Agroscope Science | Nr. 198 / 2024

Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2022

Autoren

Ernst Spiess und Frank Liebisch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

Agroscope gutes Essen, gesunde Umwelt

Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Ernst Spiess, ernst.spiess@agroscope.admin.ch Frank Liebisch, frank.liebisch@agroscope.admin.ch
Titelbild	Ernst Spiess
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2024
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as198g

Haftungsausschluss :
Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung **4**
Résumé **5**
Summary **6**
Riassunto **7**
1 Einleitung **8**
2 Material und Methoden **9**
2.1 Bilanzierungsmethode 9
2.2 Ausgangsdaten und Berechnungsmethode 10
2.3 Zusätzliche Berechnungen 11
2.4 Genauigkeit der Berechnungen 13
2.5 Darstellung der Resultate 13
3 Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf im Mittel der Jahre 2020-22 ..... **14**
3.1 Stickstoff 14
3.2 Phosphor 16
4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2022 ..... **17**
4.1 Stickstoff 17
4.2 Phosphor 20
4.3 Schwerpunkt: Inländisches und importiertes Futter und Stroh 22
5 Literaturverzeichnis **26**
Anhang **29**

Zusammenfassung

Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2022

Die Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft wurde für Stickstoff (N) und Phosphor (P) für die Jahre 1975 bis 2022 berechnet. Die Bilanzierung erfolgte mit der OSPAR-Methode, bei welcher der Nährstoff-Input in die gesamte Landwirtschaft dem Output aus der Landwirtschaft gegenübergestellt wird (= Input-Output-Bilanz). Zur Ergänzung und Kontrolle wurde auch der landwirtschaftliche Nährstoffkreislauf erstellt. Die verschiedenen Input- und Output-Grössen sowie die landwirtschaftsinternen Nährstoffflüsse wurden grösstenteils durch Multiplikation der einzelnen Produktmengen mit dem entsprechenden Nährstoffgehalt berechnet.

Im Mittel der Jahre 2020 bis 2022 waren die importierten Futtermittel sowohl bei Stickstoff als auch bei Phosphor die wichtigste Input-Grösse, gefolgt von den Mineraldüngern. Der Output über die tierischen und pflanzlichen Nahrungsmittel sowie die anderen tierischen Produkte (z. B. Tiermehl) entsprach bei Stickstoff etwas mehr als einem Drittel, bei Phosphor dagegen zwei Dritteln des gesamten Inputs. Der Überschuss betrug rund 90'000 t N bzw. 4'900 t P; auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) bezogen machte dies 86 kg N/ha bzw. 5 kg P/ha aus. Aus dem Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft ist ersichtlich, dass der Input über die importierten Futtermittel in die Tierhaltung bei beiden Nährstoffen etwas höher war als der Output über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte. Im Pflanzenbau überstieg die Nährstoffzufuhr über alle Düngemittel, die biologische Stickstoff-Fixierung und die Deposition den Entzug durch die pflanzlichen Nahrungs- und Futtermittel bei Stickstoff um zwei Drittel und bei Phosphor um ein Fünftel.

In der Periode von 1975/77 bis 2020/22 sank die Nährstoffmenge in den importierten Futtermitteln zunächst bis Mitte der 1990er Jahre stark, stieg dann aber wieder auf das Ausgangsniveau von 1975/77. Der Mineraldüngerverbrauch erreichte bei Phosphor früher den Höhepunkt als bei Stickstoff und die nachfolgende Abnahme war bei Phosphor viel ausgeprägter. Die biologische Stickstoff-Fixierung und die Deposition waren während der gesamten Periode rückläufig. Dagegen nahm der Output über die tierischen und pflanzlichen Produkte kontinuierlich zu. Bei beiden Nährstoffen stieg der Überschuss bis 1979/81 an und nahm nachher während vieler Jahre ab, wobei ein verstärkter Rückgang in den ersten Jahren nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 beobachtet werden kann. Der Überschuss verharrte bei Stickstoff zwischen 1997/99 und 2016/18 auf einem Niveau von etwa 95'000 t N. Bei Phosphor liegt der Überschuss seit 2007/09 in der Grössenordnung von 5'000 t P.

Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt, dass der Überschuss sowohl bei Stickstoff wie bei Phosphor um fast 10% abgenommen hat. Die Rückgänge können hauptsächlich auf einen geringeren Futtermittelimport und bei Stickstoff zusätzlich auf den abnehmenden Mineraldüngerverbrauch zurückgeführt werden. Aufgrund der teilweise starken Jahresschwankungen kann erst in einigen Jahren abschliessend beurteilt werden, ob diese Abnahmen von Dauer sind.

