



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF

Agroscope
Forschungsbereich Umweltressourcen und Landwirtschaft

21. August 2015

Forschungsauftrag «Folgearbeiten des Mandats zur Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz»: Schlussbericht

Walter Richner, Christine Bosshard und Ernst
Spiess

Inhalt

Abkürzungen	3
Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1 Zusammenfassung	6
2 Einleitung	8
3 Monte-Carlo-Simulation der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz.....	9
3.1 Problemstellung	9
3.2 Die Monte-Carlo-Simulation	9
3.3 Berechnung der Suisse-Bilanz.....	11
3.4 Monte-Carlo-Simulation der Suisse-Bilanz.....	13
3.5 Fazit	13
4 Konzeptioneller Vergleich der Berechnungsmethoden von Suisse- und OSPAR-Bilanz	14
4.1 Bilanzierungsmethoden und Datenbedarf	14
4.2 Korrekturfaktoren	16
4.3 Relevanz der Zielgrösse für die beiden Bilanzen	17
4.4 Ökologische Wirkung der Bilanzierungsmethoden	18
4.5 Eignung der Bilanzierungsmethoden für verschiedene Anwendungen.....	19
5 Notwendige Schritte zur Ablösung der Suisse- durch die OSPAR-Bilanz	21
5.1 Schaffung der methodischen Grundlagen für die Berechnung der OSPAR-Bilanz .	21
5.2 Operationalisierung der Zielgrösse der OSPAR-Bilanz	21
5.3 Verfügbarkeit und Qualität der nötigen Daten für die OSPAR-Bilanz	24
5.4 Abschätzung des Zeitbedarfs für die Berechnung der OSPAR-Bilanz	29
5.5 Vergleich mit den Bestrebungen zur Einführung der Hoftorbilanz in Deutschland ..	31
6 Synthese: Potenzial der OSPAR-Bilanz als mögliche Alternative zur Suisse-Bilanz	34
6.1 Berechnungs- und Datengrundlagen	34
6.2 Zeitbedarf für die Berechnung	34
6.3 Genauigkeit der Ergebnisse.....	35
6.4 Zielgrösse	35
6.5 Eignung der Bilanzierungsmethoden für verschiedene Anwendungen.....	35
6.6 Zu erwartende Akzeptanz	36
6.7 Forschungsbedarf vor einer Einführung	36
7 Literatur	37

Abkürzungen

AGIS	Agrarpolitisches Informationssystem des BLW
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
DZV	Direktzahlungsverordnung
GRUDAF	«Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau» von Agroscope
HODUFLU	Internetprogramm des BLW zur einheitlichen Verwaltung von Hof- und Recyclingdüngerverschiebungen in der Landwirtschaft
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
N	Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
NO ₃	Nitrat
ÖLN	Ökologischer Leistungsnachweis
OSPAR	Übereinkommen zum Schutz der Meeresumwelt des Nordost-Atlantiks (Oslo-Paris-Konvention)
P	Phosphor
TS	Trockensubstanz
TVD	Tierverkehrsdatenbank des Bundes
WDF	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. Methodik der Monte-Carlo-Simulation.....	10
Abb. 2. Verschiedene Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDFs).....	10
Abb. 3. Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft mit den wichtigsten Nährstoffflüssen.	14
Abb. 4. Prinzip der Hoftorbilanz.	15
Abb. 5. Prinzip der Bodenbilanz.....	15
Abb. 6. N-Anfall in den tierischen Ausscheidungen als Indikator für die Tierdichte.....	19
Abb. 7. Auswertung der Fragebogenrückmeldungen zum Aufwand für die Berechnung der OSPAR- im Vergleich zur Suisse-Bilanz für vier wichtige Betriebstypen der schweizerischen Landwirtschaft.....	30

Tabellenverzeichnis

Tab. 1. Zusammenstellung aller Input- und Outputgrößen auf Betriebsebene, die zur Berechnung der beiden Methoden nötig sind.	16
Tab. 2. Orientierungswerte für unvermeidbare N-Verluste in Abhängigkeit von Standortbedingungen, Bodennutzung und Nährstoffanfall aus der Tierhaltung.	23
Tab. 3. Zusammenstellung und Bewertung aller Input- und Outputgrößen auf Betriebsebene, die zur Berechnung der OSPAR-Bilanz nötig sind.	26
Tab. 4. Vorschlag des VDLUFA für die Festlegung der betriebsspezifisch zulässigen N-Überschüsse gemäss Hoftorbilanz (Tabelle modifiziert aus VDLUFA, 2012).	33

1 Zusammenfassung

In einer vorangehenden Studie (Bosshard et al., 2012) wurden die methodischen Grundlagen der Suisse-Bilanz überprüft. In zwei Bereichen wurde Bedarf für vertiefte Abklärungen identifiziert:

- Abschätzung der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz mittels einer Monte-Carlo-Simulation;
- Prüfung der OSPAR-Methode (Synonym für Hoftorbilanz) als Alternative zur Suisse-Bilanz.

Diese beiden Fragestellungen wurden im Rahmen einer Folgestudie bearbeitet, deren Ergebnisse in diesem Bericht präsentiert werden.

Im ersten Teil des Berichts wird eine Machbarkeitsanalyse für eine Monte-Carlo-Simulation der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz präsentiert. Die Ergebnisse einer Monte-Carlo-Simulation sollten Aufschluss geben, ob der zulässige Fehlerbereich der Suisse-Bilanz von $\pm 10\%$ zur Kompensation von Schätzungenauigkeiten gerechtfertigt ist.

Im Rahmen der Machbarkeitsanalyse wurden systematisch alle 50 Inputvariablen, die für die Berechnung der Suisse-Bilanz notwendig sind, aufgelistet. Für jede dieser Variablen mussten für eine Monte-Carlo-Simulation Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDFs) abgeschätzt werden; die Zahl der nötigen WDFs wäre sehr gross, weil viele Inputvariablen mehrere bis viele Kategorien enthalten, für die separate WDFs notwendig wären.

Im Rahmen einer Zwischenbesprechung mit dem Auftraggeber wurde beschlossen, wegen des sehr grossen Aufwands die Monte-Carlo-Simulation nicht durchzuführen.

Im zweiten Teil des Berichts wird das Potenzial der OSPAR- bzw. Hoftorbilanz als Alternative zur Suisse-Bilanz im Rahmen des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) beurteilt. Der Hauptvorteil der OSPAR-Bilanz wäre, dass sie bei guter Qualität der in die Berechnung eingehenden Daten zuverlässige Ergebnisse zu den gesamten Verlusten und der Bodenanreicherung eines bilanzierten Nährstoffs liefern kann. Der OSPAR-Bilanzsaldo könnte somit herangezogen werden, um ökonomische Lenkungsinstrumente anzuwenden (z. B. eine Besteuerung von Nährstoffüberschüssen).

Bei der Analyse der Berechnungs- und Datengrundlagen zeigte sich, dass der Grad der Selbstdeklaration von Variablen, die in die Bilanzrechnung eingehen, bei der OSPAR-Bilanz noch höher ist als bei der Suisse-Bilanz. Die Selbstdeklaration war in der Vorgängerstudie bereits als eine der Schwächen der Suisse-Bilanz identifiziert worden.

Bei der Abschätzung des Zeitaufwands für die Berechnung der OSPAR-Bilanz zeigte sich, dass keine quantitativen Informationen vorliegen. Deshalb wurden Suisse-Bilanz-Experten angefragt, den Zeitaufwand für die Berechnung der OSPAR-Bilanz im Vergleich zur Suisse-Bilanz für vier typische schweizerische Betriebstypen abzuschätzen. Die Einschätzungen der Experten gehen mehrheitlich von einem Zusatzaufwand für die Erfassung der OSPAR-Bilanz aus.

Bezüglich der Genauigkeit der Ergebnisse kann die OSPAR-Bilanz als gut dokumentierte Methode genaue Angaben zu den betrieblichen Nährstoffüberschüssen liefern, wenn die Qualität der in die Berechnung einflussenden Daten gut ist. Deshalb müsste für die Zu- und Wegfuhr von wichtigen Gütern wie Futtermitteln und Düngern im Idealfall ein System im Stil von HODUFLU geschaffen werden, um diese relevanten Nährstoffflüsse besser belegen zu können.

Ein Hauptnachteil der OSPAR-Bilanz ist, dass noch keine Zielgrößen für schweizerische Verhältnisse vorliegen. Die Operationalisierung von Zielgrößen z. B. basierend auf dem Konzept der unvermeidbaren Nährstoffverluste wäre eine wissenschaftlich anspruchsvolle und aufwändige Vorarbeit vor der Einführung der OSPAR-Bilanz.

Hinsichtlich der Aussagekraft des Bilanzierungsergebnisses unterscheidet sich die OSPAR-Bilanz klar von der Suisse-Bilanz. Sie kann genaue Informationen zu den Nährstoffverlusten eines Betriebs liefern, lässt sich aber nicht wie die Suisse-Bilanz als gesamtbetriebliches Düngungsplanungsinstrument nutzen.

Wir gehen aufgrund der Ergebnisse dieser Studie davon aus, dass die Akzeptanz der OSPAR-Bilanz als Alternative zur Suisse-Bilanz in Praxis-, Beratungs- und Vollzugskreisen eher gering wäre, weil der Aufwand für die Erfassung eher grösser würde und weil über alles gesehen die Vorteile eines Systemwechsels die Nachteile nicht überwiegen würden. Negativ beurteilt würde von diesen Kreisen vermutlich der Wegfall eines bewährten gesamtbetrieblichen Düngungsplanungsinstruments.

Andererseits dürfte die Akzeptanz eines Systemwechsels bei Umweltbehörden und NGOs deutlich grösser sein, weil die OSPAR-Bilanz im Gegensatz zur Suisse-Bilanz die Gesamtverluste des bilanzierten Nährstoffs ausweist.

2 Einleitung

Das Bundesamt für Landwirtschaft BLW erteilte Agroscope INH, damals noch ART, den Auftrag zur Überprüfung der methodischen Grundlagen der Suisse-Bilanz. Dieses Mandat wurde von ART 2012 mit dem Bericht «Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz» abgeschlossen.

In den Diskussionen zwischen ART und dem BLW auf Basis des Schlussberichts zeigte sich in zwei Bereichen die Notwendigkeit für vertiefte Abklärungen. Dies sind:

- Abschätzung der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz mittels einer Monte-Carlo-Simulation; und
- Prüfung der OSPAR-Methode (Hoftorbilanz) als Alternative zur Suisse-Bilanz.

Die Begründungen für diese Zusatzarbeiten sind einerseits der Wunsch nach einer objektiven Bewertung der Notwendigkeit der 10-%-Toleranz des Gesamtsaldos der Suisse-Bilanz und andererseits die Abklärung des Potenzials der OSPAR-Bilanz zur Ablösung der Suisse-Bilanz, welche von Kritikern als relativ aufwändig und nicht in allen Teilen wissenschaftlich fundiert beurteilt wird.

In einem ersten Teil dieses Berichts wird eine Machbarkeitsanalyse für eine Monte-Carlo-Simulation der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz präsentiert. Die weiteren Teile des Berichts sind dem Vergleich zwischen Suisse- und OSPAR-Bilanz und einer Grobplanung der nötigen fachlichen Schritte für die Einführung der OSPAR-Bilanz im Rahmen des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) gewidmet.

3 Monte-Carlo-Simulation der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz

3.1 Problemstellung

Die Suisse-Bilanz dient als Vollzugs- und Planungsinstrument zum Nachweis einer ausgeglichenen Stickstoff- bzw. Phosphorbilanz zur Erfüllung des ÖLN (Direktzahlungsverordnung, SR 910.13). Bei der Suisse-Bilanz handelt es sich um eine Anfalls-Bedarfs-Bilanz. Die Bilanzen gelten als ausgeglichen, wenn die verfügbare Menge an Stickstoff (N) und Phosphor (P_2O_5) den Bedarf der Kulturen nicht übersteigt.

Als Kompensation von Schätzungenauigkeiten wurde ein Fehlerbereich von $\pm 10\%$ festgelegt (Agridea und BLW, 2013). Die Bedeutung des Fehlerbereichs für die Bilanz liegt darin, dass es bei einer systematischen Ausnutzung nach oben zu übermässigen Emissionen und zu einer Überdüngung der Böden kommt. Nicht ausser Acht lassen sollte man Betriebe, die regelmässig eine stark negative Bilanz aufweisen. In diesen Fällen übersteigt der Nährstoffbedarf den Nährstoffanfall, was längerfristig zu einer Verarmung der Böden vor allem bezüglich P führen könnte.

Die Direktzahlungsverordnung (DZV) gab ab der ÖLN-Kampagne 2000 für N und P_2O_5 neu einen Bilanzfehlerbereich von max. $+10\%$ des Pflanzenbedarfs vor; davor betrug der Fehlerbereich max. 10% oder 10 kg pro ha düngbare Fläche, wobei das für den Betrieb günstigere Kriterium ausschlaggebend war (Uebersax, 1999.) Weshalb man damals auf einen Fehlerbereich von genau $\pm 10\%$ gekommen ist, ist nicht mehr zu eruieren. Deshalb soll die Agroscope in einem vom BLW erteilten Nachfolgemandat zur «Überprüfung der Suisse-Bilanz» (Bossard et al., 2012), die kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz mittels Monte-Carlo-Simulation abschätzen.

