Betrieb 10) und im Durchschnitt bei 10%. In der kalkulierten N-Bindung durch Leguminosen ergab sich innerhalb der Betriebe ein mittlerer Variationskoeffizient von 36% bei einer Variation von 7% (Betrieb 8) bis 51% (Betrieb 3). Die berechneten Werte für die N-Bindung reichten von 1 kg N/ha (Betrieb 15) bis 27 kg N/ha (Betrieb 1). Die Spannweite innerhalb der Betriebe lag bei der N-Bindung zwischen 1 kg N/ha (Betrieb 15) und 32 kg N/ha (Betrieb 2). Für die N-Abfuhr über Erntegut gab es zwischen den Betrieben eine Variation, die zwischen 101 kg N/ha (Betrieb 8) und 266 kg N/ha (Betrieb 14) lag. Innerhalb der Betriebe variierte die N-Abfuhr über Erntegut mit maximalen Variationskoeffizienten von 8% (Betrieb 2 und 14) und Spannweiten, die von 4 kg N/ha (Betrieb 8) bis 92 kg N/ha (Betrieb 14) reichten.

Tabelle 5 enthält für die einzelnen Betriebe die berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen N-Saldo und N-Zufuhr, N-Bindung sowie N-Abfuhr. Eine signifikante Korrelation zwischen N-Saldo und N-Zufuhr über organische Düngemittel konnte für Betrieb 5, 6, 7, 8, 10 und 11 nachgewiesen werden. Für Betrieb 6 ergab sich auch eine signifikante Korrelation zwischen N-Saldo und N-Bindung durch Leguminosen. Weitere signifikante Korrelationen zwischen N-Saldo und N-Bindung wurden für Betrieb 1, 3 und 16 nachgewiesen. Für 11 der 16 Betriebe ergab sich eine signifikante Korrelation zwischen den Variablen N-Saldo und N-Abfuhr über Erntegut.

Tabelle 6 gibt den Mittelwert und die Standardabweichung der Abweichungen zum betrieblichen Mittelwert im

N-Saldo, in der N-Zufuhr, N-Bindung und N-Abfuhr für die 11 Berechnungsverfahren wieder. Abhängig vom Berechnungsverfahren ergab sich eine mittlere Abweichung im N-Saldo, die zwischen +11 kg N/ha (Berechnungsverfahren 11) und -15 kg N/ha (Berechnungsverfahren 7 und 10) lag. Das Berechnungsverfahren hatte einen signifikanten Einfluss auf den N-Saldo (Varianzanalyse, $p < 0,001$). Die Abweichung im N-Saldo waren mit dem Berechnungsverfahren 7 und 10 im Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren signifikant verschieden (Tukey-B-Test, $p < 0,05$). In der N-Zufuhr über mineralische Düngemittel ergab sich für alle Berechnungsverfahren eine mittlere Abweichung von 0 kg N/ha und damit kein Unterschied zwischen den Berechnungsverfahren. Dahingegen variierte die Abweichung in der N-Zufuhr über organische Düngemittel zwischen +3 kg N/ha (Berechnungsverfahren 1) und -6 kg N/ha (Berechnungsverfahren 7). Das Berechnungsverfahren hatte einen signifikanten Effekt auf die N-Zufuhr über organische Düngemittel (Varianzanalyse, $p < 0,001$). Die Abweichungen von Berechnungsverfahren 7 unterschieden sich signifikant zu sieben anderen Berechnungsverfahren (Tukey-B-Test, $p < 0,05$). Auch auf die Abweichungen in der ermittelten N-Bindung hatte das Berechnungsverfahren einen signifikanten Einfluss (Varianzanalyse, $p < 0,01$). Mit dem Berechnungsverfahren 6 wurde im Durchschnitt der 16 Betriebe immer die höchste N-Bindung ermittelt (+5 kg N/ha im Vergleich zum betrieblichen Mittelwert), mit dem Berechnungsverfahren 7 im Durchschnitt immer die niedrigste (-6 kg N/ha im Vergleich zum betrieblichen

Tabelle 5

Korrelation zwischen N-Saldo (kg N/ha) und N-Zufuhr, N-Bindung sowie N-Abfuhr innerhalb der Betriebe bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

	Betrieb															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
NORG	0,22	0,22	0,47	0,58	0,85 **	0,84 **	0,61 *	0,96 ***	0,49	0,90 ***	0,72 *	0,30	0,52	0,37	0,23	0,07
NBIN	0,69 *	0,51	0,73 *	0,36	0,30	0,74 *	0,52	0,48	0,43	0,48	0,49	0,59	0,33	0,32	0,22	0,87 ***
NABF	-0,70 *	-0,87 ***	-0,64 *	-0,51	-0,89 ***	-0,57	-0,82 **	-0,75 **	-0,74 **	-0,26	0,10	-0,80 *	-0,93 ***	-0,80 **	-0,63 *	-0,39
NORG = N-Zufuhr über organische Düngemittel, kg N/ha NBIN = N-Bindung durch Leguminosen, kg N/ha NABF = N-Abfuhr über Erntegut, kg N/ha																
Korrelationskoeffizient nach Pearson, Signifikanz (2-seitig), *** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05																

Tabelle 6

Mittelwert und Standardabweichung der Abweichungen zum betrieblichen Mittelwert im N-Saldo, in der N-Zufuhr, N-Bindung und N-Abfuhr nach Berechnungsverfahren (Betriebe innerhalb Berechnungsverfahren, n = 16)