Résumé

Évolution du bilan des éléments nutritifs de l'agriculture suisse pour les années 1975 à 2022

Le bilan des éléments nutritifs de l'agriculture suisse a été calculé pour l'azote (N) et le phosphore (P) pour les années 1975 à 2022. Ce bilan a été effectué selon la méthode OSPAR, qui compare les quantités d'éléments nutritifs entrant dans l'ensemble de l'agriculture à celles qui en ressortent (= bilan entrées-sorties). À des fins de complément et de contrôle, le cycle des éléments nutritifs a également été établi. Les différentes variables d'entrée et de sortie ainsi que les flux des éléments nutritifs internes à l'agriculture ont été en grande partie calculés en multipliant les quantités des différents produits par la teneur en éléments nutritifs correspondante. La précision des calculs ainsi que les faiblesses de la méthode de bilan sont traitées dans cette étude.

En moyenne sur les années 2020 à 2022, les aliments pour animaux importés représentaient les entrées les plus importantes en termes d'azote et de phosphore, suivis par les engrais minéraux. Les sorties par le biais des aliments d'origine animale et végétale ainsi que des autres produits d'origine animale (par exemple, les farines animales) ne représentaient qu'un tiers de l'apport total en azote contre deux tiers pour le phosphore. Le surplus s'est élevé à environ 90 000 t N et à 4900 t P. Exprimé en surface agricole utile (SAU), cela représente respectivement 86 kg N/ha et 5 kg P/ha. Il ressort du cycle des éléments nutritifs de l'agriculture que l'apport par les aliments pour animaux importés dans la production animale était légèrement plus élevé pour ces deux éléments que les sorties par le biais des aliments et des autres produits d'origine animale. Dans la production végétale, l'apport en éléments nutritifs par l'ensemble des engrais, la fixation biologique de l'azote et les retombées atmosphériques ont dépassé les prélèvements par les denrées alimentaires d'origine végétale et les aliments pour animaux d'origine végétale de deux tiers pour l'azote et d'un cinquième pour le phosphore.

Entre 1975/77 et 2020/22, la quantité d'éléments nutritifs dans les aliments pour animaux importés a d'abord fortement diminué jusqu'au milieu des années 1990, puis elle a de nouveau augmenté pour atteindre le niveau de 1975/77. La consommation d'engrais minéraux a atteint son plus haut niveau plus tôt pour le phosphore que pour l'azote et la diminution qui a suivi a été beaucoup plus prononcée pour le phosphore. La fixation biologique de l'azote et les retombées atmosphériques ont diminué tout au long de cette période. En revanche, les sorties par les produits d'origine animale et végétale n'ont cessé d'augmenter. Pour les deux éléments nutritifs, l'excédent a augmenté jusqu'en 1979/81 et a ensuite diminué pendant de nombreuses années, avec une baisse plus prononcée au cours des premières années après l'introduction des paiements directs écologiques en 1993. Pour l'azote, l'excédent s'est maintenu entre 1997/99 et 2016/18 à un niveau d'environ 95 000 t N. Pour le phosphore, l'excédent est de l'ordre de 5000 t P depuis 2007/09.

L'évolution depuis 2014/16 montre que l'excédent a diminué de près de 10 %, tant pour l'azote que pour le phosphore. Ces baisses peuvent être attribuées principalement à une diminution des importations d'aliments pour animaux et, pour l'azote, également à la diminution de la consommation d'engrais minéraux. En raison des fluctuations annuelles parfois importantes, il faudra attendre quelques années avant de pouvoir évaluer définitivement si ces baisses sont durables.

Summary

Swiss Agricultural Sector Nutrient Balance for 1975 to 2022

The Swiss agricultural sector's nutrient balance for nitrogen (N) and phosphorus (P) was calculated for the years 1975 to 2022. The balance was calculated using the OSPAR method, in which the nutrient input into the agricultural sector as a whole is compared to the output from agriculture (= input-output balance). For completeness and as a check, the agricultural nutrient cycle was also compiled. The various input and output variables as well as the nutrient flows within the agricultural sector were for the most part calculated by multiplying the individual product volumes by the corresponding nutrient content.