3.2 Die Monte-Carlo-Simulation

Modelle wie auch die Suisse-Bilanz sind Annäherung an die Realität. Die Inputgrössen, die in das Modell eingespeist werden, sind selten genau bekannt, weshalb auch der Modell-Output von der Realität abweicht; das heisst, dass Fehler oder Unsicherheiten, die im Modell und im Input enthalten sind, sich im Modell-Output fortsetzen (Heuvelink, 1998). Die totale Modell-Unsicherheit setzt sich aus einer Kombination von drei Unsicherheitsquellen zusammen: i) Unsicherheit der Input-Variablen (z. B. Messfehler), ii) Unsicherheit der Modellparameter (z. B. fehlende Informationen) und iii) Unsicherheit der Modellstruktur (z. B. zugrundeliegende Gleichungen + Annahmen) (Hudson and Tilley, 2014; Verbeeck et al., 2006). Das Ausmass der Unsicherheit hängt von der Qualität und der Quantität der verfügbaren Daten sowie vom Wissen über die zugrundeliegenden Prozesse ab (IPCC, 2006). Mit einer Monte-Carlo-Simulation lässt sich die Unsicherheit des Modell-Outputs mittels Wahrscheinlichkeitsverteilungen abschätzen (Miller et al., 2006; Verbeeck et al., 2006). Ziel der Unsicherheitsanalysen ist also die Quantifizierung des Beitrags verschiedener individueller Unsicherheitsquellen zur Output-Unsicherheit (Jansen, 1998; Kros et al., 2012).

Die Output-Verteilung wird dabei durch wiederholte und zufällige Entnahme von Werten aus den Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Inputgrössen generiert. Zur Quantifizierung der Inputunsicherheiten stehen verschiedene Datenquellen, wie z. B. Versuchs- oder Literaturdaten sowie Experteneinschätzungen, zur Verfügung.

Das erwähnte Nachfolgemandat beinhaltet die Quantifizierung der Unsicherheiten im Zusammenhang mit den Input-Variablen.

3.2.1 Methodik der Monte-Carlo-Simulation

Wie schon weiter oben beschrieben, wird bei der Monte-Carlo-Simulation der Modell-Output wiederholt anhand von Inputwerten, welche pseudo-zufällig mittels eines Algorithmus aus den jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilungen generiert werden, berechnet. Daraus lässt sich dann die Variabilität im Modell-Output bestimmen, welche ein Mass für die Modell-Unsicherheit darstellt (Heuvelink, 1998) (Abb. 1).

Für die Ausführung der Monte-Carlo-Simulation müssen folgende Voraussetzungen gegeben sein: für jeden Modellparameter, der als unsicher eingestuft wird, muss eine Unsicherheitsverteilung bzw. deren Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF) bestimmt werden (Verbeeck et al., 2006). Die Generierung einer grossen Anzahl von Simulationen erlaubt es dann, für jeden Parameter einen Wert entsprechend seiner WDF zufällig zu erzeugen und dann die WDF des Resultats statistisch zu analysieren (Hudson and Tilley, 2014; Payraudeau et al. 2007; Yanai et al., 2010). Die WDF beschreibt den Umfang und die relative Wahrscheinlichkeit möglicher Werte (IPCC, 2006). In Abb. 2 sind einige Typen von WDFs aufgeführt. Die Abschätzung der WDFs basiert auf experimentellen Daten, wenn vorhanden. Stehen keine oder nicht genügend Messwerte zur Verfügung, muss die Abschätzung der WDFs über Experteneinschätzungen und/oder Literaturdaten ermittelt werden.

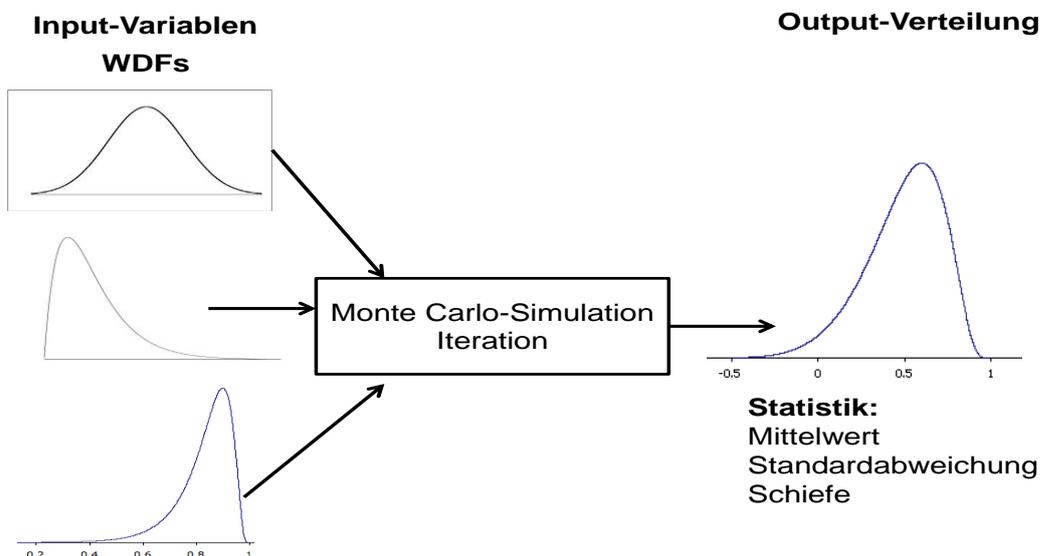


Abb. 1. Methodik der Monte-Carlo-Simulation.

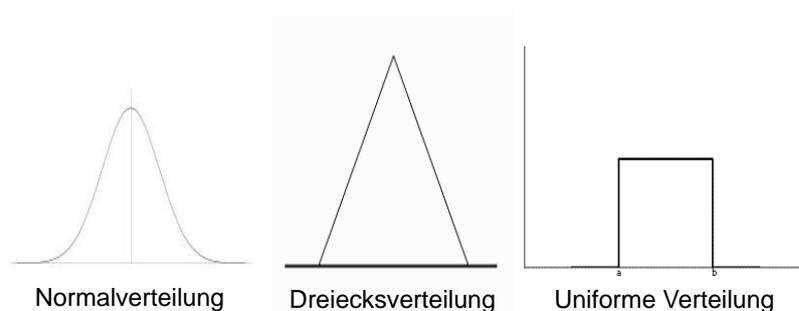


Abb. 2. Verschiedene Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen (WDFs).

Mittels Sensitivitätsanalyse können mit der Monte-Carlo-Simulation diejenigen Parameter bestimmt werden, die am meisten zu Output-Unsicherheiten beitragen (Cariboni et al., 2007; Payraudeau et al. 2007; Verbeeck et al., 2006).

3.2.2 Vor- und Nachteile der Monte-Carlo-Simulation

- **Vorteile:** Die Methode gilt als transparent, robust, relativ leicht zu implementieren und wird als ein nützliches Tool für die Einordnung von Unsicherheitsparametern eingestuft (Heuvelink, 1998, Verbeeck et al., 2006).
- **Nachteile:** Die Quantifizierung der Input-Unsicherheiten, d. h. die Bestimmung der WDFs, ist sehr zeitaufwändig und bildet den Flaschenhals bei der Unsicherheitsanalyse (Jansen, 1998, Payraudeau et al. 2007; Verbeeck et al., 2006).

3.3 Berechnung der Suisse-Bilanz

Wie schon weiter oben erwähnt, wird mit der Suisse-Bilanz überprüft, ob der Nährstoffanfall auf dem Betrieb den Nährstoffbedarf der Kulturen deckt. Um den ökologischen Nachweis (ÖLN) zu erfüllen, darf der Nährstoffanfall den Pflanzenbedarf um maximal 10 % überschreiten. Die Gesamtbilanz wird wie folgt berechnet:

$$\text{Gesamtbilanz} = A2 - C + A3 + D + E - T \rightarrow \frac{(A2 + A3 + D + E) - C}{C} * 100 = \pm 10 \%$$

A2: Nährstoffanfall aus betriebseigener Tierhaltung

C: Nährstoffbedarf Kulturen

A3: Zu- und Wegfuhr unvergorene Hofdünger

D: Zufuhr übrige Dünger

E: Zufuhr Vergärungsprodukte

T: Innerbetrieblicher Nährstofftransfer für P₂O₅

3.3.1 Input-Variablen der Suisse-Bilanz

Nachfolgend werden alle in die Suisse-Bilanz einflussenden Inputvariablen aufgeführt:

Formular A (A2: Nährstoffe aus der Tierhaltung)

1. Korrigierte Anzahl Tiere/Tierkategorie¹ (Stück oder Platz)
2. Grundfutterverzehr (dt TS/Jahr) inkl. Korrekturen für Milchkühe (siehe Tab. 2a Wegleitung Suisse-Bilanz)
3. Durchschnittlicher Kraftfutterverzehr (kg/Kuh) zur Korrektur des Grundfutterverzehres
4. Durchschnittliche Milchmenge (kg/Kuh) zur Korrektur des Grundfutterverzehres
5. N-Anfall je Tierkategorie (kg N_{ges}/Jahr)
6. N-Anfall Laufhof (kg N_{ges})
7. N-Anfall Weide (kg N_{ges})
8. Vollmist-N (kg N_{ges}/Jahr)
9. N-Abzug nährstoffarmes Futter (kg N_{ges}/Jahr)
10. Abzug N_{ges} Laufhof (%)
11. Abzug N_{ges} Weide (%)

Formular A (A3: Zu- + Wegfuhr von Hofdüngern)

12. Menge zu- und weggeführte unvergorene Hofdünger (t oder m³)
13. N-Gehalt zu- und weggeführte unvergorene Hofdünger (kg N_{ges}/t oder kg N_{ges}/m³)

Formular C (Nährstoffbedarf der Kulturen)

14. Grundfutterproduktion (dt FS)
15. Trockensubstanz Grundfutter (%)
16. Wegfuhr Grundfutter (dt TS)
17. Zufuhr Grundfutter (dt TS)
18. Grundfutterproduktion ausserhalb der Futterfläche (dt TS)
19. Lagerungs- + Krippenverluste (%)
20. (Übertrag Ergebnis 12–17 = totale GF_{prod} von Formular B ins Formular C)
21. Fläche Grundfutter (ha)
22. Feldertrag Grundfutterproduktion (dt TS/ha)
23. Netto-N-Bedarf Grundfutter (kg N/dt TS)
24. Fläche Ackerkulturen (ha)
25. Feldertrag Ackerkulturen (dt/ha)
26. Netto-N-Bedarf Ackerkulturen (kg N/dt)
27. Fläche Spezialkulturen (ha)
28. Netto-N-Bedarf (kg N/ha)
29. Landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) (ha)

Formular D (übrige Dünger)

30. Menge zugeführte übrige Dünger (dt oder m³)
31. N-Gehalt zugeführte übrige Dünger (kg N_{vert}/dt)
32. Fläche emissionsmindernde Massnahmen (ha)
33. Zugeführte Menge mittels emissionsarmer Verfahren (m³)
34. N-Gehalt ausgebrachter Dünger mittels emissionsarmer Verfahren (kg N_{vert}/ha)

Formular E (Vergärungsprodukte)

35. Zugeführte Menge Gärgülle + Gärdünngülle (Hofdünger) (m³)
36. N-Gehalt Gärgülle + Gärdünngülle (kg N_{ges}/m³)
37. Zugeführte Menge Gärgut + flüssiges Gärgut (Recyclingdünger) (m³)
38. N-Gehalt Gärgut + flüssiges Gärgut (kg N_{ges}/m³)
39. Zugeführte Menge Gärgut + flüssiges Gärgut (Recyclingdünger, CaCl₂-Analyse) (m³)
40. N-Gehalt Menge Gärgut + flüssiges Gärgut (Recyclingdünger, CaCl₂-Analyse) (kg N_{vert}/m³)
41. Zugeführte Menge Gärmist (Hofdünger) (t)
42. N-Gehalt Gärmist (Hofdünger) (N_{ges}/t)
43. Zugeführte Menge festes Gärgut (Recyclingdünger) (t)
44. N-Gehalt festes Gärgut (Recyclingdünger) (N_{ges}/t)

45. Zugeführte Menge festes Gärgut (Recyclingdünger, CaCl_2 -Analyse) (t)
46. N-Gehalt festes Gärgut (Recyclingdünger, CaCl_2 -Analyse) (N_{verf}/t)
47. Umrechnungsfaktor N_{ges} zu N_{verf} (%)

Formular F (Nährstoffbilanz)

48. N-Ausnutzungsgrad (%)
49. Abzug OA (%)
50. Abzug Anteil Vollmist- N_{ges} (%)

3.4 Monte-Carlo-Simulation der Suisse-Bilanz

Wie schon beschrieben muss für jede der 50 Inputvariablen der Suisse-Bilanz ein WDF abgeschätzt werden, welches für die Simulation benötigt wird. Die Anzahl der abzuschätzenden WDFs erhöht sich jedoch drastisch, da alle in der Suisse-Bilanz enthaltenen Tier-, Grundfutter-, Ackerbau- und weitere Kategorien berücksichtigt werden müssen. Entsprechend der Wegleitung Suisse-Bilanz gibt es 53 Tierkategorien (Wegleitung, Tab. 1), 15 Grundfutterkategorien (Wegleitung, Kap. 3.2), 34 Ackerkulturen (Wegleitung, Tab. 4), 128 Spezialkulturen (Wegleitung, Tab. 5) sowie mindestens sechs Kategorien bei den übrigen Düngern (Wegleitung, Kap. 3.8). Neu werden in der Suisse-Bilanz auch Vergärungsprodukte, welche in sechs Kategorien unterteilt sind, berücksichtigt. Aus den Inputvariablen und den erwähnten Kategorien ergibt sich eine Anzahl von über 1'000 WDFs, die für die Monte-Carlo-Simulation der Suisse-Bilanz zuerst erstellt sind. Bei einigen Inputvariablen sind für die Bestimmung der WDFs Messdaten vorhanden. Der grösste Teil der WDFs muss jedoch über Expertenbefragungen und/oder Literaturdaten erhoben werden, wobei der Aufwand bei gewissen Inputvariablen wie zum Beispiel beim Weideverlust oder dem N-Ausnutzungsgrad sehr hoch sein dürfte.