Abweichung zum betrieblichen Mittelwert	Berechnungsverfahren										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N-Saldo, kg N/ha											
Mittelwert	2 ^a	1 ^a	3 ^a	2 ^a	3 ^a	7 ^a	-15 ^b	-1 ^a	1 ^a	-15 ^b	11 ^a
Standardabweichung	14	13	4	8	4	9	14	10	5	16	14
N-Zufuhr über mineralische Düngemittel, kg N/ha											
Mittelwert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardabweichung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N-Zufuhr über organische Düngemittel, kg N/ha											
Mittelwert	3 ^a	-4 ^{ab}	1 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	-6 ^b	-1 ^{ab}	0 ^{ab}	1 ^a	1 ^a
Standardabweichung	13	8	2	6	2	6	10	5	3	3	3
N-Bindung durch Leguminosen, kg N/ha											
Mittelwert	2 ^{abc}	2 ^{ab}	-2 ^{bcd}	2 ^a	-2 ^{cd}	5 ^a	-6 ^d	1 ^{abc}	-3 ^d	-2 ^{cd}	1 ^{abc}
Standardabweichung	2	2	3	4	2	5	9	2	2	2	3
N-Abfuhr über Erntegut, kg N/ha											
Mittelwert	3 ^b	-3 ^{cd}	-3 ^{cd}	1 ^b	-3 ^{cd}	-1 ^{cd}	2 ^b	1 ^b	-4 ^{cd}	15 ^a	-8 ^d
Standardabweichung	7	11	4	4	3	4	4	10	4	17	13
^{a,b,c,d} Mittelwerte, die sich signifikant voneinander unterscheiden (Tukey-B-Test, p < 0,05)											

Mittelwert). Die Abweichung zum betrieblichen Mittelwert in der N-Abfuhr über Erntegut variierte zwischen +15 kg N/ha (Berechnungsverfahren 10) und -8 kg N/ha (Berechnungsverfahren 11). Das Berechnungsverfahren zeigte einen signifikanten Einfluss (Varianzanalyse, p < 0,001), das Berechnungsverfahren 10 unterschied sich dabei signifikant von allen anderen Berechnungsverfahren (Tukey-B-Test, p < 0,05).

3.2 Betrieblicher Nährstoffvergleich für Phosphat

Im P-Saldo ergab sich für die 16 Betriebe im Durchschnitt ein Mittelwert von -19 kg P₂O₅/ha. Den niedrigsten P-Saldo hatte Betrieb 15 mit -58 kg P₂O₅/ha, den höchsten Betrieb 6 mit 19 kg P₂O₅/ha. Von den 16 Betrieben wiesen 13 im Durchschnitt einen flächenbezogenen P-Verlust auf. Abbildung 3

zeigt die Variabilität im betrieblichen P-Saldo der 16 Betriebe bei Anwendung der 11 unterschiedlichen Berechnungsverfahren. Innerhalb der Betriebe lag die Spannweite zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert im berechneten P-Saldo bei 4 kg P₂O₅/ha (Betrieb 4, 8, 15 und 16) bis 23 kg P₂O₅/ha (Betrieb 7 und 14) und im Mittel bei 12 kg P₂O₅/ha. Der Variationskoeffizient im P-Saldo lag zwischen 2% (Betrieb 15) und 286% (Betrieb 14), im Mittel bei 37%.

Die Mittelwerte, Standardabweichungen, Spannweite und Variationskoeffizienten der P-Zufuhr und P-Abfuhr der Betriebe bei Anwendung der 11 unterschiedlichen Berechnungsverfahren sind in Tabelle 7 dargestellt. Bei der Berechnung der P-Zufuhr über mineralische Düngemittel ergab sich innerhalb der Betriebe keine Streuung. Mit jeder der 11 Berechnungsverfahren wurde die gleiche betriebliche Ein-

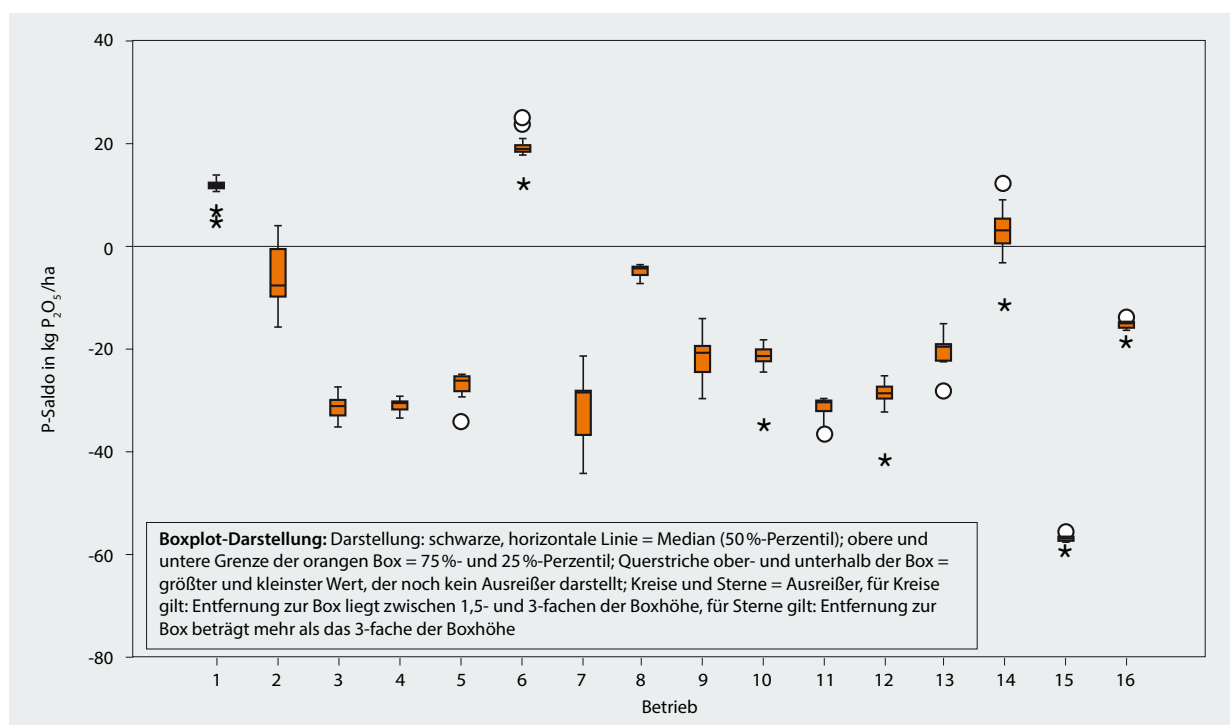


Abbildung 3

Variabilität der P-Salden (kg P₂O₅/ha) von Betrieben bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

Tabelle 7

Mittelwert, Standardabweichung, Spannweite und Variationskoeffizient der P-Zufuhr und P-Abfuhr der Betriebe bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