On average for the period 2020 to 2022, imported feedstuffs was the most important input variable for both nitrogen and phosphorus, followed by mineral fertilisers. The output via foods of animal and plant origin as well as other animal products (e.g. carcass meal) was equivalent to slightly over one-third of the total input for nitrogen and two-thirds of the total input for phosphorus. The surplus came to around 90,000 t N and 4900 t P; in terms of utilised agricultural area (UAA), this represented 86 kg N/ha and 5 kg P/ha, respectively. The nutrient cycle for agriculture clearly shows that input into animal production via imported feedstuffs was slightly higher for both nutrients than output via foods of animal origin and other animal products. In plant production, nutrient supply via all fertilisers, biological nitrogen fixation and deposition exceeded uptake by plant-based food and feedstuffs by two-thirds for nitrogen and one-fifth for phosphorus.

In the period from 1975/77 to 2020/22 the volume of nutrients in imported feedstuffs first fell sharply until the mid-1990s, but then rose again to the starting level of 1975/77. Consumption of mineral fertilisers reached its peak sooner for phosphorus than for nitrogen, and the subsequent decrease for phosphorus was much more pronounced. Biological nitrogen fixation and deposition declined over the entire period. By contrast, output via products of animal and plant origin increased steadily. For both nutrients the surplus rose until 1979/81, after which it fell for many years, with an increasing decline being observable in the first few years after the introduction of the ecological direct payments in 1993. Between 1997/99 and 2016/18 the surplus for nitrogen persisted at a level of approx. 95,000 t N. For phosphorus, the surplus has been of the order of 5000 t P since 2007/09.

Developments since 2014/16 show that the surplus for both nitrogen and phosphorus has decreased by nearly 10%. Declines are mainly attributable to lower imports of feedstuffs, as well as to the decreasing use of mineral fertiliser in the case of nitrogen. Owing to the sometimes-strong annual fluctuations, it is only in a few years' time that we will be able to judge conclusively whether these decreases are of a lasting nature.

Riassunto

Bilancio delle sostanze nutritive dell'agricoltura svizzera negli anni 1975–2022

Nel periodo 1975–2022, per l'azoto (N) e il fosforo (P) il bilancio delle sostanze nutritive dell'agricoltura svizzera è stato calcolato con il metodo OSPAR, che confronta l'input di sostanze nutritive in tutta l'agricoltura con l'output di tali sostanze dall'agricoltura (= bilancio input-output). A scopo di complemento e di controllo, è stato elaborato anche il ciclo delle sostanze nutritive nell'agricoltura. Le diverse variabili di input e output nonché i flussi di sostanze nutritive nell'agricoltura sono stati in buona parte calcolati moltiplicando le quantità dei singoli prodotti per il tenore di sostanze nutritive corrispondente.

In media per il periodo 2020–2022, gli alimenti per animali importati sono stati la variabile di input principale sia per l'azoto che per il fosforo, seguiti dai concimi minerali. L'output tramite alimenti di origine animale e vegetale nonché gli altri prodotti animali (p.es. farina animale) corrispondeva a poco più di un terzo dell'input totale per l'azoto e a due terzi per il fosforo. L'eccedenza è stata di circa 90 000 t N e 4 900 t P; in relazione alla superficie agricola utilizzata (SAU), è stata pari rispettivamente a 86 kg N/ha e a 5 kg P/ha. Il ciclo di sostanze nutritive nell'agricoltura denota che per entrambe le sostanze nutritive l'input attraverso gli alimenti per animali importati nella detenzione di animali è stato leggermente superiore all'output attraverso gli alimenti e gli altri prodotti animali. Nella produzione vegetale, l'apporto di sostanze nutritive tramite tutti i concimi, la fissazione biologica dell'azoto e la deposizione ha superato l'eliminazione attraverso gli alimenti e gli alimenti per animali vegetali di due terzi per l'azoto e di un quinto per il fosforo.

Nei periodi 1975–1977 e 2020–2022, inizialmente la quantità di sostanze nutritive negli alimenti per animali importati aveva subito un brusco calo fino alla metà degli anni Novanta, per poi risalire al livello iniziale del 1975–1977. Il consumo di concimi minerali ha raggiunto un picco prima per il fosforo che per l'azoto e il successivo calo è stato molto più marcato per il fosforo. La fissazione biologica dell'azoto e la deposizione sono diminuite nel corso dell'intero periodo. Al contrario, l'output tramite prodotti animali e vegetali è aumentato costantemente. Per entrambe le sostanze nutritive, l'eccedenza è aumentata fino al 1979–1981 ed è poi diminuita per molti anni, anche se un calo più pronunciato può essere osservato nei primi anni dopo l'introduzione dei pagamenti diretti ecologici nel 1993. Per l'azoto l'eccedenza si è mantenuta a un livello di circa 95 000 t N nei periodi 1997–1999 e il 2016–2018. Nel caso del fosforo, dal 2007–2009 l'eccedenza è stata dell'ordine di 5000 t P.