3.5 Fazit

Aufgrund der oben aufgeführten Erläuterungen wird klar, dass sowohl die zeitlichen wie auch die personellen Ressourcen bei Agroscope klar überschritten würden, um den Teil «Monte-Carlo-Simulation der kumulierten Unsicherheiten der Suisse-Bilanz» wie geplant auszuführen. Laut einer Abschätzung von Andreas Roesch (Agroscope), welcher Erfahrungen mit solchen Simulationen hat, liegt der Arbeitsaufwand für eine vollständige Durchführung der Monte-Carlo-Simulation für die Suisse-Bilanz «mindestens im Rahmen einer Dissertation».

Aus diesen Gründen wurde zusammen mit dem Fachbereich Agrarumweltsysteme und Nährstoffe des BLW (Auftraggeber) entschieden, auf die Durchführung einer Monte-Carlo-Simulation im Rahmen dieses Mandats zu verzichten.

4 Konzeptioneller Vergleich der Berechnungsmethoden von Suisse- und OSPAR-Bilanz

4.1 Bilanzierungsmethoden und Datenbedarf

Zur Übersicht sind die wichtigsten Nährstoffflüsse in die, aus der und innerhalb der Landwirtschaft in Abb. 3 dargestellt.

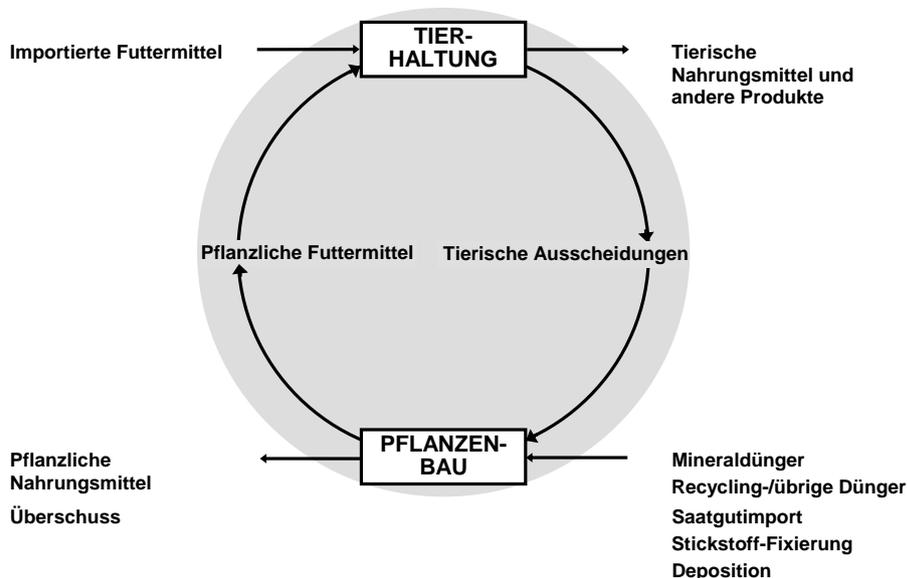


Abb. 3. Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft mit den wichtigsten Nährstoffflüssen.

Die **OSPAR-Methode** und die Suisse-Bilanz sind zwei Bilanzierungsmethoden, die sich grundlegend unterscheiden. Die OSPAR-Bilanz ist eine **Hoftorbilanz** (Abb. 4), bei der diejenigen Nährstoffflüsse erfasst werden, die in den Landwirtschaftsbetrieb hineingehen oder aus dem Betrieb hinausgehen. Die OSPAR-Bilanz wird sowohl für einzelne Betriebe wie auch für Länder (z. B. im Auftrag von OSPAR) berechnet. Im letzteren Fall wird die gesamte Landwirtschaft eines Landes wie ein Landwirtschaftsbetrieb betrachtet.

Die **Suisse-Bilanz** ist als **Anfall-Bedarfs-Bilanz** eine stark **modifizierte Form einer Bodenbilanz** (Abb. 5). Bei der Bodenbilanz wird nur der Pflanzenbau bilanziert. Der Input besteht bei der klassischen Bodenbilanz aus sämtlichen Düngern (Hofdünger, Mineraldünger, Recyclingdünger, übrige Dünger) sowie aus der biologischen Stickstofffixierung und der atmosphärischen Deposition. Der Output beinhaltet die pflanzlichen Nahrungs- und Futtermittel. Die Differenz zwischen Input und Output stellt den Überschuss dar. Bodenbilanzen werden häufig auf Landesebene berechnet. Die OECD verwendet diese Methode (OECD, 2001) für den Vergleich ihrer Mitgliedsländer.

Im Gegensatz zur klassischen Bodenbilanz werden bei der Suisse-Bilanz beim Input die biologische Stickstofffixierung und die atmosphärische Deposition nicht direkt erfasst (Tab. 1). Auf der Output-Seite wird anstelle des Entzugs mit dem Pflanzenbedarf gerechnet. Dieser ist beim Stickstoff häufig viel geringer als der Entzug, weil ein Teil des Gesamtbedarfs der Pflanzen durch die biologische N-Fixierung und die N-Deposition abgedeckt wird. Eine solche Anfall-Bedarfs-Bilanz ist ein gutes Planungsinstrument auf Ebene Gesamtbetrieb und hat den Zweck abzuschätzen, ob der betriebseigene Hofdünger für die Düngung der Kulturen ausreicht bzw. wie viel Mineral- oder Recyclingdünger zusätzlich benötigt werden.

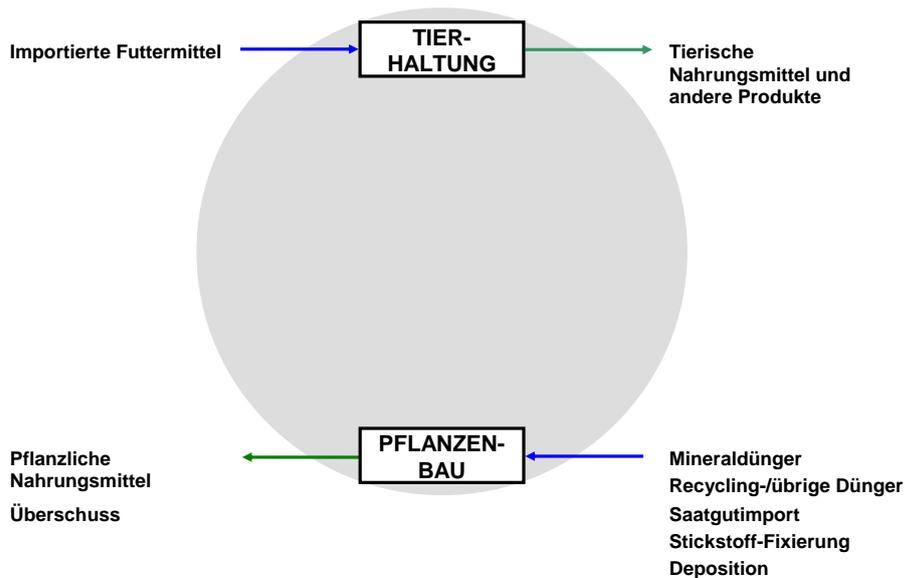


Abb. 4. Prinzip der Hoftorbilanz.

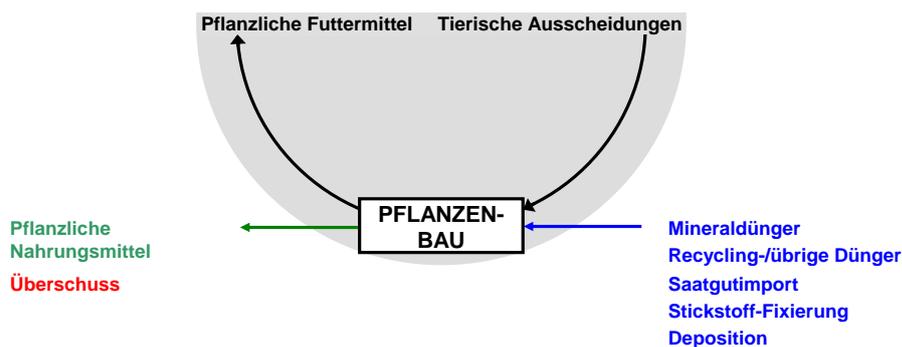


Abb. 5. Prinzip der Bodenbilanz.

Zurzeit werden auf den Landwirtschaftsbetrieben folgende Input- und Outputgrößen, die bei der OSPAR-Bilanz benötigt werden, nicht erfasst: Zu- bzw. Verkauf von Kraftfutter, Saatgut, Tieren (Tierkategorien, die nicht der TVD gemeldet werden müssen), Milch, Eiern sowie pflanzlichen Nahrungsmitteln. Für die meisten dieser Kategorien (z. B. Futtermittelzukauf) müsste korrekterweise am Anfang und am Ende des Erhebungsjahres ein Inventar erstellt werden, damit der Umsatz während des Jahres sauber erhoben und vom Vor- bzw. vom Nachjahr abgegrenzt werden kann. Lokale Daten zur N-Deposition könnten einer GIS-Karte von Meteotest entnommen werden. Für die Berechnung der biologischen N-Fixierung müssten die Wiesenerträge wie bei der Suisse-Bilanz über den Tierbestand und den Futterverzehr geschätzt werden (Formulare A und B).

Tab. 1. Zusammenstellung aller Input- und Outputgrößen auf Betriebsebene, die zur Berechnung der beiden Methoden nötig sind.

x = wird berücksichtigt; - = wird nicht berücksichtigt; o = fließt nur über die Kontrollrechnung der Grundfutterproduktion in die Bilanz ein.

	Suisse-Bilanz	OSPAR-Bilanz
Inputgrößen		
Tierzukauf	-	x
Grundfutterzukauf	o	x
Krafffutterzukauf (inkl. Mineralstoffmischungen)	-	x
Strohzukauf	x	x
Hofdüngerübernahme	x	x
Mineraldünger	x	x
Recyclingdünger	x	x
übrige Dünger	x	x
Saatgutzukauf	-	x
biologische Stickstofffixierung	-	x
Atmosphärische Deposition	-	x
Outputgrößen		
Tierverkauf (Zucht-, Mast- und Schlachttiere)	-	x
Nährstoffbedarf der Kulturen	x	-
Grundfutterverkauf	o	x
Strohverkauf	x	x
Hofdüngerabgabe	x	x
Saatgutverkauf	-	x
Verkauf von pflanzlichen Nahrungsmittel	-	x
Verkauf von Fleisch (bei Schlachtung auf dem Hof)	-	x
Wegfuhr von Schlachtabfällen (bei Schlachtung auf dem Hof)	-	x
Verkauf von Milch	-	x
Verkauf von Eiern	-	x

4.2 Korrekturfaktoren

Eine Besonderheit der Suisse-Bilanz ist, dass sie diverse **Möglichkeiten für Korrekturen** aufweist, die die OSPAR-Methode nicht kennt:

- Abzug für kaum vermeidbare Ammoniakverluste im Stall und während der Hofdüngerlagerung;
- Abzug für den im Laufhof anfallenden Gesamtstickstoff (N_{ges});
- Abzug für den auf der Weide anfallenden Gesamtstickstoff (N_{ges});
- Abzug für nährstoffarmes Grundfutter auf dem Betrieb;
- Lagerungs- und Krippenverluste von 0–5 %;
- Fehlerbereich in der Grundfutterbilanz von 0–5 %;

- Basis-N-Ausnutzungsgrad von 60 % und zusätzliche Abzüge in Abhängigkeit von offener Ackerfläche und Vollmistanteil; und
- zulässiger Fehlerbereich des Bilanzsaldos von 10 %.

Aus diesen Gründen wird bei der Suisse-Bilanz letztlich der **pflanzenverfügbare Stickstoff** bilanziert, während es bei der OSPAR-Methode der **Gesamtstickstoff** ist.

4.3 Relevanz der Zielgrösse für die beiden Bilanzen

Bei der Suisse-Bilanz wird eine ausgeglichene Nährstoffbilanz angestrebt, wobei ein Fehlerbereich, d. h. ein Überschuss von 10 % toleriert wird. Es stellt sich nun die Frage, ob mit der OSPAR-Methode vergleichbare berechnete Überschüsse resultieren. Bei der Beurteilung ist zwischen Stickstoff und Phosphor zu unterscheiden.

4.3.1 Phosphor

Bei **Phosphor** liegen die Überschüsse der beiden Methoden normalerweise in der gleichen Grössenordnung und variieren nur relativ wenig. Die Suisse-Bilanz weist aber Korrekturmöglichkeiten für Phosphor auf (Lagerungs- und Krippenverluste von 0–5 %; Fehlerbereich in der Grundfutterbilanz von 0–5 %), die die OSPAR-Methode nicht kennt. Für die Tierhaltung weist die Suisse-Bilanz mit der «Berechnung der Grundfutterproduktion auf der Futterfläche» (Formular B) und der «Korrektur von Grundfutterverzehr und Nährstoffanfall bei Milchkühen» in Abhängigkeit des Kraftfutterverzehrs (Tab. 2a der Wegleitung) zwar wichtige Kontrollmechanismen auf, trotzdem werden der Grundfutterverzehr der Tiere und damit die Wiesenerträge und der Nährstoffbedarf vermutlich beträchtlich überschätzt. Die Ergebnisse der nationalen OSPAR-Bilanz, bei der als Kontrolle zusätzlich alle landwirtschaftsinternen Nährstoffflüsse erhoben werden, deuten jedenfalls daraufhin. Im Weiteren wird auf Landwirtschaftsbetrieben häufig beobachtet, dass phosphorhaltige Mineralstoffmischungen den Tieren in Mengen verabreicht werden, die über dem physiologischen Bedarf liegen. Die Deklaration eines überoptimalen Einsatzes von Mineralstoffmischungen wurde in der Suisse-Bilanz schon wenige Jahre nach der Einführung abgeschafft, weil sie nur selten angewendet worden war. In der OSPAR-Bilanz wird im Gegensatz zur Suisse-Bilanz die atmosphärische Deposition in der Höhe von rund 0.4 kg P/ha LN berücksichtigt. Gesamthaft ist davon auszugehen, dass die P-Bilanz nach OSPAR-Methode circa 2–3 kg P/ha LN höher ausfällt als bei der Suisse-Bilanz.