	Betrieb															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P-Zufuhr über mineralische Düngemittel, kg P₂O₅/ha																
Mittelwert	11	15	0	10	6	42	10	12	12	4	0	0	4	16	3	16
Standardabweichung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-Zufuhr über organische Düngemittel, kg P₂O₅/ha																
Mittelwert	56	64	36	19	23	59	50	26	51	36	43	54	31	87	5	41
Standardabweichung	1	7	1	1	1	0	3	1	2	2	2	2	1	2	0	1
Spannweite	4	18	4	3	2	1	9	3	6	7	6	7	4	6	1	3
Variationskoeffizient, %	2	11	4	5	4	0	7	3	4	5	4	4	4	2	7	2
P-Abfuhr über Erntegut, kg P₂O₅/ha																
Mittelwert	58	85	68	61	57	82	93	44	84	62	76	84	56	101	66	73
Standardabweichung	2	6	2	1	2	3	6	1	5	3	1	5	3	7	1	1
Spannweite	9	25	9	2	9	11	21	2	15	13	2	20	13	24	4	5
Variationskoeffizient, %	4	7	4	1	4	4	7	1	6	6	1	6	6	7	2	2

satzmenge an Mineraldünger in kg P₂O₅/ha ermittelt. Zwischen den Betrieben variierte die P-Zufuhr über mineralische Düngemittel von 0 kg P₂O₅/ha (Betrieb 3, 11 und 12) bis 42 kg P₂O₅/ha (Betrieb 6). Für die berechnete P-Zufuhr über organische Düngemittel ergab sich zwischen den Betrieben eine Variation von 5 kg P₂O₅/ha (Betrieb 15) bis 87 kg P₂O₅/ha (Betrieb 14). Die nach den unterschiedlichen Verfahren

berechnete P-Zufuhr über organische Düngemittel variierte auch innerhalb der Betriebe. Es ergaben sich Variationskoeffizienten, die zwischen 0% (Betrieb 6) und 11% (Betrieb 2) lagen, im Durchschnitt bei 4%. Die Spannweite reichte dabei von 1 kg P₂O₅/ha (Betrieb 6 und 15) bis 18 kg P₂O₅/ha (Betrieb 2). In der kalkulierten P-Abfuhr über Erntegut gab es zwischen den Betrieben eine Variation, die zwischen 44 kg

P₂O₅/ha (Betrieb 8) und 101 kg P₂O₅/ha (Betrieb 14) rangierte. Innerhalb der Betriebe variierte die P-Abfuhr über Erntegut mit maximalen Variationskoeffizienten von 7% (Betrieb 2, 7 und 14) bei einer maximalen Spannweite von bis zu 25 kg P₂O₅/ha (Betrieb 2).

Die Korrelationskoeffizienten zwischen P-Saldo und P-Zufuhr sowie P-Abfuhr innerhalb der Betriebe sind in Tabelle 8 wiedergegeben. Eine signifikante Korrelation zwischen P-Saldo und P-Zufuhr über organische Düngemittel konnte für die Betriebe 2, 4, 5, 8, 10 und 11 nachgewiesen werden. Mit Ausnahme eines Betriebes (Betrieb 2) ergab sich für alle anderen Betriebe eine signifikante Korrelation zwischen P-Saldo und P-Abfuhr über Erntegut.

Tabelle 9 gibt den Mittelwert und die Standardabweichung der Abweichungen zum betrieblichen Mittelwert im P-Saldo, in der P-Zufuhr und P-Abfuhr für die 11 Berechnungsverfahren wieder. Abhängig vom Berechnungsverfahren ergab sich eine mittlere Abweichung im P-Saldo, die zwischen 2 kg P₂O₅/ha (Berechnungsverfahren 3, 5, 9 und 11) und -4 kg P₂O₅/ha (Berechnungsverfahren 1 und 10) lag. Das Berechnungsverfahren hatte einen signifikanten Einfluss

(Varianzanalyse, p < 0,001) auf den P-Saldo. Die Abweichung im P-Saldo waren mit dem Berechnungsverfahren 1 und 10 im Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren signifikant verschieden (Tukey-B-Test, p < 0,05). Die berechnete P-Zufuhr über mineralische Düngemittel unterschied sich nicht zwischen den Berechnungsverfahren. Die Abweichungen in der P-Zufuhr über organische Düngemittel variierte zwischen 1 und -2 kg P₂O₅/ha. Das Berechnungsverfahren hatte auch hier einen signifikanten Effekt (Varianzanalyse, p < 0,001). Die Abweichung in der P-Zufuhr über organische Düngemittel im Berechnungsverfahren 2 (-2 kg P₂O₅/ha) unterschied sich signifikant zu sieben anderen Berechnungsverfahren (Tukey-B-Test, p < 0,05). Die Abweichung zum betrieblichen Mittelwert in der P-Abfuhr über Erntegut variierte zwischen 5 kg P₂O₅/ha (Berechnungsverfahren 10) und -2 kg P₂O₅/ha (Berechnungsverfahren 2, 7 und 11). Das Berechnungsverfahren zeigte einen signifikanten Einfluss auf die P-Abfuhr über Erntegut (Varianzanalyse, p < 0,001). Das Berechnungsverfahren 10 unterschied sich mit Ausnahme von Berechnungsverfahren 1 signifikant zu allen anderen Berechnungsverfahren (Tukey-B-Test, p < 0,05).