Dal 2014–2016 l'andamento mostra che le eccedenze per l'azoto e il fosforo sono calate di quasi il 10 per cento. Le diminuzioni possono essere attribuite principalmente alle minori importazioni di alimenti per animali e, nel caso dell'azoto, anche alla diminuzione del consumo di concimi minerali. A causa delle fluttuazioni annuali, talvolta marcate, soltanto tra qualche anno si potrà stabilire con certezza se si tratta di diminuzioni durature.

1 Einleitung

In der schweizerischen Landwirtschaft nahmen der Dünger- und der Futtermitteleinsatz nach Mitte des letzten Jahrhunderts stark zu. Dadurch konnten die Pflanzenerträge, die tierischen Leistungen und damit die gesamte Produktion stark gesteigert werden. Aber auch die Nährstoffverluste in die Umwelt nahmen zu und führten zu verschiedenen Umweltproblemen: Der **Nitratgehalt des Trinkwassers** liegt heute immer noch in etlichen Quellfassungen und Grundwasserpumpwerken über der numerischen Anforderung von 25 mg NO_3^-/L (BAFU 2019). Ausgewaschenes Nitrat kann aber auch über das Grundwasser und Fliessgewässer in den Rhein und damit in die Nordsee gelangen, wo es zur **Eutrophierung der Küstengewässer** beiträgt, weil Stickstoff (N) dort oftmals der limitierende Nährstoff für das Algenwachstum ist (Kivi *et al.* 1993). Ammoniakemissionen tragen über die saure Deposition zur **Überdüngung von empfindlichen Ökosystemen** (z.B. Wälder, Moore, Magerwiesen) und zur Bildung von atmosphärischem Feinstaub bei (EKL 2007; Kosonen et al. 2019; Rihm und Achermann 2016). Bei der Denitrifikation wird neben molekularem Stickstoff (N_2) auch Lachgas (N_2O) gebildet, welches den **Treibhauseffekt** und den **Abbau der Ozonschicht** in der Stratosphäre stark fördert (Granli und Bockman 1994). Die grossen Frachten an Phosphor (P), die über die Abschwemmung und die Erosion in die Gewässer gelangen, sind eine Hauptursache für die hohen P-Konzentrationen und die **Eutrophierung von Oberflächengewässern** (Gutser *et al.* 2008). Im Pflanzenbau führt die Überdüngung zu einer unerwünschten **Anreicherung des Bodens mit Phosphor** (Spiess 2019). Wird mit Phosphor angereicherter Boden erodiert, entstehen deshalb höhere P-Verluste und eine grössere Gewässerbelastung. Da diese unerwünschten Entwicklungen in der Umwelt häufig erst nach Jahren oder sogar Jahrzehnten beobachtet werden können, ist die nationale Nährstoffbilanz des Landwirtschaftssektors ein wichtiger Indikator für mögliche aktuelle und zukünftige Umweltbelastungen durch Nährstoffe aus der Landwirtschaft.

Im Jahr 1993 wurde Agroscope erstmals vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) beauftragt, eine nationale Nährstoffbilanz zu erstellen. Im Rahmen des Übereinkommens zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (OSPAR-Übereinkommen) wurde angestrebt, die N- und P-Einträge in die Nordsee zwischen 1985 und 1995 um rund 50% zu reduzieren (PARCOM 1988). Da die Wirksamkeit der dazu in der Landwirtschaft ergriffenen Massnahmen nicht mit direkten Messungen nachgewiesen werden konnte, wurde empfohlen, sie mit Hilfe von Nährstoffbilanzen abzuschätzen. Dazu wurde die in OSPAR (1995) beschriebene Berechnungsmethode vorgeschlagen. Zwischen 1996 und 2005 berechnete Agroscope nationale N- und P-Bilanzen für die Evaluation der ab 1993 eingeführten Ökomassnahmen. Damit sollte überprüft werden, ob die vom BLW gesetzten Reduktionsziele für die Nährstoffüberschüsse erreicht werden. In den darauffolgenden Jahren wurden die N- und die P-Bilanz als nationale Agrar-Umweltindikatoren etabliert (Spiess und Liebisch 2020). Die Nährstoffbilanzen werden auch dazu verwendet, um die Erreichung der Ziele des Bundesrats zur Reduktion der N- und P-Verluste um 15 bzw. 20% zwischen der Referenzperiode 2014-16 und 2030 zu evaluieren (Art. 10a VBNL, 2024).