4.3.2 Stickstoff

Bei **Stickstoff** ist die Übereinstimmung der beiden Bilanzierungsmethoden im Allgemeinen gering, weil unterschiedliche Nährstoffformen bilanziert werden (pflanzenverfügbarer Stickstoff in der Suisse-Bilanz vs. Gesamtstickstoff bei der OSPAR-Bilanz). Bei Betriebstypen ohne Hofdünger sowie ohne Leguminosen, z. B. bei Ackerbaubetrieben ohne Körnerleguminosen, ist dies mit geringen Unterschieden der Bilanzsaldi der beiden Methoden verbunden. Bei Betrieben mit Hofdüngern dagegen – und damit auf den meisten schweizerischen Landwirtschaftsbetrieben – führt die unterschiedliche Berücksichtigung des Stickstoffs zu sehr grossen Differenzen der Bilanzsaldi. Während der N-Überschuss nach Suisse-Bilanz im Durchschnitt bei wenigen kg N/ha LN liegt, übersteigt er nach der nationalen OSPAR-Bilanz deutlich 100 kg N/ha LN. Diese enorme Diskrepanz führt dazu, dass bei Einführung der OSPAR-Methode eine neue Zielgrösse für zulässige N-Überschüsse definiert werden müsste (vgl. Kap. 5.2.2). In der Suisse-Bilanz gibt es für den verfügbaren N mit einem tolerierten Überschuss von 10 % des Nährstoffbedarfs der Kulturen eine Zielgrösse, die anschaulich ist und in dieser Form für jeden Betrieb und Betriebstyp gilt. Es ist keine absolute Grösse (kg N/ha), sondern letztlich eine relative: Der Anfall an verfügbarem Stickstoff darf höchstens

110 % des Bedarfs der Kulturen ausmachen. Eine solche relative maximal tolerierte Bilanzüberschreitung wäre im Prinzip auch mit einer OSPAR-Bilanz möglich. Ob dies sinnvoll wäre, müsste zuerst geprüft werden. Insbesondere müsste eine fachliche Basis für die Bemessung der zulässigen Überschreitung der OSPAR-Bilanz hergeleitet werden.

Wenn die nicht oder nur schwer vermeidbaren N-Verluste in der OSPAR-Methode berücksichtigt werden sollten, kann beim Gesamtstickstoff nicht eine ausgeglichene Bilanz (inkl. 10 % Überschuss) die Zielgrösse sein, sondern es muss ein mehr oder weniger hoher tolerierter N-Überschuss sein. Die weiter oben erwähnten, mit der Tierhaltung und der Grundfutterproduktion verbundenen Korrekturen für eine verminderte Verfügbarkeit des Stickstoffs bei der Suisse-Bilanz können bei der OSPAR-Methode nur mit ähnlich hohem Aufwand wie in der Suisse-Bilanz vorgenommen werden. Diese Korrekturmöglichkeiten wirken sich umso stärker aus, je höher die Tierdichte eines Landwirtschaftsbetriebs ist. Letztere variiert nicht nur zwischen den Betriebstypen, sondern auch stark von Betrieb zu Betrieb innerhalb eines Betriebstyps (Abb. 6): Zum Beispiel im Betriebstyp «Kombiniert andere» (FAT99-Betriebstypologie; Meier, 2000), der alle Betriebe enthält, die nicht einem der anderen Betriebstypen zugeordnet werden können, schwankt der N-Anfall in den tierischen Ausscheidungen beispielsweise von 8 bis 241 kg N/ha LN. Der Betriebstyp «Spezialkulturen» ist ebenfalls sehr uneinheitlich und umfasst relativ extensive Reb- und Obstbaubetriebe und sehr intensive Gemüsebetriebe. Viele Betriebe sind viehlos, andere wiederum weisen eine Tierdichte von etwa 1 DGVE/ha auf. Dies alles zeigt, dass betriebstypspezifische Zielgrössen der Variabilität der Betriebe innerhalb eines Betriebstyps nicht gerecht werden können. Die Festlegung einer Zielgrösse pro Betriebstyp wäre auch ein deutlicher Nachteil gegenüber dem heutigen System mit der Suisse-Bilanz, da die Suisse-Bilanz die betriebsspezifische und nicht die betriebstypspezifische Zielgrösse kennt. Deshalb muss die Zielgrösse auch bei der OSPAR-Methode die Produktionsbedingungen im Futterbau und in der Tierhaltung differenziert berücksichtigen. Ein solches System dürfte aber extrem kompliziert und aufwändig werden und in der Praxis kaum auf Akzeptanz stossen.

Dies soll nachfolgend anhand eines Beispiels illustriert werden. In der Suisse-Bilanz wird der Hofdüngerstickstoff gemäss dem Basis-N-Ausnutzungsgrad maximal zu 60% % angerechnet. Dabei wird die Menge an Gesamtstickstoff in den Hofdüngern mit einem Faktor multipliziert. Bei der OSPAR-Methode werden die Hofdünger nicht für die Berechnung der Bilanz benötigt, da sie einen landwirtschaftsinternen Nährstofffluss darstellen. Wenn nun die verminderte Wirksamkeit des Hofdüngerstickstoffs trotzdem in diese Bilanz einfließen soll, muss dies über eine zusätzliche Berechnung erfolgen. Dazu muss der verfügbare Stickstoff in den Hofdüngern und damit das gleiche Verfahren wie in Formular A der Suisse-Bilanz verwendet werden. Zudem sind weitere Korrekturen für Ammoniakverluste im Stall und während der Hofdüngerlagerung, für Laufhof- und Weidehaltung, für verminderte Ausnutzung des Hofdüngerstickstoffs bei Vollmist oder Offener Ackerfläche usw., die in der Suisse-Bilanz enthalten sind, noch nicht berücksichtigt.

4.4 Ökologische Wirkung der Bilanzierungsmethoden

Da die OSPAR-Methode den gesamten Betrieb und nicht nur wie die Suisse-Bilanz den Pflanzenbau bilanziert, kann davon ausgegangen werden, dass sie die Nährstoffüberschüsse eines Betriebes vollständiger abbildet als die Suisse-Bilanz und einen höheren Nährstoffüberschuss ausweist. Ob mit dieser Methode die umweltrelevanten N-Verluste reduziert werden können, hängt davon ab, wie ambitiös die Zielgrössen definiert werden. Es dürfte ein schwieriges Unterfangen sein, die Praxis von der neuen Bilanzierungsmethode und deren Zielgrösse (tolerierter N-Überschüsse) zu überzeugen.

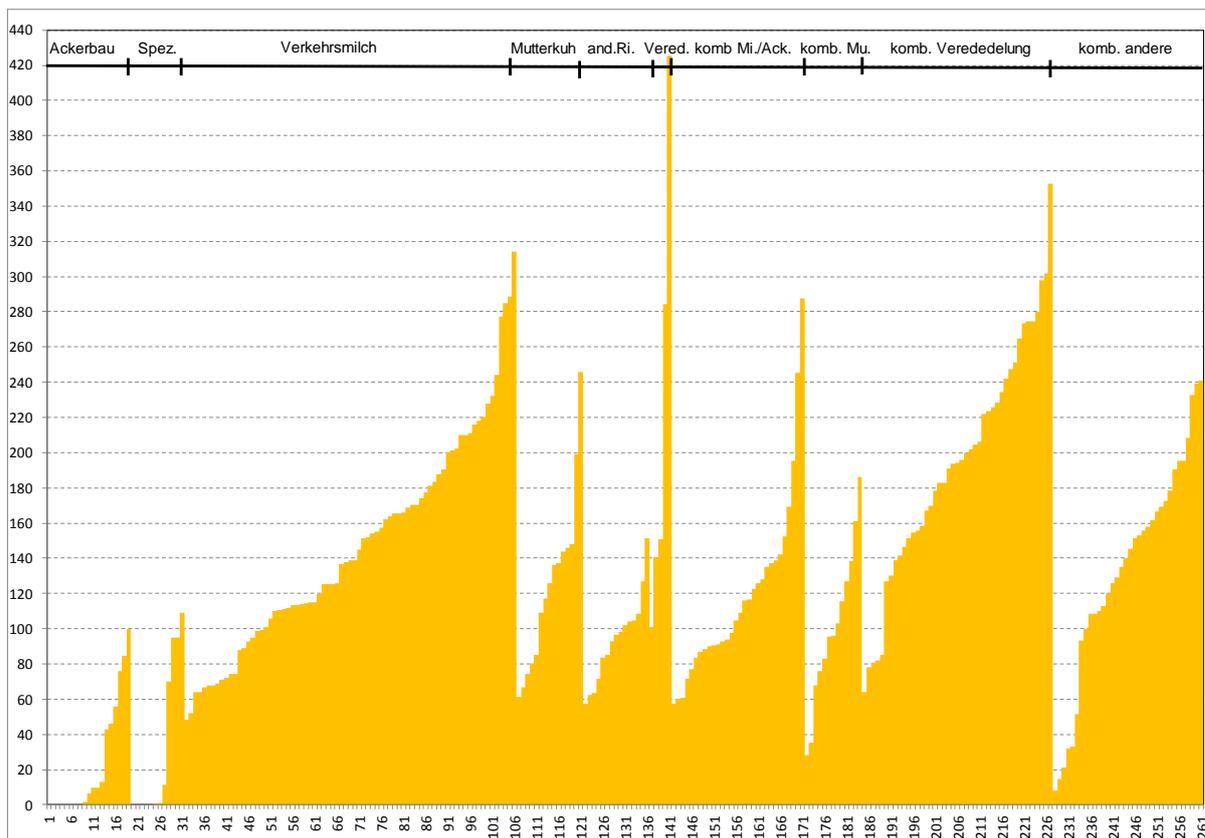


Abb. 6. N-Anfall in den tierischen Ausscheidungen als Indikator für die Tierdichte.

Werte von 261 ausgewählten AUI-Betrieben des Jahres 2012 in kg N/ha LN, angeordnet nach Betriebstyp und steigendem N-Anfall in den tierischen Ausscheidungen.

4.5 Eignung der Bilanzierungsmethoden für verschiedene Anwendungen

4.5.1 Eignung für die Betriebsplanung

Die Suisse-Bilanz liefert dem Landwirt und der Beratung in Form einer Prozentzahl Information darüber, ob die Betriebsbilanz bezüglich eines Nährstoffs ausgeglichen ist oder wie stark der voraussichtliche Nährstoffanfall den voraussichtlichen Kulturenbedarf unter- oder überschreitet. Somit ist die Suisse-Bilanz ein grobes Düngungsplanungsinstrument für den gesamten Pflanzenbau und seine einzelnen Kulturen.

Wenn die Suisse-Bilanz vorgängig aus Planungsgründen berechnet wird, erlaubt sie eine grobe Abschätzung, wie viele Nährstoffe für das kommende Anbaujahr noch zugekauft werden müssen, um den Pflanzenbedarf zu decken. Diese Planungsberechnung kann dann anhand der Ergebnisse der ÖLN-relevanten Bilanzrechnung, in welche die tatsächlichen Bilanzierungs-Inputdaten einfließen, überprüft werden. Aus diesen Gründen dürfte inzwischen trotz des nicht unbeträchtlichen Aufwands der Suisse-Bilanz deren Akzeptanz in Praxiskreisen relativ gross sein.

Die OSPAR-Bilanz dagegen liefert als Ergebnis eine Nährstoffunterdeckung oder einen Überschuss, ausgedrückt in kg Nährstoff pro Hektare. Dieser Bilanzsaldo ist für den Einzelbetrieb im Falle des Stickstoffs kaum zu interpretieren, ausser es existieren Zielgrößen wie

z. B. unvermeidbare N-Verluste. Beim P ist dies weniger problematisch, weil dort eine ausgeglichene Hoftorbilanz das Ziel sein muss. Die OSPAR-Bilanz kann somit nicht als agronomisches Planungsinstrument verwendet werden, weil die Höhe der unvermeidbaren Nährstoffverluste für den Einzelbetrieb nicht bekannt ist und weil wichtige Parameter für die Bilanzrechnung wie die witterungsabhängige Wegfuhr von Nährstoffen mit pflanzlichen Ernteprodukten schwierig zu prognostizieren sind. Deshalb dürfte die Akzeptanz der OSPAR-Bilanz in Praxis und Beratung geringer als die der Suisse-Bilanz sein. Es könnte sogar sein, dass die OSPAR-Bilanz primär als Sanktionierungsinstrument angesehen wird.

Damit das Ergebnis der OSPAR-Bilanz für die betriebliche Optimierung genutzt werden kann, müssten weitere Bilanzen wie Stallbilanz und Schlagbilanzen gerechnet werden. Dies würde den Gesamtaufwand für die Methode OSPAR-Bilanz und die zusätzlich nötigen Bilanzen deutlich über jenen der Suisse-Bilanz anheben.