Tabelle 8

Korrelation zwischen P-Saldo (kg P₂O₅/ha) und P-Zufuhr sowie P-Abfuhr innerhalb der Betriebe bei Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren (n = 11)

	Betrieb															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PORG	0,28	0,62 *	0,25	0,89 ***	0,66 *	0,01	0,39	0,86 **	0,02	0,77 **	0,95 ***	-0,20	0,50	-0,43	-0,38	0,30
PABF	-0,83 **	-0,41	-0,83 **	-0,61 *	-0,96 ***	-0,99 ***	-0,86 **	-0,65 *	-0,93 ***	-0,94 ***	0,70 *	-0,91 ***	-0,94 ***	-0,97 ***	-0,90 ***	-0,74 **
PORG = P-Zufuhr über organische Düngemittel, kg P ₂ O ₅ /ha PABF = P-Abfuhr über Erntegut, kg P ₂ O ₅ /ha																
Korrelationskoeffizient nach Pearson, Signifikanz (2-seitig), *** p < 0,001, ** p < 0,01, * p < 0,05																

Tabelle 9

Mittelwert und Standardabweichung der Abweichungen zum betrieblichen Mittelwert im P-Saldo, in der P-Zufuhr und P-Abfuhr nach Berechnungsverfahren (Betriebe innerhalb Berechnungsverfahren, n = 16)

Abweichung zum betrieblichen Mittelwert	Berechnungsverfahren										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
P-Saldo, kg P₂O₅/ha											
Mittelwert	4 ^b	-1 ^a	2 ^a	0 ^a	2 ^a	-1 ^a	1 ^a	0 ^a	2 ^a	-4 ^b	2 ^a
Standardabweichung	4	4	2	3	2	2	2	4	2	5	3
P-Zufuhr über mineralische Düngemittel, kg P₂O₅/ha											
Mittelwert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Standardabweichung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-Zufuhr über organische Düngemittel, kg P₂O₅/ha											
Mittelwert	-1 ^{bc}	-2 ^c	1 ^a	0 ^{ab}	1 ^a	-1 ^{abc}	-1 ^{bc}	1 ^{ab}	1 ^{ab}	1 ^a	1 ^{ab}
Standardabweichung	2	2	2	3	2	2	2	1	2	2	2
P-Abfuhr über Erntegut, kg P₂O₅/ha											
Mittelwert	3 ^{ab}	-2 ^c	-1 ^c	0 ^c	-1 ^c	0 ^c	-2 ^c	1 ^{bc}	-1 ^c	5 ^a	-2 ^c
Standardabweichung	3	4	2	1	1	1	3	4	1	6	3
a,b,c,d Mittelwerte, die sich signifikant voneinander unterscheiden (Tukey-B-Test, p < 0,05)											

4 Diskussion

4.1 Reproduzierbarkeit betrieblicher Werte zur Bestimmung des betrieblichen Nährstoffvergleichs bei Anwendung unterschiedlicher länderspezifischer Berechnungsverfahren

Der Variationskoeffizient gilt als Maß für die Wiederholbarkeit (wiederholte Messungen unter Einhaltung gleicher Messbedingungen) und Reproduzierbarkeit (wiederholte Messungen bei unterschiedlichen Messbedingungen) von Messergebnissen (DIN ISO 3534-2). In der vorliegenden Untersuchung wurde innerhalb der 16 Betriebe der Variationskoeffizient für die Variablen des betrieblichen Nährstoffvergleichs für Stickstoff und Phosphat ermittelt, um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der betrieblichen Werte bei Eingabe der gleichen betrieblichen Rohdaten unter Anwendung unterschiedlicher Berechnungsverfahren machen zu können. Es zeigte sich, dass eine Reproduzierbarkeit der betrieblichen Werte mit den unterschiedlichen Berechnungsverfahren häufig nicht gegeben war. Bei Eingabe gleicher betrieblicher Rohdaten kann erwartet werden, dass der Variationskoeffizient bei Null liegt, d. h. dass man mit jedem Berechnungsverfahren für die Variablen des betrieblichen Nährstoffvergleichs das gleiche Ergebnis erhält. Dies war in der vorliegenden Untersuchung jedoch nur für die betriebliche N- und P-Zufuhr über mineralische Düngemittel der Fall.

Angesichts der ermittelten Variationskoeffizienten stellte sich die Frage nach einem maximalen Wert für den Variationskoeffizient, der noch eine akzeptable Reproduzierbarkeit der betrieblichen Variablen wiedergibt. Für die vorliegende Untersuchung wurde zur ersten Beurteilung der Ergebnisse angenommen, dass ein Variationskoeffizient $\leq 10\%$, d. h. eine Abweichung von maximal 10% , noch eine akzeptable Reproduzierbarkeit widerspiegelt.

Für die 16 Betriebe ergab sich im N-Saldo ein durchschnittlicher Variationskoeffizient von 187% , in der N-Zufuhr über organische Düngemittel ein Wert von 10% , in der N-Bindung von 36% und in der N-Abfuhr von 4% . Nur 3 der 16 Betriebe hatten im N-Saldo einen Variationskoeffizient $\leq 10\%$, in der N-Zufuhr über organische Düngemittel hatten 14 von 16 Betrieben einen Wert $\leq 10\%$, in der N-Bindung 1 von 16 Betrieben und in der N-Abfuhr alle Betriebe einen Variationskoeffizient $\leq 10\%$. Daraus kann abgeleitet werden, dass im N-Saldo, der N-Zufuhr über organische Düngemittel und der N-Bindung eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren nicht gegeben ist, sich dagegen in der N-Abfuhr mit den unterschiedlichen Berechnungsverfahren aber vergleichsweise reproduzierbare Ergebnisse ermitteln lassen. Innerhalb der Betriebe ergaben sich jedoch in der berechneten N-Abfuhr bei Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren Spannweiten von bis zu 92 kg N/ha . Nur bei drei Betrieben lag der Wert für die Spannweite unter 10 kg N/ha . Dies zeigt auf, dass für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit der berechneten N-Abfuhr ein Variationskoeffizient von $\leq 10\%$ als zu hoch angesehen werden muss. Für eine abschließende Beurteilung sollten daher Variationskoeffizient und Spannweite, d. h. relative und absolute Streuwerte Berücksichtigung finden.

In Bezug auf den betrieblichen Nährstoffvergleich für Phosphat ergaben sich für die 16 Betriebe ein durchschnittlicher Variationskoeffizient von 37% im P-Saldo und ein durchschnittlicher Variationskoeffizient von 4% für die P-Zufuhr über organische Düngemittel sowie für die P-Abfuhr. Im P-Saldo hatten nur 5 der 16 Betriebe einen Variationskoeffizient $\leq 10\%$, in der P-Zufuhr über organische Düngemittel hatten 15 von 16 Betrieben einen Wert $\leq 10\%$, in der P-Abfuhr alle Betriebe einen Variationskoeffizient $\leq 10\%$. In Bezug auf die Spannweite der Werte zeigte sich, dass in der P-Zufuhr über organische Düngemittel 15 der 16 Betriebe einen Wert unter $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ aufwiesen, in der P-Abfuhr die Spannweite aber nur bei der Hälfte der Betrieben unter $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ lag. Daraus wird abgeleitet, dass sich mit den unterschiedlichen Berechnungsverfahren in der P-Zufuhr über organische Düngemittel vergleichsweise reproduzierbare Ergebnisse ermitteln lassen. Nicht sichergestellt ist jedoch eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bei Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren im kalkulierten P-Saldo und der P-Abfuhr der Betriebe.