In der Schweiz werden neben der OSPAR-Bilanz noch andere Bilanzierungsansätze verfolgt: Auf nationaler Ebene werden auch Bilanzen nach der OECD-Methode berechnet, die der internationalen Berichterstattung an die OECD und an Eurostat dienen. Im Monitoring des Agrarumweltsystems Schweiz (MAUS) werden auf regionaler und Betriebsebene ebenfalls N- und P-Bilanzen nach der OECD-Methode erstellt, anhand derer die quantitativen und qualitativen Auswirkungen der Agrarpolitik beurteilt werden (Art. 8 VBNL, 2024). Landwirtschaftsbetriebe müssen im Rahmen des Ökologischen Leistungsnachweises mittels der Bilanzierung nach der Methode 'Suisse-Bilanz' zeigen, dass kein überschüssiger Stickstoff oder Phosphor ausgebracht wird (Art. 13 DZV, 2024).

Im Folgenden werden die Bilanzierungsmethode nach OSPAR beschrieben und die Ergebnisse der Bilanzierung für das Jahr 2022 vorgestellt. Bei der zeitlichen Entwicklung seit 1975 wird zusätzlich ein Schwerpunkt auf die Trends in den 2010er Jahren sowie zwischen der Referenzperiode 2014-16 und 2022 gelegt.

2 Material und Methoden

2.1 Bilanzierungsmethode

Mit der in OSPAR (1995) beschriebenen Methode wird die Bilanzierung für die gesamte Landwirtschaft (Pflanzenbau und Tierhaltung) durchgeführt (Abb. 1). Die schweizerische Landwirtschaft wird somit als eine Einheit - als ein einziger 'landwirtschaftlicher Betrieb' - betrachtet. Die Nährstoffbilanz wird aufgrund des Nährstoff-Inputs in die Landwirtschaft (Import aus dem Ausland und aus anderen inländischen Wirtschaftssektoren) und des Nährstoff-Outputs aus der Landwirtschaft erstellt (= Input-Output-Bilanz; Abb. 2). Der Input umfasst die importierten Futtermittel, die Mineraldünger, die Recycling- und die übrigen Dünger (Kompost, Rübenkalk etc.), das importierte Saatgut, die biologische Stickstoff-Fixierung durch die Leguminosen sowie die Deposition aus der Luft (Abb. 1 und 2). Der Output setzt sich aus den tierischen (z.B. Milchprodukte) und pflanzlichen Nahrungsmitteln (z.B. Brotgetreide) sowie den anderen tierischen Produkten (z.B. Tiermehl oder in die Para-Landwirtschaft exportierte Hofdünger) zusammen. Der Bilanzsaldo, das heisst die Differenz zwischen Input und Output, ist meistens positiv (= Überschuss) und umfasst die Bodenvorratsänderung (Zu- bzw. Abnahme des Nährstoffgehaltes im Boden) sowie die gesamten Verluste (Ammoniakverflüchtigung, Denitrifikation, Auswaschung, Abschwemmung, Erosion etc.). Der Vorteil dieser Berechnungsmethode ist die grosse Genauigkeit (Eurostat 2013; Gisiger 1957; Oenema *et al.* 2003; van Eerdt und Fong 1998). Von Nachteil ist, dass die Berechnung von Bilanzen auf regionaler Ebene infolge der beschränkten Datenverfügbarkeit zurzeit noch mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist (Baumgartner *et al.* 2024; Eurostat 2013; Hurschler *et al.* 2024; OECD und Eurostat 2007).