4.5.2 Eignung für die Beratung

Eine erfolgreiche Beratungstätigkeit bedingt zuverlässige Werkzeuge zur präzisen Abbildung der zu optimierenden Betriebsaspekte. In Kap. 4.5.1 wurde gezeigt, dass die Suisse-Bilanz ein bewährtes Tool zum Vergleich von Nährstoffanfall und -bedarf der Kulturen ist und somit als grobes gesamtbetriebliches Planungsinstrument betrachtet werden kann.

Dementsprechend ist die Suisse-Bilanz eine gute Informationsgrundlage für Beratungsaktivitäten im Bereich von Düngung und gesamtbetrieblichen Nährstoffflüssen.

4.5.3 Eignung für den Vollzug

Die Suisse-Bilanz ist ein in der Praxis und bei den Vollzugsstellen gut bekanntes und akzeptiertes ÖLN-Vollzugsinstrument. Positiv ist aus Sicht der Praxis, dass Landwirte aus der für den ÖLN-Vollzug vorgegebenen jährlichen Berechnung der Suisse-Bilanz wertvolle Informationen für ihre Düngungsplanung auf Ebene gesamter Pflanzenbau erhalten.

Die Hoftorbilanz dagegen müsste nach Ablösung der Suisse-Bilanz neu in den ÖLN-Vollzug eingeführt werden und die Akzeptanz der beteiligten Akteure müsste erst wieder gewonnen werden. Hier wäre eine nur geringe Unterstützung der Landwirte zu erwarten, da das Berechnungsergebnis der Hoftorbilanz (gesamtbetriebliche N- oder P-Verluste) nicht direkt für ihre Düngungsplanung genutzt werden könnte.

Weiter kann die Suisse-Bilanz kantonalen Behörden dazu dienen, im Rahmen der Planung und Bewilligung von Baugesuchen für neue Tierställe abzuschätzen, ob nach dem Neubau ausgeglichene N- und P-Bilanzen weiterhin eingehalten sind.

4.5.4 Eignung als Grundlage für ökonomische Instrumente

Grundsätzlich könnten beide Bilanzierungsmethoden als Grundlage für die Anwendung von ökonomischen Instrumenten wie z. B. Besteuerung von Nährstoffüberschüssen verwendet werden. Im Fall der Suisse-Bilanz könnte man das Ausmass der Überschreitung des Nährstoffbedarfs der Kulturen durch den betrieblichen Nährstoffanfall besteuern. Bei der Hoftorbilanz könnte man die absoluten N- und/oder P-Überschüsse (auf Basis kg/ha LN) besteuern.

5 Notwendige Schritte zur Ablösung der Suisse- durch die OSPAR-Bilanz

In diesem Kapitel werden die Arbeiten beschrieben, die nötig wären vor einer Ablösung der Suisse-Bilanz durch die OSPAR-Bilanz im Rahmen des ÖLN. Diese betreffen einerseits die Schaffung verbindlicher methodischer Grundlagen für eine einheitliche Berechnung der Bilanz und andererseits die Operationalisierung der Zielgrösse der Bilanz.

5.1 Schaffung der methodischen Grundlagen für die Berechnung der OSPAR-Bilanz

5.1.1 «Wegleitung OSPAR-Bilanz»

Analog zur «Wegleitung Suisse-Bilanz» bräuchte es für einen Systemwechsel eine «Wegleitung OSPAR-Bilanz», in der die ÖLN-konforme Durchführung der Berechnung einer OSPAR-Bilanz basierend auf den verschiedenen Input- und Outputgrössen der Bilanz (siehe Tab. 3) klar geregelt ist. Das Herzstück der Wegleitung wären Tabellen mit verbindlichen Nährstoffgehaltsangaben für alle möglichen tierischen und pflanzlichen Produkte sowie Hilfsstoffe, die auf schweizerischen Landwirtschaftsbetrieben zum Einsatz kommen.

Bei der Zusammenstellung der Nährstoffgehaltsangaben für die tierischen und pflanzlichen Produkte sowie Hilfsstoffe wird man auf verschiedene Lücken stossen, d. h. es wird für zahlreiche Produkte oder Hilfsstoffe keine Angaben zu Nährstoffgehalten geben. Hier müssten gezielt Forschungsaufträge vergeben werden, z. B. an Agroscope IPB (pflanzliche Produkte), Agroscope INT (tierische Produkte, Hofdünger) und Agroscope INH (Recyclingdünger). Je nach Datensituation und mengenmässiger Bedeutung der betroffenen Produkten könnten aus der Literatur Gehaltswerte abgeleitet werden oder es müssten spezifische Untersuchungen (Nährstoffgehaltsuntersuchungen) für die schweizerischen Bedingungen durchgeführt werden.

Eine «Wegleitung OSPAR-Bilanz» könnte von einer Expertenarbeitsgruppe erarbeitet werden, welche später in eine ständige «Groupe Technique OSPAR-Bilanz» (siehe Abschnitt 5.1.2) übergehen könnte.

5.1.2 «Groupe Technique OSPAR-Bilanz»

Gleich wie bei der Suisse-Bilanz bräuchte es ein technisches Gremium des BLW mit Spezialisten aus Verwaltung (BLW), Forschung (Agroscope), Beratung (Agridea) und Vertretern des kantonalen Vollzugs, welches die «Wegleitung OSPAR-Bilanz» erstellen und aktuell halten. Zudem wären wie bei der Suisse-Bilanz regelmässige Anträge von Branchenorganisationen, Kantonen usw. auf punktuelle Überarbeitung und Erweiterung der OSPAR-Bilanz zu erwarten. Diese Anträge dürften in den ersten Jahren nach der Einführung der OSPAR-Bilanz – wie bei der Suisse-Bilanz – zahlreich ausfallen und würden von der «Groupe Technique OSPAR-Bilanz» behandelt werden müssen.

5.2 Operationalisierung der Zielgrösse der OSPAR-Bilanz

5.2.1 Unterschiede zur Suisse-Bilanz

Es ist eine der Stärken der Suisse-Bilanz, dass für jeden Betrieb die gleiche Zielgrösse gilt: die Einhaltung einer ausgeglichenen Anfall-Bedarfs-Bilanz mit einem Fehlerbereich von max.

10 %. Betriebsspezifischen Unterschieden wird bei der Berechnung der Bilanz Rechnung getragen, z. B. durch Korrekturen für den Anteil offener Ackerfläche an der LN oder für den Anteil Vollmist-N am gesamten Hofdünger-N.

Bei der OSPAR-Bilanz wird nicht wie bei der Suisse-Bilanz eine saldomässig ausgeglichene Bilanz angestrebt, sondern es resultiert meist ein Nährstoffüberschuss, in selteneren Fällen ein Nährstoffdefizit. Wenn die OSPAR-Bilanz im Rahmen des ÖLN-Vollzugs eingesetzt werden soll, ist es unabdingbar, dass jeder Betriebstyp für jeden bilanzierten Nährstoff eine Zielvorgabe bezüglich der zulässigen Bilanzüberschreitung hat. Die Definition von betriebsspezifischen Zielvorgaben wie in der Suisse-Bilanz dürfte jedoch aus Aufwandsgründen nicht möglich sein.

Für den Gesamtstickstoff und die OSPAR-Bilanz sind für die schweizerische Landwirtschaft bis jetzt noch nie konkrete Zielgrößen diskutiert worden. Zwei wichtige Anforderungen an die Zielgrösse der OSPAR-Bilanz sind, dass sie (i) die nicht oder nur schwer vermeidbaren Verluste von Stickstoff aus Hofdüngern und anderen organischen Düngern sowie Stickstoff aus der atmosphärischen N-Deposition und biologischen N-Fixierung und damit insbesondere die verminderte Verfügbarkeit des von den Tieren ausgeschiedenen Stickstoffs berücksichtigen kann und dass sie (ii) für alle Betriebe und Betriebstypen die Anforderungen gleich hoch wie beim bisherigen System mit der Suisse-Bilanz sein müssen.

5.2.2 Mögliche Zielgrößen für die OSPAR-Bilanz

Es sind verschiedene Zielgrössensysteme für die OSPAR-Bilanz denkbar:

- Orientierung an unvermeidbaren Nährstoffverlusten (Baumgärtel et al., 2003);
- Orientierung an Belastungsgrenzen von Umweltkompartimenten (Gamer and Bahrs, 2012).

Eine Ableitung der Zielgrösse von Belastungsgrenzen von Umweltkompartimenten dürfte schwierig sein, weil der Beitrag eines einzelnen Betriebs zu bestimmten Umweltbelastungen oft nicht kausal belegt, geschweige denn genau quantifiziert werden kann (z. B. Beitrag eines bestimmten Betriebs zur P-Eutrophierung eines in der Nähe liegenden Oberflächengewässers). Zudem ist die Festlegung der zu erbringenden Beiträge an die Erreichung der meist für die ganze Landwirtschaft definierten Umweltziele durch einzelne Betriebe oder Betriebstypen eher eine politische als eine fachliche Aufgabe.

Deshalb ist die Orientierung der Zielgrösse an den bei guter fachlicher Praxis unvermeidbaren Nährstoffverlusten der vermutlich bessere Weg. Hierzu existieren Vorarbeiten z. B. in Deutschland, jedoch noch nicht in der Schweiz.

5.2.3 Konzept der unvermeidbaren Nährstoffverluste

Es gibt wenig publizierte Ansätze zur Definition von zulässigen Nährstoffverlusten von Landwirtschaftsbetrieben. Eine davon ist die Definition von unvermeidbaren Nährstoffverlusten bei guter fachlicher Praxis in Deutschland (Baumgärtel et al., 2003): *«Nährstoffverluste sind unvermeidbar, wenn sie trotz der Ausnutzung aller im Sinne einer guten fachlichen Praxis verfügbaren pflanzenbaulichen Maßnahmen zur Erzielung optimaler Erträge und ausreichender Produktqualitäten auftreten»*.

Nach Isermann (1993) sind unvermeidbare Verluste die Nährstoffverluste, die resultieren, wenn bei einer bestimmten Nutzungsform alle Massnahmen zur Verbesserung der Nährstoffverwertung bei der Tier- und Pflanzenproduktion in optimaler Weise ergriffen worden sind, um Nährstoffverluste zu reduzieren.

Im Bereich des Stickstoffs (Tab. 2) werden von Baumgärtel et al. (2003) bei der Berechnung der unvermeidbaren Verluste im Wesentlichen die Auswaschungs- (NO_3) und die Ammoniakverluste (NH_3) berücksichtigt. Die methodisch schwer zu erfassenden Denitrifikationsverluste (N_2 , NO_x und N_2O) werden den eingetragenen N-Mengen über Deposition und asymbiotischer N-Fixierung gleichgesetzt. Die Orientierungswerte für unvermeidbare N-Verluste sind nach Nutzungsform (Ackerland vs. Grünland), Auswaschungsrisiko beim Ackerland und Tierbesatz differenziert.

Tab. 2. Orientierungswerte für unvermeidbare N-Verluste in Abhängigkeit von Standortbedingungen, Bodennutzung und Nährstoffanfall aus der Tierhaltung.

(Tabelle aus Baumgärtel et al., 2003).

Orientierungswerte für unvermeidbare N-Verluste (kg N/ha und Jahr)					
Nutzung Standortgruppen (Einteilung nach 1 N-Auswaschung)	Viehlose Betriebe *	Viehhaltende Betriebe bzw. Betriebe mit äquivalenter N-Zufuhr über Sekundärrohstoffdünger			
		N-Ausscheidung ≤ 100 kg/ha u. Jahr		N-Ausscheidung > 100 kg/ha u. Jahr	
		Rind	Schwein und Geflügel	Rind	Schwein und Geflügel
Ackerland					
I (5 bis 15 kg N/ha)	25	60	70	80	90
II (20 bis 30 kg N/ha)	40	75	85	95	105
III (35 bis 40 kg N/ha)	55	90	100	110	120
Grünland**					
überwiegend Schnitt- nutzung***	--	60		90	
überwiegend Weide- nutzung****	--	80		130	

* gilt nicht für Betriebe mit überwiegendem Feldgemüseanbau

** auf Grünland überwiegen NH_3 - und Denitrifikationsverluste

*** mehr als 60 % Schnittnutzung

**** mehr als 40 % Weidenutzung

Für Phosphor geben Baumgärtel et al. (2003) die unvermeidbaren Verluste bei guter fachlicher Praxis in viel pauschalerer Form und ohne Differenzierung nach Nutzung an:

- P-Austrag durch Erosion und Oberflächenabfluss: 1 kg P_2O_5 /(ha · Jahr); und
- P-Verluste durch Auswaschung: 0.5 kg P_2O_5 /ha und Jahr als allgemeiner Richtwert, mit höheren Werten für definierte ungünstige Bodenbedingungen.

5.2.4 Erarbeitung von Richtwerten für unvermeidbare Nährstoffverluste für die Schweiz

Da die Nährstoffverluste stark von den standörtlichen Rahmenbedingungen und von der Betriebsstruktur abhängen, liegt nahe, dass einheitliche Werte für die zulässigen Nährstoffüberschüsse für die ganze Schweizer Landwirtschaft oder grössere Produktionszonen fachlich keinen Sinn machen. Andererseits ist es bezüglich Aufwand und fachlichen Grundlagen nicht möglich, für jeden Betrieb eine individuelle Zielvorgabe zu machen wie bei der Suisse-Bilanz.