Das Berechnungsverfahren 2 beinhaltete als einziges Berechnungsverfahren eine Überprüfung der Grundfüttererträge im Vergleich zum Grundfutterbedarf des angegebenen Tierbestandes. Diese so genannte „Plausibilisierung der Nährstoffabfuhr über Grundfutter“ hat zum Ziel, die nicht oder selten gemessene Nährstoffabfuhr über Futterpflanzen besser einschätzen zu können und ein plausibles Verhältnis (Grundfutterfaktor) zu den Nährstoffausscheidungen der Tiere einzuhalten, die dieses Futter aufnehmen und verwerten (Kapitel 3.5.1: Plausibilisierung der Nährstoffabfuhr über Grundfutter; Osterburg und Techen, 2012). Bei 10 der 16 Betriebe waren die angegebenen Grundfüttererträge plausibel, bei 5 der 16 Betriebe wurden zu hohe Grundfüttererträge festgestellt (d. h. um $1, 4, 13, 14$ oder 38% zu hohe Grundfüttererträge) und bei einem der 16 Betriebe wurde ein um 198% zu niedriger Grundfütterertrag ermittelt. Die vom Berechnungsverfahren 2 als zu hoch oder zu niedrig eingeschätzten Grundfüttererträge wurden im Berechnungsverfahren 2 nicht korrigiert, da nachvollzogen werden konnte, dass es bei diesen Betrieben auch einen wesentlichen Export bzw. Import von Grundfutter gab. Im Berechnungsverfahren 2 kam es daher zu keinerlei Abänderungen der Rohdaten. Somit hatte in der vorliegenden Untersuchung die so genannte „Plausibilisierung der Nährstoffabfuhr über Grundfutter“ keinen Einfluss auf die Streuung bzw. Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

4.2 Einflussfaktoren auf die Reproduzierbarkeit des Nährstoffsaldos bei Anwendung unterschiedlicher länderspezifischer Berechnungsverfahren

Der N-Saldo ergibt sich aus der Differenz zwischen N-Zufuhr (über Düngemittel und N-Bindung) und N-Abfuhr. Durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten zwischen N-Saldo und N-Zufuhr über organische Düngemittel, N-Bindung sowie N-Abfuhr konnte ermittelt werden, welche Zusammenhänge zwischen N-Saldo und den anderen Variablen vorlagen bzw. wodurch die zum Teil sehr hohe Streuung im berechneten N-Saldo innerhalb der 16 Betriebe verursacht wurde.

Mit Ausnahme von Betrieb 4, der im N-Saldo einen Variationskoeffizient von nur 6% aufwies, ergaben sich für alle anderen Betriebe zwischen dem N-Saldo und einem oder zwei der untersuchten Variablen signifikante Korrelationen. Für 6 der 16 Betriebe wurde eine signifikante Korrelation zwischen N-Saldo und N-Zufuhr über organische Düngemittel ermittelt, für 4 der 16 Betriebe eine signifikante Korrelation zwischen N-Saldo und N-Bindung sowie für 11 der 16 Betriebe eine signifikante Korrelation zwischen N-Saldo und N-Abfuhr. Das bedeutet, dass es abhängig von der betriebsindividuellen Struktur war, welche Variablen bei Anwendung der 11 verschiedenen Berechnungsverfahren einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis des N-Saldos hatten. So lässt sich aus den Ergebnissen der Korrelationsanalyse ableiten, dass die extrem große Spannweite zwischen dem niedrigsten und höchsten Wert im berechneten N-Saldo bei Betrieb 14 und 2 (91 und 80 kg N/ha) vor allem durch die kalkulierte N-Abfuhr beeinflusst war. Auch bei den Betrieben 9, 12, 13 und 15 hatte die N-Abfuhr den größten Einfluss auf den berechneten N-Saldo. Für Betrieb 10 und 11 zeigte sich, dass die Variation im N-Saldo durch die Anwendung der unterschiedlichen Berechnungsverfahren hauptsächlich durch die Variation in der N-Zufuhr über organische Düngemittel beeinflusst war. Bei Betrieb 16 beeinflusste in erster Linie die berechnete N-Bindung die Variation des N-Saldos. Für die restlichen 6 der 16 Betriebe wurden für den N-Saldo signifikante Korrelationen zu zwei Variablen ermittelt.

Ein betriebsindividueller Einfluss der Variablen P-Zufuhr über Düngemittel und P-Abfuhr ergab sich auch für den berechneten P-Saldo der Betriebe bei Anwendung der 11 verschiedenen Berechnungsverfahren. Bei allen Betrieben wurden signifikante Korrelationen mit einem (bei 11 Betrieben) oder zwei (bei 5 Betrieben) der untersuchten Variablen gefunden. Bei 6 der 16 Betriebe zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen P-Saldo und P-Zufuhr über organische Düngemittel und bei 15 der 16 Betriebe zwischen P-Saldo und P-Abfuhr.

Aus diesen Ergebnissen wird abgeleitet, dass der über die unterschiedlichen Berechnungsverfahren ermittelte Wert für den betrieblichen N- und P-Saldo und seine Variabilität davon abhängig ist, welche betriebsindividuelle Struktur der Betrieb hat (z. B. Zusammensetzung und Haltung des Tierbestandes, angebaute Pflanzen, Grünlandanteil) und dass bestimmte Betriebsstrukturen bei einigen Berechnungsverfahren Vor- bzw. Nachteile haben.