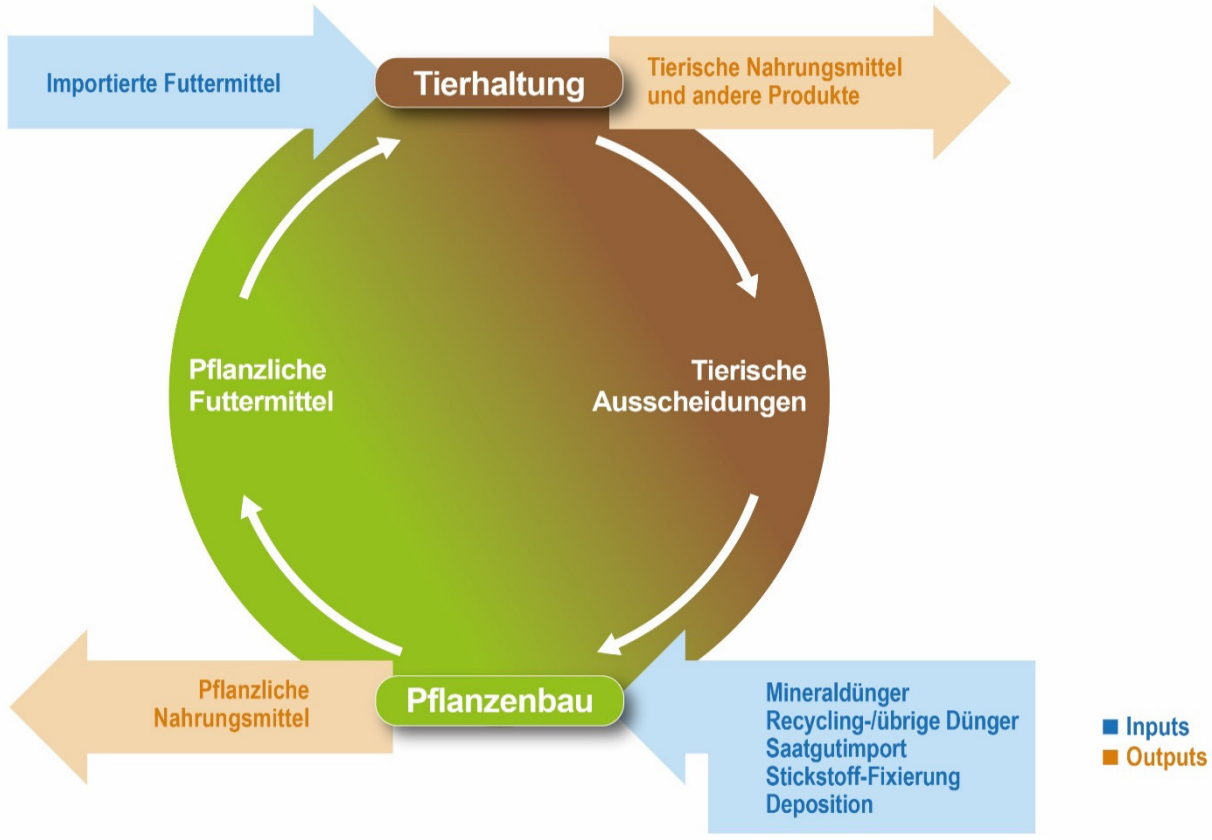

Abbildung 1: Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft mit Pflanzenbau und Tierhaltung (in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Grössen (lachsfarben).

Die Para-Landwirtschaft (Gärten von privaten und öffentlichen Gebäuden, Grünflächen entlang von Strassen und Bahnlinien, Park- und offene Sportanlagen etc.) gehört nicht zur Landwirtschaft. Sie wurden deshalb nicht in die

Berechnungen einbezogen - im Gegensatz zu einer früheren Studie (Braun *et al.* 1994), die als Grundlage für die vorliegende Arbeit diente.

Abbildung 2: Prinzip der Input-Output-Bilanz nach der in OSPAR (1995) beschriebenen Methode.

2.2 Ausgangsdaten und Berechnungsmethode

Die Nährstoffmengen wurden in den meisten Fällen durch Multiplikation der einzelnen Produktmengen mit dem jeweiligen Nährstoffgehalt berechnet. Die Mengenangaben stammten grösstenteils vom Schweizerischen Bauernverband (agristat 2024a, 2024b und 2024c). Die Werte für das letzte Erhebungsjahr sind oftmals provisorisch und müssen zum Teil im Folgejahr berichtigt werden. In einigen Fällen drängt sich auch die Korrektur der Mengenangaben für weiter zurückliegende Jahre auf. Die Nährstoffgehalte wurden vor allem der Schweizerischen Futtermitteldatenbank feedbase (Agroscope 2023; Boltshauser *et al.* 2012) entnommen.

Auch bei den in die Schweiz **importierten Futtermitteln** wurde die Nährstoffmenge für die meisten Produkte über die Menge und die entsprechenden Nährstoffgehalte berechnet. Die Menge der anorganischen Futterphosphate wurde dagegen aufgrund der Erhebungen von Swiss-Impex (BAZG 2024) geschätzt.