Die in Abschnitt 5.2.3 gezeigten Werte für unvermeidbare N- und P-Verluste für deutsche Verhältnisse (Baumgärtel et al., 2003) könnten für die Schweiz nicht eins-zu-eins übernommen werden, aber eine Orientierungshilfe für die Ableitung eines schweizerischen Wertesystems von unvermeidbaren Verlusten darstellen. Für die Schweiz wäre insbesondere zu überprüfen, ob wegen der geografischen Vielfalt der Schweiz nicht eine stärkere Differenzierung nach Standorten nötig wäre. Zudem wäre die Annahme von Baumgärtel et al. (2003), die methodisch schwer zu erfassenden Denitrifikationsverluste (N_2 , NO_x und N_2O) den eingetragenen N-Mengen über Deposition und asymbiotischer N-Fixierung gleichzusetzen, kritisch zu hinterfragen.

Die wissenschaftliche Erarbeitung eines Zielgrössensystems für die OSPAR-Bilanz wäre aufwändig und herausfordernd. Wir schätzen, dass dafür die Anstellung eines im Bereich von Nährstoffeffizienz und -flüssen ausgewiesenen Postdocs mit breiten Praxiskenntnissen während ein bis zwei Jahren nötig wäre; eine längere Projektdauer wäre notwendig, wenn das Zielsystem sehr detailliert ausfallen soll und wenn eigene Modellrechnungen gemacht werden müssten.

5.3 Verfügbarkeit und Qualität der nötigen Daten für die OSPAR-Bilanz

In Tab. 3 sind die für die Berechnung der OSPAR-Bilanz nötigen Input- und Outputparameter aufgelistet und nach ihrer Relevanz sortiert. Weiter wird in Tab. 3 die Herkunft, der Grad der Selbstdeklaration und die Qualität der notwendigen Daten beurteilt.

Bezüglich Datenherkunft dominieren Selbsterfassungen durch die Landwirte, gefolgt von Literaturangaben (GRUDAF usw.), Datensystemen des BLW (AGIS, HODUFLU, TVD) und Angaben des Handels (v. a. Dünge- und Futtermittel).

Entsprechend des hohen Anteils von durch die Landwirte erfassten Angaben werden 69 % aller Inputgrössen und sogar 85 % aller Outputgrössen in Selbstdeklaration erfasst. Da für die Berechnung der OSPAR-Bilanz im Vergleich zur Suisse-Bilanz zusätzliche Input- und Outputgrössen notwendig sind, die mehrheitlich von den Landwirten mittels Selbstdeklaration erfasst werden, ist der Selbstdeklarationsgrad der OSPAR-Bilanz grösser als derjenige der Suisse-Bilanz. Die Selbstdeklaration wichtiger Berechnungsgrössen war bereits in der Vorgängerstudie als ein grosses Problem der Suisse-Bilanz identifiziert worden (vgl. Bosshard et al., 2012). Bezüglich dieses Aspekts bringt die OSPAR-Bilanz eine Verschlechterung mit sich. Bei einer potenziellen Einführung der OSPAR-Bilanz für den ÖLN müsste deshalb geprüft werden, ob nicht für Zukauf und Verkauf von Gütern, die bezüglich Nährstoffflüssen wichtig sind (z. B. Mineraldünger und Futtermittel), ein Erfassungssystem in der Art von HODUFLU geschaffen werden sollte.

Bei den Datensystemen AGIS, HODUFLU und TVD ist zu beachten, dass die Eingaben durch die Landwirte eigentlich auch Selbstdeklarationen sind. In diesen Systemen ist jedoch die Plausibilisierung von Einträgen einfacher als bei reinen Selbstdeklarationen durch die Landwirte. Bei der TVD ist zu berücksichtigen, dass in der Datenbank nur die Tierkategorie

und die Anzahl Tiere, aber nicht das Tiergewicht erfasst werden; diese Einschränkung betrifft aber beide Bilanzarten.

Bezüglich der Datenqualität auf der Seite des Nährstoff-Inputs bestehen Mängel bei zwei der vier wichtigsten Inputgrößen:

- ungenügende bzw. knapp genügende Datenqualität bei der N-Fixierung; und
- räumlich nur genügend aufgelöste Datenqualität bei der atmosphärischen Deposition.

Tab. 3. Zusammenstellung und Bewertung aller Input- und Outputgrößen auf Betriebsebene, die zur Berechnung der OSPAR-Bilanz nötig sind.

Input- oder Outputgrößen	Relevanz ¹⁾	Nötige Angaben für die Berechnung des Nährstoffinputs	Datenherkunft ²⁾	Selbstdeklaration der Quantität durch Landwirt ³⁾	Qualität der Gehalte bzw. Faktoren ⁴⁾
Inputgrößen					
Mineraldünger	sehr hoch	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	Düngemittelhandel	-	sehr gut
Biologische Stickstofffixierung	sehr hoch	Fläche der Natur- und Kunstwiesen	AGIS (Erfassung durch Landwirt)	ja	-
		Anzahl Tiere pro Kategorie	TVD ⁵⁾ (Erfassung durch Landwirt)	nein	-
			Landwirt	ja	-
		Effektiver TS-Verzehr pro Tierkategorie ⁶⁾	Landwirt	nein	ungenügend
		Kleeanteil der Wiesen	Landwirt	ja	ungenügend
		Faktor für N-Fixierung pro % Klee	Literatur	-	genügend
		Zuschlag für fixierten N in Wurzeln und Stoppeln	Literatur	-	ungenügend
		Fläche der Ackerleguminosen	AGIS (Erfassung durch Landwirt)	ja	-
Faktor für N-Fixierung der Ackerleguminosen pro ha	Literatur	-	ungenügend		
Kraftfutterzukauf	hoch	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja ⁷⁾	-
		N-Gehalt	Futtermittelhandel	-	sehr gut
N-Deposition	hoch	Faktor pro ha	GIS-Karte Meteotest	nein	genügend
Grundfutterzukauf	mittel	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja ⁷⁾	-
		N-Gehalt	«Grünes Buch» ⁹⁾	-	genügend
Hofdüngerübernahme	mittel	Menge pro Kategorie	HODUFLU (Erfassung durch Landwirt)	nein	gut
		N-Gehalt	GRUDAF	-	genügend
Recyclingdünger	mittel	Menge pro Kategorie	HODUFLU (Erfassung durch Landwirt)	nein	-
		N-Gehalt	Düngemittelhandel GRUDAF, Literatur	- -	gut genügend

Input- oder Outputgrößen	Relevanz ¹⁾	Nötige Angaben für die Berechnung des Nährstoffinputs	Datenherkunft ²⁾	Selbstdeklaration der Quantität durch Landwirt ³⁾	Qualität der Gehalte bzw. Faktoren ⁴⁾
Tierzukauf	gering	Anzahl Tiere pro Kategorie	TVD ⁵⁾ (Erfassung durch Landwirt) Landwirt	nein ja	- -
		Tiergewicht	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt des Tierkörpers	GRUDAF ⁸⁾ , Literatur	-	gut
Strohzukauf	gering	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja ⁷⁾	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	genügend
Übrige Dünger	gering	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	Düngemittelhandel	-	gut
Saatgutzukauf	gering	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	genügend
Outputgrößen					
Tierverkauf	hoch	Anzahl Tiere pro Kategorie	TVD ⁵⁾ (Erfassung durch Landwirt) Landwirt	nein ja	- -
		Tiergewicht	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt des Tierkörpers	GRUDAF ⁸⁾ , Literatur	-	gut
Milch	hoch	Menge	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	gut
Grundfutterverkauf	mittel	Grundfuttermenge	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	«Grünes Buch», GRUDAF	-	genügend
Hofdüngerabgabe	mittel	Menge pro Kategorie	HODUFLU (Erfassung durch Landwirt)	nein	-
		N-Gehalt	GRUDAF	-	genügend
Pflanzliche Nahrungsmittel	mittel	Fläche der Ackerkulturen	Landwirt	ja	-
		Ertrag	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	gut

Input- oder Outputgrößen	Relevanz ¹⁾	Nötige Angaben für die Berechnung des Nährstoffinputs	Datenherkunft ²⁾	Selbstdeklaration der Quantität durch Landwirt ³⁾	Qualität der Gehalte bzw. Faktoren ⁴⁾
Pflanzliche Futtermittel	mittel	Fläche der Ackerkulturen	Landwirt	ja	-
		Ertrag	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	gut
Strohverkauf	gering	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	genügend
Saatgutverkauf	gering	Menge pro Kategorie	Landwirt	ja	-
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	gut
Eier	gering	Anzahl	Landwirt	ja	-
		Ei-Gewicht	Handel, Literatur	ja	genügend
		N-Gehalt	GRUDAF, Literatur	-	gut

¹⁾ Die Relevanz aller Grössen, die nicht nur auf Betriebs- sondern auch auf nationaler Ebene von Bedeutung sind, wurde von der OSPAR-Bilanz der Schweiz. Landwirtschaft abgeleitet; restliche Grössen wie z. B. Hofdüngerabgabe: Expertenwissen

²⁾ Datenherkunft Landwirt: von den Landwirten selbst aufgezeichnete Werte

³⁾ Beurteilung, ob Quantitätsangaben potenziell unabsichtlich (z. B. durch Vergessen von Aufzeichnungen) oder absichtlich verfälscht sein können

⁴⁾ Einschätzung der Genauigkeit aufgrund von Expertenwissen

⁵⁾ TVD-Daten nur für Klautiere (Rinder, Ziegen, Schafe, Schweine und Wildtiere) und Pferde.

⁶⁾ Schätzung aufgrund von GRUDAF und Kraftfuttermittelverzehr

⁷⁾ Mögliche Lagerhaltung muss berücksichtigt werden

⁸⁾ In den GRUDAF 2009 (Fisch et al., 2009) sind nur Daten für 9 Nutztierkategorien vorhanden, während in der Suisse-Bilanz 62 Nutztierkategorien erfasst werden

⁹⁾ «Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch)» von Agroscope (Agroscope, 2014)

5.4 Abschätzung des Zeitbedarfs für die Berechnung der OSPAR-Bilanz

Für die Beurteilung des Zeitbedarfs für die Berechnung von OSPAR- und Suisse-Bilanz für schweizerische Landwirtschaftsbetriebe gibt es keine verlässlichen Grundlagen. Der Zeitaufwand für die Berechnung der Suisse-Bilanz wurde noch nie systematisch erhoben. Auf der Seite der OSPAR-Bilanz besteht das Problem, dass noch keine schweizerischen Landwirte diese Bilanzierungsmethode für den ganzen Betrieb anwenden; Teilerfahrungen existieren nur von Betrieben, welche die Import-Export-Bilanz (IMPEX) für ihre Poulet- und Schweinemastbetriebszweige anwenden. Aus ausländischer Literatur sind uns ebenfalls keine Hinweise zum Zeitaufwand für das Berechnen verschiedener gesamtbetrieblicher Bilanzmethoden bekannt.

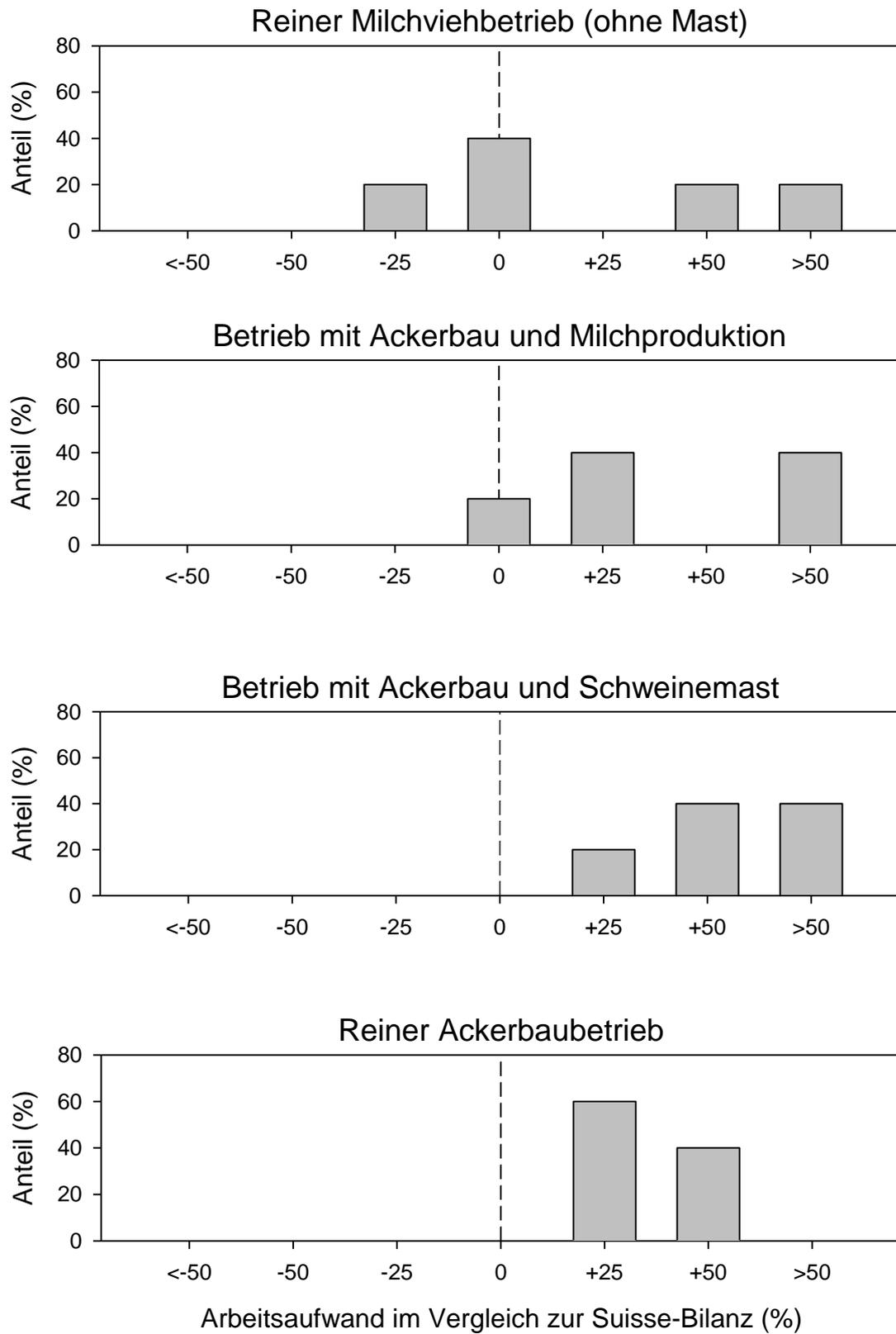
Aus diesen Gründen kommt aus unserer Sicht nur eine vergleichende Schätzung des Aufwands für die OSPAR-Bilanz durch Experten, die langjährige Erfahrung mit der Berechnung der Suisse-Bilanz haben, in Frage. Zu diesem Zweck wurden die in der Beratung und im kantonalen ÖLN-Vollzug tätigen Mitglieder der «Groupe Technique Suisse-Bilanz» des BLW mittels eines Fragebogens zum Aufwand der OSPAR- im Vergleich zur Suisse-Bilanz für verschiedene wichtige Betriebstypen befragt. Die Ergebnisse der fünf eingegangenen Expertenrückmeldungen sind in Abb. 7 dargestellt.