4.3 Unterschiede zwischen den länderspezifischen Berechnungsverfahren

Zur Feststellung möglicher Unterschiede in der Berechnung der Variablen zur Bestimmung des betrieblichen Nährstoffvergleichs bei Anwendung der 11 länderspezifischen Berechnungsverfahren wurde innerhalb der Berechnungsverfahren für alle Variablen die Abweichung der betrieblichen Einzelwerte zum Durchschnittswert des jeweiligen Betriebes ermittelt. Mit Ausnahme von N- und P-Zufuhr über mineralische Düngemittel hatte das Berechnungsverfahren auf alle

anderen Variablen des betrieblichen Nährstoffvergleichs einen signifikanten Einfluss, d.h. es gibt in Abhängigkeit vom eingesetzten Berechnungsverfahren Unterschiede in der Berechnung dieser Variablen.

Die Spannweite der durchschnittlichen Abweichung zum betrieblichen Durchschnittswert bei Eingabe gleicher betrieblicher Rohdaten lag bei den Variablen zum betrieblichen Nährstoffvergleich für Stickstoff bei 26 kg N/ha (N-Saldo), 23 kg N/ha (N-Abfuhr), 11 kg N/ha (N-Bindung) bzw. 10 kg N/ha (N-Zufuhr über organische Düngemittel).

In Bezug auf den N-Saldo wurde im Vergleich zu allen anderen Berechnungsverfahren mit den Berechnungsverfahren 7 und 10 für die Betriebe im Durchschnitt ein signifikant geringerer N-Saldo ermittelt. Dies erklärt sich für Berechnungsverfahren 7 zu gleichen Teilen durch signifikant niedrigere Werte in der N-Zufuhr über organische Düngemittel und durch signifikant niedrigere Werte in der N-Bindung. Hinsichtlich der N-Bindung wurde festgestellt, dass Berechnungsverfahren 7 das einzige Verfahren war, bei dem sich für einzelne Betriebe auch eine N-Bindung von Null ergab. Im Gegensatz zu anderen Berechnungsverfahren, bei denen Grünland eine pauschale N-Bindung von 30 kg N/ha zugeordnet wird (beispielhaft: Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd (LEL) Baden-Württemberg, 2014) wird mit dem Berechnungsverfahren 7 die N-Bindungsfähigkeit im Grünland sehr differenziert beurteilt (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2014). So bekommt Weide im Berechnungsverfahren 7 eine N-Bindung von 30 kg N/ha zugeordnet, Mähweide mit einem oder zwei Schnitten eine N-Bindung von 10 kg N/ha, Mähweide mit drei Schnitten eine N-Bindung von 5 kg N/ha und Mähweide mit vier Schnitten oder Wiese mit 5 Schnitten eine N-Bindung von 0 kg N/ha. Für Betrieb 11 wurde im Vergleich zwischen Berechnungsverfahren 7 und 10 festgestellt, dass bei Anbau von Klee gras (30:70) im Berechnungsverfahren 7 mit einer N-Bindung von 0,386 kg N/dt Ertrag gerechnet wurde (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2014), im Berechnungsverfahren 10 aber nur mit 0,160 kg N/dt Ertrag (LLFG - Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2014). In Bezug auf die mit Berechnungsverfahren 7 im Vergleich zu anderen Berechnungsverfahren signifikant niedrigeren Werte in der N-Zufuhr über organische Düngemittel wird vermutet, dass das Berechnungsverfahren 7 bei Einsatz einiger organischer Düngemittel mit höheren N-Ausbringverlusten rechnet. So zeigte sich am Beispiel von Betrieb 6, der größere Mengen an Biogasgärresten importierte, dass Berechnungsverfahren 7 mit 36% N-Ausbringverlusten kalkulierte, dagegen z.B. Berechnungsverfahren 1 nur mit 18%. Ein zweites Beispiel ist Betrieb 14, bei dem die Milchkühe im Sommer alle auf die Weide gehen. Hier kalkuliert Berechnungsverfahren 7 für die Zeit des Weideganges mit 75% N-Verlusten, Berechnungsverfahren 1 aber nur mit 40% (Elsäßer, 2008). Gemäß Anlage 6 der DüV (DüV, 2007) liegt die Mindestanrechnung der N-Ausscheidungen für Weidehaltung derzeit bei 25%. Derzeit noch keine Vorgaben macht die DüV (DüV, 2007) für maximal anrechenbare Ausbringverluste bei Einsatz von Gärresten aus Biogasanlagen.

Für Berechnungsverfahren 10 erklärt sich der signifikant geringere N-Saldo allein durch die im Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren signifikant höheren Werte in der N-Abfuhr. Zum Beispiel gibt es im Berechnungsverfahren 10 für das Grünland abgestuft nach Anzahl der Aufwüchse (1 bis 5) ansteigende N-Entzugs-Koeffizienten: 0,33, 0,45, 0,55, 0,68 und 0,70 kg N/dt FM (LLFG - Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, Sachsen-Anhalt, 2014). Bei Berechnungsverfahren 7 wird für diese unterschiedlichen Grünlandvarianten aber nur mit einem einheitlichen N-Entzugs-Koeffizienten von 0,54 kg N/dt FM kalkuliert (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2014).

Bei den Variablen zum betrieblichen Nährstoffvergleich für Phosphat ergaben sich Spannweiten der durchschnittlichen Abweichung zum betrieblichen Durchschnittswert bei Eingabe gleicher betrieblicher Rohdaten von 6 kg P_2O_5 /ha (P-Saldo), 7 kg P_2O_5 /ha (P-Abfuhr) und 4 kg P_2O_5 /ha (P-Zufuhr über organische Düngemittel). Im P-Saldo wurde im Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren mit den Berechnungsverfahren 1 und 10 für die Betriebe im Durchschnitt ein signifikant geringerer Wert ermittelt. Dies erklärt sich für beide Berechnungsverfahren überwiegend durch die im Vergleich zu den anderen Berechnungsverfahren signifikant höheren Werte in der P-Abfuhr. Bei Berechnungsverfahren 1 lag dies an höheren Koeffizienten bei Berücksichtigung der Ernteebenenprodukte Stroh oder Blatt, bei Berechnungsverfahren 10 ist dies vor allem auf die ansteigenden P_2O_5 -Entzugs-Koeffizienten im Grünland mit ansteigender Anzahl an Aufwüchsen zurückzuführen.