Die Nährstoffmenge in den **Mineraldüngern** wurde von der Agricura Genossenschaft (Agricura 2024) erhoben; diejenigen in den **Recycling- und übrigen Düngern** wurde grösstenteils aufgrund von verschiedenen Quellen (z.B. Schleiss 2017) berechnet. Aufgrund von früheren Abschätzungen von Agroscope wurde davon ausgegangen, dass 3% des Mineraldüngers, rund ein Drittel des Komposts und je nach Nährstoff und Jahr 20 - 40% der restlichen Dünger in der Para-Landwirtschaft eingesetzt wurden; diese wurden deshalb hier nicht einbezogen.

Für das Grasland wurde die **biologische Stickstoff-Fixierung** berechnet, indem die Fläche der Natur- und der Kunstwiesen (umgerechnet auf einen Standard-Ertrag von 130 dt Trockensubstanz (TS) pro Hektare) mit dem Kleeanteil (in %), dem Faktor 4,15 kg N/ha sowie einem Faktor 1,4 multipliziert wurde (Braun *et al.* 1994). Für Naturwiesen wurde ein Kleeanteil von 10% und für Kunstwiesen ein solcher von 30% angenommen. Nach Boller und Nösberger (1987) werden bei TS-Erträgen von 100 - 160 dt/ha (Mittel: 130 dt/ha) pro Prozent Kleeanteil 3,70 - 4,59 kg N/ha (Mittel: 4,15 kg N/ha) fixiert und von den oberirdischen Pflanzenteilen aufgenommen. Die Multiplikation mit dem Faktor 1,4 erfolgte, weil nicht der gesamte von den Pflanzen fixierte Stickstoff mit dem Erntegut weggeführt wird. Ein Teil des fixierten Stickstoffes gelangt durch absterbende Kleeteile in den Bodenvorrat (Boller 1988). Bei den Ackerleguminosen wurde die Stickstoff-Fixierung auf 200 kg N/ha geschätzt, bei den Obst-Intensivkulturen auf 15 kg N/ha und beim Rebland auf 10 kg N/ha.

Mit Regen und Staub gelangt Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium auf den Boden. Gasförmig werden Ammoniak (NH_3), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO_2) deponiert. Die N-**Deposition** auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche aus Quellen von ausserhalb der schweizerischen Landwirtschaft wurde von der Firma Meteotest (Rihm 2023) mit Hilfe von Modelldaten geschätzt. Im Gegensatz zu früheren Studien (Braun *et al.*

1994, Spiess 1999 und 2011) wurde bei der Deposition nur noch derjenige Stickstoff berücksichtigt, der ausserhalb der schweizerischen Landwirtschaft emittiert worden ist, denn die Verflüchtigung von Ammoniak auf Bauernhöfen und landwirtschaftlichen Parzellen in der Schweiz mit anschliessender Deposition auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist letztlich ein landwirtschaftsinterner N-Fluss; dieser stellt somit keinen eigentlichen N-Input in die Landwirtschaft dar. Mit der zusätzlichen Modellierung von Rihm (2023) wurde dieser Fluss aus der gesamten N-Deposition (Rihm und Künzle 2023) herausgerechnet, wobei die Methodik gegenüber Rihm (2020) leicht modifiziert wurde. Durch dieses Herausrechnen verringerte sich der Bilanzüberschuss gegenüber früheren Studien um über 10'000 t N (Spiess und Liebisch 2020). Auf die Höhe der gesamten landwirtschaftlichen N-Verluste in die Luft und die Gewässer, die nicht Gegenstand dieser Studie waren, hat die Neuberechnung jedoch keine Auswirkungen. Bei Phosphor wurden auch die landwirtschaftsinternen Flüsse aus der gesamten Deposition herausgerechnet. Für das Jahr 2000 wurde eine Netto-Deposition von 0.15 kg P/ha angenommen. Die Werte für die anderen Jahre wurden mit Hilfe der Staubemissionen der Schweiz (TSP = total suspended particles; EMEP/CEIP 2022) nach Abzug der landwirtschaftsbedingten Emissionen linear extrapoliert.