Nur einer der Experten sieht einen leicht geringeren Zeitbedarf (-25 % beim reinen Milchviehbetrieb) für die OSPAR-Bilanz im Vergleich zur Suisse-Bilanz, drei Experten einen gleich grossen Zeitaufwand für die beiden Bilanzmethoden (beim reinen Milchviehbetrieb und beim Betrieb mit Ackerbau und Milchproduktion). In allen anderen Fällen gehen die Experten von einem zwischen 25 und mehr als 50 % grösseren Aufwand für die Berechnung einer OSPAR-Bilanz aus.

Die Einschätzungen zeigen Unterschiede zwischen den Betriebstypen: Für den reinen Milchviehbetrieb und den Ackerbaubetrieb mit Milchproduktion wird der Mehraufwand für die OSPAR-Bilanz als geringer angesehen als beim Betrieb mit Schweinemast und beim reinen Ackerbaubetrieb.

Zusammenfassend lässt sich aus den Expertenbeurteilungen der Schluss ziehen, dass sich mit Ablösung der Suisse- durch die OSPAR-Bilanz kaum eine Verringerung des Aufwands für die Berechnung der betrieblichen Nährstoffbilanz erzielen lässt. Im Gegenteil, die Expertenmeinungen deuten darauf hin, dass der Erfassungsaufwand je nach Betriebstyp sogar deutlich zunehmen könnte. Dies könnte ein wesentlicher Kritikpunkt gegen die Einführung der OSPAR-Bilanz aus Kreisen von Praxis, Beratung und Kontrollstellen sein, da schon heute der gesamte Aufzeichnungsaufwand für Landwirtschaftsbetriebe als zu gross betrachtet wird.

Abb. 7. Auswertung der Fragebogenrückmeldungen zum Aufwand für die Berechnung der OSPAR- im Vergleich zur Suisse-Bilanz für vier wichtige Betriebstypen der schweizerischen Landwirtschaft.



5.4.1 Wissenslücken, die zurzeit durch die Forschung noch nicht beantwortet werden können

Die grösste Wissenslücke besteht im Bereich von betriebstypspezifischen Zielgrössen für die OSPAR-Bilanz, z. B. basierend auf unvermeidbaren Nährstoffverlusten bei guter fachlicher Praxis.

Zudem bestehen Forschungslücken auf folgenden Gebieten:

- biologische N-Fixierung von Grünland und von Leguminosen im Ackerbau;
- Nitratverluste auf der Weide;
- generell Denitrifikationsverluste;
- Schicksal der grossen Mengen an organischem Stickstoff in den Ernte- und Fütterungsverlusten (d. h. Feld- und Krippenverlusten);
- Ausmass von unvermeidbaren N-Verlusten unter schweizerischen Bedingungen; und
- effektiver TS-Verzehr beim Rindvieh.

5.5 Vergleich mit den Bestrebungen zur Einführung der Hoftorbilanz in Deutschland

5.5.1 Ausgangslage

In Deutschland ist im Zuge der aktuellen Novellierung der Düngeverordnung die Einführung der Hoftorbilanz als Vollzugsinstrument in der Diskussion. Primär Umweltkreise und Expertengruppen, darunter die Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) (vgl. Taube et al., 2013), sprechen sich für den Übergang von der bisherigen Flächen- oder aggregierten Schlagbilanz zu einer flächenbezogenen Hoftorbilanz aus, weil so die Kontrolle der Umweltverträglichkeit der N- und P-Bewirtschaftung besser sei.

Vertreter der Landwirtschaft, z. B. Bauernverbände, lehnen die Einführung der Hoftorbilanz mehrheitlich ab und fordern die Beibehaltung des bisherigen Bilanzierungssystems. Argumente dafür sind aus Sicht des Deutschen Bauernverbandes (2014) der voraussichtlich grosse administrative Aufwand und die Tatsache, dass die Hoftorbilanz aus fachlichen Gründen nicht geeignet sei zur Verbesserung der Effizienz und Effektivität der Düngung.

Das Inkrafttreten der novellierten Düngeverordnung ist für Ende 2015 angestrebt (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015). Aufgrund der im Internet verfügbaren Informationen ist uns nicht bekannt, ob bezüglich der Wahl der vorgesehenen Bilanzierungsmethode bereits eine Entscheidung getroffen worden ist.

5.5.2 Voraussetzungen für die Berechnung der Hoftorbilanz

Im Standpunkt des VDLUFA zur «Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb» (VDLUFA, 2007) werden die Datenvoraussetzungen für die Berechnung von Hoftorbilanzen positiv bewertet: «... Die erforderlichen Daten zur Erstellung der Hoftorbilanz sind buchmässig belegt bzw. berechnet und sichern objektive, reproduzierbare und justiziable Ergebnisse...». Die vorgeschlagene einfache Nutzung von Buchhaltungsdaten für die Berechnung der Hoftorbilanz ist aus unserer Sicht nicht ganz nachvollziehbar. Jan, Calabrese und Lips (2013) kommen im Rahmen einer Untersuchung der Bestimmungsfaktoren des N-Überschusses von schweizerischen Landwirtschaftsbetrieben zu einem anderen Schluss:

«... Die Daten, die für die Berechnung einer Hoftorbilanz auf Basis der Buchhaltungsdaten der Zentralen Auswertung gebraucht werden, sind in der gewünschten Qualität/Genauigkeit nicht verfügbar. ...»

Aus der 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 «Düngeverordnung» (DüV) (Taube et al., 2013) wird ersichtlich, dass für den Systemwechsel zur Hoftorbilanz noch verschiedene rechtliche Voraussetzungen geschaffen werden müssten:

- «... Zudem sollte die im Düngegesetz vorhandene Ermächtigung zum Erlass von Vorschriften über die Aufzeichnungen der Anwendung von Düngemitteln um alle Aufzeichnungen erweitert werden, die zur Erstellung einer Hoftorbilanz bezüglich der Nährstoffe Stickstoff und Phosphat erforderlich sind. ...»
- «... Notwendig ist es, die rechtlichen Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass alle für die Hoftorbilanz notwendigen Stickstoff- und Phosphat-Stoffströme (neben den bisher erfassten Düngemitteln z. B. Verkäufe pflanzlicher und tierischer Produkte, Zukäufe von Futtermitteln und Tieren) erfasst werden.»

Die bisher von den deutschen Betrieben für ihre Buchhaltungen bereits erfassten Daten scheinen somit nicht auszureichen.

Auch in einem Bericht der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (2012) wird die Hoftorbilanz bezüglich der Berechnungsgrundlagen kritisch gesehen:

«...Für die Hoftorbilanz müssten Rechensysteme entwickelt oder bestehende Ansätze überprüft, vereinheitlicht und zertifiziert werden. Die Erfassung des Futterzukaufs und des Verkaufs aller, also auch der tierischen Produkte, wird als sehr aufwändig und problematisch für eine belastbare, auf alle Betriebe anwendbare Bilanzierungsmethode angesehen. ...».

Es existieren nur sehr wenige Angaben über mögliche Zielgrössen für die betriebliche Hoftorbilanz in Deutschland. Die Kommission Landwirtschaft (KLU) des Umweltbundesamtes (UBA) schlug 2011 einen Ziel-N-Saldo von max. 50 kg N/ha für eine komplette Hoftorbilanz mit Einbezug von NH₃-Emissionen und N-Deposition vor (VDLUFA, 2012). Diese Zielgrösse lässt sich jedoch bei aktuellen ökonomischen Rahmenbedingungen nur von reinen Ackerbetrieben und nicht von tierhaltenden Betrieben oder Spezialkulturen erreichen (VDLUFA, 2012).

Bezüglich betriebsspezifischer Zielgrössen der Hoftorbilanz in Deutschland ist uns nur der Vorschlag des VDLUFA-Arbeitskreises «Nachhaltige Nährstoffhaushalte» (VDLUFA, 2012) bekannt (Tab. 4). Die vorgeschlagenen Zielsaldi für N stellen nur Grössenordnungen dar. Die genaue Herleitung der Werte ist nicht dokumentiert und es ist auch kein direkter Bezug zu Werten für die unvermeidbaren N-Verluste gezeigt. Kurzfristig gehen die Überlegungen von der Einführung einer unvollständigen Hoftorbilanz (ohne Berücksichtigung der N-Deposition und der NH₃-Emissionen) aus, mittelfristig sollen die Betriebe eine vollständige Hoftorbilanz unter Einbezug dieser beiden Grössen rechnen müssen.

Der grossen Vielfalt von landwirtschaftlichen Betrieben wird im Vorschlag der VDLUFA (2012) mittels einer dreiteiligen Gruppierung anhand der Höhe der organischen Düngung nur sehr grob Rechnung getragen.

Beim P sind die zulässigen Überschüsse gemäss dem Vorschlag des VDLUFA (2012) nicht von den P-Saldi der Hoftorbilanz, sondern von den Gehaltsklassen (A-E) der Bodenversorgung mit P abgeleitet.

Tab. 4. Vorschlag des VDLUFA für die Festlegung der betriebsspezifisch zulässigen N-Überschüsse gemäss Hoftorbilanz (Tabelle modifiziert aus VDLUFA, 2012).

Betriebstyp	Organische Düngung (kg N/ha)	Zulässiger N-Überschuss «Kurzfristig» ¹⁾ (kg N/ha)	Zulässiger N-Überschuss «Mittelfristig» ²⁾ (kg N/ha)
I	<50	30	60
II	50–100	45	90
III	>100	60	120

¹⁾ Unvollständige Hoftorbilanz, mit pauschalen Abzügen für NH₃-Emissionen und ohne N-Deposition

²⁾ Komplette Hoftorbilanz

6 Synthese: Potenzial der OSPAR-Bilanz als mögliche Alternative zur Suisse-Bilanz

Basierend auf den in diesem Bericht beschriebenen Abklärungen beurteilen wir das Potenzial der OSPAR-Bilanz als mögliche Alternative zur Suisse-Bilanz im ÖLN anhand folgender Kriterien:

1. Berechnungs- und Datengrundlagen;
2. Zeitbedarf für die Berechnung;
3. Genauigkeit der Ergebnisse;
4. Zielgrösse;
5. Aussagekraft des Bilanzergebnisses;
6. zu erwartende Akzeptanz; und
7. Forschungsbedarf vor einer Einführung.

6.1 Berechnungs- und Datengrundlagen

Die Berechnungsweise einer Hoftorbilanz ist grundsätzlich bekannt, muss jedoch in einer neuen Wegleitung klar und einheitlich anwendbar beschrieben werden. Zentrales Element einer Wegleitung ist eine Liste mit Nährstoffgehalten für alle landwirtschaftlichen Güter und Hilfsstoffe, die auf Landwirtschaftsbetriebe zu- und von ihnen weggeführt werden. Diese Nährstoffgehaltsliste ist bei weitem noch nicht komplett; sie muss basierend auf Literaturrecherchen und in Einzelfällen mittels gezielter Untersuchungen vervollständigt werden. Im Bereich der Abschätzung der biologischen N-Fixierung bestehen noch offene methodische Fragen, aber dies betrifft alle Bilanzierungsmethoden, die diesen mengenmässig wichtigen N-Input berücksichtigen.

Bei der Datenverfügbarkeit fällt auf, dass die Mehrzahl der zu erfassenden Daten, meist Mengen an zu- oder weggeführten Gütern oder Hilfsstoffen, mittels Selbstdeklaration erfasst werden müssten. Dies ist schon ein beträchtlicher Kritikpunkt an der Suisse-Bilanz (vgl. Bosshard et al., 2012); sowohl Anteil als auch Anzahl der selbstdeklarierten Grössen ist in der OSPAR-Bilanz noch grösser als in der Suisse-Bilanz.

Bei der OSPAR-Bilanz tritt verstärkt das bisher kaum diskutierte Problem der Lagerhaltung auf. Zum Beispiel Futtermittel oder Mineraldünger werden oft aus Gründen der Einfachheit oder um günstige Preise auszunutzen in grösseren Mengen eingekauft, als im aktuellen Bilanzierungsjahr benötigt. Im ÖLN-Vollzug müssten deshalb nebst den Daten, die in die Bilanzrechnung einfliessen, zusätzlich auch die Veränderung der Vorräte an Futtermitteln und Düngern kontrolliert werden. Dies ist bei gewissen Gütern nicht einfach und genau machbar und vergrössert generell den Kontrollaufwand.