Es stellt sich letztendlich die Frage, womit die dargestellten Unterschiede in den länderspezifischen Berechnungsverfahren begründet werden und ob diese Unterschiede gerechtfertigt sind. Nach den vorliegenden Ergebnissen ergibt sich für einen Betrieb in Sachsen-Anhalt, der einen N-Saldo von 59 kg N/ha hat, bei Eingabe seiner betrieblichen Rohdaten in Brandenburg ein N-Saldo von 77 kg N/ha, in Sachsen von 75, in Niedersachsen von 81 und in Thüringen sogar ein N-Saldo von 85 kg N/ha. Gemäß geplanter Novellierung der Düngeverordnung gäbe es für den Betrieb in Sachsen-Anhalt keine behördlichen Sanktionen, würde er aber nur ein paar Kilometer weiter in einem anderen Bundesland liegen, müssten ihm behördliche Sanktionen auferlegt werden. Ähnliches gilt für den P-Saldo. Ein Betrieb mit einem P-Saldo von 19 kg P_2O_5 /ha in Sachsen-Anhalt hätte in Niedersachsen einen P-Saldo von 22 kg P_2O_5 /ha und in Brandenburg, Sachsen und Thüringen einen P-Saldo von 25 kg P_2O_5 /ha.

Außer Frage steht, dass die einzelnen für die Erstellung des Nährstoffvergleichs berechneten Variablen einer Variabilität unterliegen. So beeinflusst das Fütterungsregime maßgeblich die N- und P-Ausscheidungen der Tiere (Cerosaletti et al., 2004; Steinwider et al., 2009) sowie die N-Verluste aus den N-Ausscheidungen der Tiere während der Lagerung und Ausbringung (Frank et al., 2002; Misselbrook et al., 2005; van der Stelt et al., 2008). Das Haltungsverfahren bzw. die Stalltechnik hat einen Einfluss auf die N-Verluste im Stall (Döhler et al., 2002), die Aufbereitung und eingesetzte Technik einen Einfluss auf die N-Verluste während der Ausbringung von organischem Dünger (Döhler et al., 2002; van der Stelt et al.,

2007; Dämmgen et al., 2013) sowie die Anbautechnik einen Einfluss auf die N-Bindungskapazität der Leguminosen (Peoples et al., 1995). Diese das Betriebsmanagement betreffenden Einflussfaktoren können in keinem Fall als bundeslandspezifisch gelten. Auch Unterschiede im Bodentyp und Klima, die einen Einfluss auf den Rohproteingehalt von geerntetem Pflanzenmaterial (Piergiovanni et al., 2011; Wang und Frei, 2011) und damit auf den N-Entzug angebaute Pflanzen haben, können keine Unterschiede zwischen den Bundesländern begründen, da es sich um Einflussfaktoren handelt, die nicht in den Grenzen eines Bundeslandes Beschränkung finden. In einer zukünftigen Diskussion dieser Thematik sollte dies Berücksichtigung finden.

5 Schlussfolgerungen

Im Abschlussbericht der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (Osterburg und Techen, 2012) wird die Annahme geäußert, dass bei der Erstellung der betrieblichen Nährstoffvergleiche eine bundeseinheitliche Vorgehensweise in der Regel sichergestellt ist. Diese Annahme wird mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung in soweit widerlegt, dass dargestellt werden konnte, dass (1) die Reproduzierbarkeit der betrieblichen Werte bei Anwendung unterschiedlicher länderspezifischer Berechnungsverfahren nicht gegeben ist und (2) es statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Berechnungsverfahren der einzelnen Bundesländer zur Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gibt.

In Bezug auf den N-Saldo zeigte sich in der vorliegenden Untersuchung, dass eine schlechte Reproduzierbarkeit der Ergebnisse vor allem Betriebe mit einem N-Saldo unter 60 kg N/ha betraf (Abbildung 2). Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (Osterburg und Techen, 2012; Anhang 4, A4.5 Nährstoffvergleiche – Methoden und Salden) nimmt an, dass derzeit im Durchschnitt 80 % der Betriebe in Deutschland im N-Saldo unter 60 kg N/ha liegen. Sechzehn milchviehhaltende Betriebe bilden sicherlich nicht die Gesamtheit der deutschen Betriebe ab. Abgeleitet aus den vorliegenden Ergebnissen kann aber gemutmaßt werden, dass unter den derzeitigen Bedingungen (Anwendung unterschiedlicher länderspezifischer Berechnungsverfahren) bis zu 80 % der Betriebe in Deutschland in den Bereich der schlechten Reproduzierbarkeit des N-Saldos fallen. Ob letztendlich der bestimmte N-Saldo nah am „wahren“ Wert für den Betrieb liegt, hängt dann davon ab, welches Berechnungsverfahren angewendet wird bzw. in welchem Bundesland sich der Betrieb befindet.

Aus den vorliegenden Ergebnissen wird geschlussfolgert, dass durch die in Deutschland zur Anwendung kommenden länderspezifischen Berechnungsverfahren für den betrieblichen Nährstoffvergleich für Stickstoff und Phosphat eine Ungleichbehandlung der landwirtschaftlichen Betriebe resultiert. Um das System justizierbar zu machen und im Sinne der Gleichbehandlung aller Betriebe fairer zu gestalten, plädieren die Autoren daher hinsichtlich der Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs für ein bundeseinheitliches

Berechnungsverfahren mit einheitlichem Wertekatalog, der die derzeitige Variabilität der Betriebe abbildet, d.h. eine realitätsnahe Zuordnung jedes Betriebes gewährleistet.

Ein für alle Bundesländer einheitlich geltender Wertekatalog hat auch den Vorteil, dass er viel schneller an neue, betriebliche und technische Entwicklungen angepasst werden kann. Abgeleitet aus den vorliegenden Betriebsdaten sehen die Autoren derzeit vor allem in zwei Bereichen die Notwendigkeit, die Berechnung des betrieblichen Nährstoffvergleichs an Veränderungen im Management der Betriebe anzupassen bzw. diese zu berücksichtigen: (1) die Anwendung N-reduzierter Fütterungsstrategien (Nachweisbarkeit für den Milchviehbereich: Spiekers und Obermaier, 2007); und (2) der Einsatz N-Verlust-minimierender Ausbringtechniken organischer Düngemittel (Döhler et al., 2002; Dämmgen et al., 2013). Beide Aspekte dienen der Reduzierung umweltrelevanter N-Verluste. In diesem Zusammenhang sollte nicht vergessen werden, dass die Düngverordnung das zentrale Instrument des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen ist (Europäische Kommission, 2013). Die Autoren unterstützen daher die Empfehlung der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngverordnung (Osterburg und Techen, 2012), dass zur Erhöhung der Transparenz zukünftig im Nährstoffvergleich auch Brutto-Werte und Brutto-N-Saldo vor Abzug von N-Verlusten aufgezeichnet werden, da nur so der eigentliche N-Überschuss und das mögliche N-Einsparpotential eines Betriebes sichtbar wird.