6.2 Zeitbedarf für die Berechnung

Aufgrund der Rückmeldungen der befragten Experten ist zu erwarten, dass mit der OSPAR-Bilanz der Aufwand für die Datenerfassung und Berechnung der Bilanz im besten Fall ähnlich (Milchviehbetriebe), aber in der Regel grösser (kombinierte Betriebe, Ackerbetriebe) sein dürfte als mit der Suisse-Bilanz.

6.3 Genauigkeit der Ergebnisse

Wenn die nötigen Grundlagendaten (Nährstoffgehalte) genau und die Angaben zu den Mengen der zu- und weggeführten Güter zuverlässig sind, hat die OSPAR-Bilanz das Potenzial, eine zuverlässige Abschätzung der gesamtbetrieblichen Nährstoffüberschüsse zu liefern. Noch in stärkerem Ausmass als bei der Suisse-Bilanz kann die überwiegende SelbstdeklARATION der Input- und Output-Mengen zu Abweichungen des Bilanzsaldos führen. Es müsste deshalb geprüft werden, ob Erfassungssysteme im Stile von HODUFLU z. B. auch für Rauh-futterverschiebungen geschaffen werden könnten. Zusätzlich hilfreich wären obligatorische Aufzeichnungen der Verkäufer von Futtermitteln oder Mineraldüngern.

6.4 Zielgrösse

Für die Erarbeitung einer zuverlässigen und betriebstypspezifischen Zielgrösse für die OSPAR-Bilanz ist ein deutlich grösserer Aufwand als bei der Suisse-Bilanz nötig, in welcher in allen Fällen eine ausgeglichene Bilanz mit einem Fehlerbereich von 10 % gilt.

Ungeachtet der gewählten Zielgrösse für die OSPAR-Bilanz wäre diese nur betriebstypen- und nicht betriebsspezifisch und somit viel weniger differenziert als bei der Suisse-Bilanz. Dies wäre in Anbetracht der teilweise sehr grossen Heterogenitäten innerhalb eines Betriebstyps ein grosser Nachteil gegenüber der Suisse-Bilanz (vgl. Abb. 6).

Bei einer Orientierung der Zielgrösse an den unvermeidbaren Nährstoffverlusten bei Einhalten der guten fachlichen Praxis müssen für die Festlegung der betriebstypenspezifischen Zielgrössen die Nährstoffverluste auf den verschiedenen Verlustpfaden quantifiziert und der Anteil unvermeidbarer Verluste bei der zu definierenden guten fachlichen Praxis festgelegt werden.

6.5 Eignung der Bilanzierungsmethoden für verschiedene Anwendungen

Im Vergleich zur Suisse-Bilanz, welche ein wertvolles Instrument für die gesamtbetriebliche Düngungsplanung ist, sind die aus der OSPAR-Bilanz resultierenden gesamtbetrieblichen Nährstoffverluste für die Bemessung der Düngung kaum nutzbar, weil die OSPAR-Bilanz keinen Aufschluss über die unvermeidbaren Nährstoffverluste gibt.

Die Suisse-Bilanz ist ein bewährtes und akzeptiertes ÖLN-Vollzugsinstrument. Die OSPAR-Bilanz wäre aus unserer Sicht für Berechnung und Vollzug aufwändiger und der Nebeneffekt einer gesamtbetrieblichen Düngungsplanung würde im Vergleich zur Suisse-Bilanz fehlen. Aus diesen Gründen dürfte die Akzeptanz der OSPAR-Bilanz für den ÖLN-Vollzug ungenügend sein.

Die OSPAR-Bilanz liefert bei guter Qualität der in die Berechnung eingehenden Daten zuverlässige Ergebnisse zu den gesamten Verlusten des bilanzierten Nährstoffs. Der Bilanzsaldo könnte somit herangezogen werden, um ökonomische Lenkungsinstrumente anzuwenden (z. B. eine Besteuerung von Nährstoffüberschüssen). Dies wäre mit der Suisse-Bilanz nicht möglich, bei der keine direkten Aussagen zur Grösse der Nährstoffverluste gemacht werden können. Es wäre aber bei der Suisse-Bilanz denkbar, das prozentuale Ausmass der Überschreitung einer ausgeglichenen Anfalls-Bedarfs-Bilanz als Grundlage für die Anwendung von ökonomischen Instrumenten zu prüfen.

6.6 Zu erwartende Akzeptanz

Aus verschiedenen Gründen ist zu erwarten, dass eine Umstellung auf die OSPAR-Bilanz in Praxis-, Beratungs- und Vollzugskreisen nicht auf grosse Akzeptanz stossen würde:

- Infolge der langjährigen Anwendung der Suisse-Bilanz sind Praxis, Beratung und Vollzugsstellen inzwischen sehr vertraut im Umgang mit der Suisse-Bilanz und diese ist breit akzeptiert.
- Mit einer Umstellung fiel die Suisse-Bilanz als gesamtbetriebliches Düngungsplanungsinstrument weg.
- Der Arbeitsaufwand für Erfassung und Kontrolle der OSPAR-Bilanz wäre vermutlich für die meisten Betriebstypen grösser als für die Suisse-Bilanz. Schon der Aufwand für die Suisse-Bilanz wird von Praxis und Vollzugsstellen als beträchtlich angesehen (vgl. Bossard et al., 2012).
- Bei der Ablösung eines zentralen ÖLN-Instruments müsste das Nachfolge-Tool insgesamt deutliche Vorteile aufweisen. Dies ist, wie in diesem Bericht gezeigt wird, nicht der Fall.

Andererseits dürften Umweltkreise wie kantonale und eidgenössische Umweltbehörden, NGOs usw. die Einführung der OSPAR-Bilanz begrüessen, weil damit direkt das Ausmass von Nährstoffverlusten der Landwirtschaftsbetriebe in Abhängigkeit von betrieblicher Ausrichtung und Standortbedingungen beurteilt werden kann. Das ist bisher mit der Suisse-Bilanz nicht möglich.

6.7 Forschungsbedarf vor einer Einführung

Die Erarbeitung der betriebstypspezifischen Zielgrössen für die OSPAR-Bilanz erfordert einen erheblichen Forschungsbedarf. Auch im Bereich der Abschätzung der biologischen N-Fixierung, welche eine sehr wichtige Inputgrösse der OSPAR-Bilanz ist, sind noch einige Berechnungsaspekte nur ungenügend belegt.

Weiterer Forschungsbedarf besteht bei der Denitrifikation, im Bereich des Weidesystems, insbesondere bei den Nitratverlusten auf der Weide, und bei der Frage, was mit den grossen Mengen an organischem Stickstoff in den Ernte- und Fütterungsverlusten (d. h. Feld- und Krippenverlusten) passiert.

7 Literatur

- Agridea und BLW. 2013. Wegleitung Suisse-Bilanz – Auflage 1.11, Juni 2013. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. Zugang: http://www.blw.admin.ch/the-men/00006/00049/01163/index.html?lang=de&download=NHZLp-Zeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuoq2Z6gpJCEeX16fmym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- [27.7.2015].
- Agroscope, 2014. Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch). Zugang: <http://www.agroscope.admin.ch/futtermitteldatenbank/04834/index.html?lang=de> [27.7.2015].
- Baumgärtel, G., Th. Ebertseder, R. Gutser, U. Hege, J. Hüther, F. Lorenz, K. Orlovius, J. Pollehn, D. Pradt, M. Rex, H.-P. Wodsack. 2003. Nährstoffverluste aus landwirtschaftlichen Betrieben mit einer Bewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis. Bundesarbeitskreis Düngung (BAD) (Hrsg.), Frankfurt/Main, 36 S. Zugang: <http://www.iva.de/sites/default/files/benutzer/uid/publikationen/naehrstoffverluste.pdf> [27.7.2015].
- Bosshard, C., E. Spiess, W. Richner. 2012. Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz. Schlussbericht zuhanden des BLW. Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern. Zugang: http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00201/index.html?lang=de&download=NHZLp-Zeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuoq2Z6gpJCEeIR5hGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A-- [27.7.2015].
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2015. Ackerbau - Düngen nach guter fachlicher Praxis. Zugang: http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html [27.7.2015].
- Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (2012). Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Johann Heinrich von Thünen-Institut (Thünen-Institut), Braunschweig. Zugang: http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn051542.pdf [27.7.2015].
- Cariboni, J., D. Gatelli, R. Liska, A. Saltelli. 2007. The role of sensitivity analysis in ecological modelling. *Ecological Modelling* 203: 167-182.
- Deutscher Bauernverband, 2014. Anlagenverordnung für Güllebehälter befeuert Strukturwandel in der Landwirtschaft – DBV-Präsidium kritisiert unverhältnismäßige Verschärfungen. Pressemitteilung 16.9.2014. Zugang: <http://www.bauernverband.de/anlagenverordnung-fuer-quellebehaelter-befeuert-strukturwandel-in-der-landwirtschaft> [27.7.2015].
- Flisch R., S. Sinaj, R. Charles, W. Richner. 2009. Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau (GRUDAF). *Agrarforschung* 16(2), 1-100.
- Gamer, W., E. Bahrs. 2012. Bilanzen von potenziell umweltbelastenden Nährstoffen (N, P, K und S) der Landwirtschaft in Baden-Württemberg. Forschungsbericht im Auftrag des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz, Baden-Württemberg, Stuttgart. Universität Hohenheim, Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre, Stuttgart.
- Heuvelink, G.B.M. 1998. Uncertainty analysis in environmental modelling under a change of spatial scale. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 50: 255-264.
- Hudson, A., D.R. Tilley. 2014. Assessment of uncertainty in emergy evaluations using Monte Carlo simulations. *Ecological Modelling* 271: 52-61.

- Huguenin-Elie, O. 2014. Vérification conceptionnelle de la déduction pour compenser les pertes d'azote durant la pâture. Unveröffentlichter Bericht für das Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bern.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 1 «General Guidance and Reporting», Chapter 3 «Uncertainties». Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Hrsg.). IGES, Japan.
- Isermann, K. 1993. Nährstoffbilanzen und aktuelle Nährstoffversorgung der Böden. Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 207, Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit, Band 5: Nährstoffhaushalt, 15-54.
- Jan, P., C. Calabrese, M. Lips, M. 2013. Bestimmungsfaktoren des Stickstoff-Überschusses auf Betriebsebene. Teil 1: Analyse auf gesamtbetrieblicher Ebene. Abschlussbericht zuhanden des Bundesamts für Landwirtschaft BLW. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen, S. 1-82. Zugang: <http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?pubdownload=NHZLp-Zeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2rZpnG3s2Rodeln6h1d352gl-ONn,aknp6V2tTljKbXoKimjZ2XlpekiKfo> [27.7.2015].
- Jansen, M.J.W. 1998. Prediction error through modelling concepts and uncertainty from basic data. Nutrient Cycling in Agroecosystems 50: 247-253.
- Kros, J., G.B.M. Heuvelink, G.J. Reinds, J.P. Lesschen, V. Ioannidi, W. de Vries. 2012. Uncertainties in model predictions of nitrogen fluxes from agro-ecosystems in Europe. Biogeosciences 9: 4573-4588.
- Meier B. 2000. Neue Methodik für die Zentrale Auswertung der FAT. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz Tänikon ART (ehemals Agroscope FAT).
- Miller, S.A., A.E. Landis, T.L. Theis. 2006. Use of Monte Carlo analysis to characterize nitrogen fluxes in agroecosystems. Environmental Science & Technology 40: 2324-2332.
- OECD. 2001. Environmental Indicators for Agriculture: Methods and Results, Executive Summary. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris CEDEX, France, p. 53. Zugang: <https://www.oecd.org/agriculture/sustainable-agriculture/1916629.pdf> [27.7.2015].
- Payraudeau, S., H.M.G. van der Werf, F. Vertès. 2007. Analysis of the uncertainty associated with the estimation of nitrogen losses from farming systems. Agricultural Systems 94: 416-430.
- Taube, F., A. Balmann, J. Bauhus, R. Birner, W. Bokelmann, O. Christen, M. Gaulty, H. Grethe, K. Holm-Müller, W. Horst, U. Knierim, U. Latacz-Lohmann, H. Nieberg, M. Qaim, A. Spiller, S. Täuber, P. Weingarten, F. Wiesler, 2013. Novellierung der Düngeverordnung: Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen. Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) zur «Novellierung der Düngeverordnung» (DüV). Berichte über Landwirtschaft – Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Sonderheft 2019, 1-12.
- Uebersax, A. 1999. Nährstoffbilanz 2000: Was ist neu? Wie kam es zu den Neuerungen? Welche Überlegungen stecken dahinter? In: Kursunterlagen «Düngungsberatung: Fachlich fit ins neue Jahrtausend». Agridea-Kurs Nr. 99.206, Zollikofen, 9.9.1999, 4 p.

- VDLUFA. 2007. Standpunkt – Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Speyer, 9 p. Zugang: <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/10-Naehrstoffbilanzierung.pdf> [27.7.2015].
- VDLUFA. 2012. VDLUFA-Arbeitskreis Nachhaltige Nährstoffhaushalte – Vorschlag zur Novellierung der Düngeverordnung. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Speyer, 8 p. Zugang: http://www.vdlufa.de/download/AK_Nachhaltige_Naehrstoffhaushalte.pdf [27.7.2015].
- Verbeeck, H., R. Samson, F. Verdonck, R. Lemeur. 2006. Parameter sensitivity and uncertainty of the forest carbon flux model FORUG: a Monte Carlo analysis. *Tree Physiology* 26: 807-817.
- Yanai, R.D., J.J. Battles, A.D. Richardson, C.A. Blodgett, D.M. Wood, E.B. Rastetter. 2010. Estimating uncertainty in ecosystem budget calculations. *Ecosystems* 13: 239-248.