Danksagung

Die vorliegenden Auswertungen sind Teil des Projekts Nährstoffeffizienz (Projekttitel: Tool zur systemischen Erfassung und Optimierung der Nährstoffeffizienz in der Milchviehhaltung, Förderkennzeichen: 2817401411). Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Die Autoren sind darüber hinaus Herrn Timotheus Kuhrau für die Unterstützung bei der Eingabe der betrieblichen Rohdaten in das Programm AODüngerverordnung dankbar.

Literatur

- Cerosaletti PE, Fox DG, Chase LE (2004) Phosphorus reduction through precision feeding of dairy cattle. *J Dairy Sci* 87:2314-2323
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Hahne J, Eurich-Menden B, Grimm E, Döhler H (2013) Landwirtschaftliche Emissionen: Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“. Dessau-Roßlau: UBA, 106 p, Texte / Umweltbundesamt 39/2013
- Döhler H, Eurich-Menden B, Dämmgen U, Osterburg B, Lüttich M, Bergschmidt A, Berg W, Brunsch R (2002) BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der Deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Berlin: Umweltbundesamt, 307 p, Texte / Umweltbundesamt 05/02
- DüV (1996) Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngerverordnung) vom 26. Januar 1996. Bundesgesetzblatt / Teil 1(6)118
- DüV (2007) Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngerverordnung - DüV). Bundesgesetzblatt / Teil 1(7)222-240
- Elsäßer M (2008) Düngung von Wiesen und Weiden [online]. Zu finden in <https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_gj/Gr%C3%BCnlandDueng_Merkb_2007_Stand2008.pdf>, [zitiert am 28.08.2014]
- Europäische Kommission (2013) Bericht der Kommission an den Rat und das europäische Parlament über die Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen auf der Grundlage der Berichte der Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2008–2011: COM(2013) 683 final [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0683&rid=11>> [zitiert am 28.08.2014]
- Frank B, Persson M, Gustafsson G (2002) Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Prod Sci* 76:171-179
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2014) Nährstoffvergleiche mit der Excel-Anwendung Nährstoffvergleich NRW: Version 4.37 vom 27.05.2013 und Version 3.3 vom 08.07.2010 [online]. Zu finden in <<http://www.landwirtschaftskammer.de/Landwirtschaft/ackerbau/duengung/naehrstoffvergleich/index.htm>> [zitiert am 10.06.2014]
- LEL - Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd (2014) Nährstoffvergleich-light (für Landwirte) : Stand 03/2012 [online]. Zu finden in <http://www.lel-bw.de/pb/Lde/Startseite/Nachhaltige+Unternehmensentwicklung/EDV-Fachanwendungen_Bereich_Pflanzenbau_extern> [zitiert am 10.06.2014]
- LLFG - Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt (2014) Berechnung einer Flächen- und Schlagbilanz nach Düngerverordnung: NPK-Rechner, Version 1.0 - Stand Januar 2010 [online]. Zu finden in <<http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/ackerbau-und-pflanzenbau/pflanzenernaehrung-und-duengung/programm-download/>> [zitiert am 28.08.2014]
- Misselbrook TH, Powell JM, Broderick GA, Grabber JH (2005) Dietary manipulation in dairy cattle: laboratory experiments to assess the influence on ammonia emissions. *J Dairy Sci* 88:1765-1777
- Osterburg B, Techen A-K (2012) Evaluierung der Düngerverordnung - Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung: Abschlussbericht; Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngerverordnung; Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [online]. Zu finden in <http://www.ti.bund.de/fileadmin/dam_uploads/vTI/Bilder/Aktuelles/Downloads_2011/121217_Bericht_Evaluierung_D%C3%BCV.pdf> [zitiert am 10.06.2014]
- Osterburg B (2013) schriftliche Mitteilung vom 18.9.2013
- Peoples MB, Ladha JK, Herridge DF (1995) Enhancing legume N₂ fixation through plant and soil management. *Plant Soil* 174:83-101
- Piergiorganni A, Lupob F, Zaccardelli M (2011) Environmental effect on yield, composition and technological seed traits of some Italian ecotypes of grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *J Sci Food Agric* 91:122-129
- Schlegel U (2013) schriftliche Mitteilung vom 16.8.2013
- Spiekers H, Obermaier A (2007) Milchwahnhaltigkeit und N-Ausscheidung. *Schule Beratung* (4-5):III4-III9
- Steinwigger A, Guggenberger T, Gastner J, Podstatzky L, Gruber L, Häusler J, Gallböck M, Schauer A (2009) Einfluss der Proteinversorgung auf Futteraufnahme, Milchleistung, Pansen- und Blutparameter sowie N-Ausscheidung von Milchkühen. *Züchtungskunde* 81(2):106-124
- Van der Stelt B, Temminghoff EJM, Van Vliet PCJ, Van Riemsdijk WH (2007) Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. *Bioresour Technol* 98:3449-3455
- Van der Stelt B, Van Vliet PCJ, Reijs JW, Temminghoff EJM, Van Riemsdijk WH (2008) Effects of dietary protein and energy levels on cow manure excretion and ammonia volatilization. *J Dairy Sci* 91:4811-4821
- Wang Y, Frei M (2011) Stressed food: the impact of abiotic environmental stresses on crop quality. *Agric Ecosyst Environ* 141:271-286

WBA/WBD/SRU (2013) Novellierung der Düngverordnung : Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen ; Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) zur Novellierung der „Düngverordnung“ (DüV) vom 23.08.2013 [online]. Zu finden in <<http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/NovelleDuengeverordnung.html>> [zitiert am 10.06.2014]