Die Nährstoffmenge in den **tierischen und pflanzlichen Produkten** wird indirekt berechnet. Die Menge in den tierischen Nahrungsmitteln (Konsummilch, Käse, Butter, Fleisch, Eier etc.) und den anderen Produkten (Tierhäute, Tiermehl, Futter für Haustiere etc.) ergab sich, indem die tierischen Futtermittel (Milch für die Aufzucht, Mager- und Buttermilch, Schotte etc.) von der gesamten Produktion an Milch, Schlachtvieh, Geflügel und Eiern abgezogen und dann die in die Para-Landwirtschaft exportierten Hofdünger hinzuaddiert wurden. Die Schlachtvieh- und Geflügelproduktion (ausgedrückt in Lebendgewicht) wurde für jede Tierkategorie über die Fleischmenge (ausgedrückt in Schlachtgewicht; agristat 2024a) und die jeweilige durchschnittliche Schlachtausbeute berechnet. Bei den pflanzlichen Nahrungsmitteln (Brotgetreide, Speisekartoffeln, Obst, Gemüse etc.) wurde die Nährstoffmenge über die Differenz zwischen der gesamten pflanzlichen Produktion einerseits und den pflanzlichen Futtermitteln (Raufutter, Futtergetreide inkl. deklassiertes Brotgetreide, Futterkartoffeln, Zuckerrübenschnitzel, Rapsextraktionsschrot etc.) sowie dem im Inland produzierten Saatgut andererseits ermittelt.

2.3 Zusätzliche Berechnungen

Zur Ergänzung der Input-Output-Bilanz wurden zusätzlich auch landwirtschaftsinterne Flüsse berechnet: Die im Inland erzeugten pflanzlichen Futtermittel und die tierischen Ausscheidungen wurden nicht direkt für die Bilanz benötigt, dienten jedoch zu deren Überprüfung. Eine solche Kontrolle wird von OSPAR (1995) und in einer ähnlichen Weise auch von Eurostat (2013) für die OECD-Bilanz empfohlen. Im Weiteren wurden auch die tierischen Futtermittel (Milch für die Aufzucht, Schotte etc.), die Fütterungs- und Ernteverluste, das Stroh sowie das im Inland erzeugte Saatgut berechnet.

Die Ermittlung der Nährstoffmenge im **Grundfutter** erwies sich als schwierig, weil der durchschnittliche Wiesenertrag und die Höhe der gesamten Grundfutterproduktion unbekannt sind. Da aber die Wiesen in der Schweiz rund 70% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmachen, haben sie einen grossen Einfluss auf die Höhe der im Kreislauf der Landwirtschaft umgesetzten Nährstoffmengen. Um den Fehler möglichst klein zu halten, wurde die Grundfutterproduktion deshalb über den TS-Verzehr der Raufutter verzehrenden Tiere geschätzt, indem die Anzahl Tiere der verschiedenen Tierkategorien mit dem Richtwert für den TS-Verzehr (Tab. 1) multipliziert wurde (nach Spiess 1989). Während bei optimaler Fütterung der Anteil der aus dem Grundfutter produzierten Milch etwa 90% der gesamten Milchmenge beträgt, wurde in unseren Berechnungen angenommen, dass dieser Wert in der Praxis nicht erreicht wird und dass der Anteil nur 80% beträgt. Aus diesem Grund wurde der Richtwert der GRUD (2017) für den TS-Verzehr der Milchkühe um 11% reduziert. Beim Silomais wurde bei einem Ausgangswert des Brutto-Ertrags von 155 dt TS/ha im Jahr 1990 mit einer jährlichen Zunahme von 1 dt TS/ha gerechnet. Weiter wurde angenommen, dass der Ertrag der Kunstwiesen 20% höher ist als derjenige der intensiven Naturwiesen. Für den Zwischenfutterbau, die Sömmerungsweiden und andere Grundfutterarten wie die Futterrüben oder das Rübenlaub waren wenig zuverlässige Daten vorhanden; deshalb wurden diese Kulturen ins Wiesenfutter integriert. Die **Ernteverluste** wurden auf 15% des Bruttoertrages der Wiesen und auf 2% beim Silomais geschätzt. Für die **Fütterungsverluste** wurden bei den Wiesen und beim Silomais 5% des Feldertrages (= Brutto-Ertrag minus Ernteverluste) eingesetzt. Bei den

Ernterückständen wurde die Strohmenge über das Verhältnis von Kornertrag zu Strohertrag der Düngungsgrundlagen (GRUD 2017) berechnet.

Die in den **tierischen Ausscheidungen** (Kot und Harn) enthaltene Nährstoffmenge wurde berechnet, indem die Nährstoffmenge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen Produkten von derjenigen in den inländischen pflanzlichen und den aus dem Ausland importierten Futtermitteln abgezogen wurde (Bilanz-Methode; Tab. 2). Es wurde angenommen, dass 2% des Hofdüngers in der Para-Landwirtschaft eingesetzt werden.

Tabelle 1: Werte für den TS-Verzehr der Raufutterverzehrer und den Nährstoffanfall in Kot und Harn pro Tierkategorie (nach GRUD 2017).

Tierkategorie	TS-Verzehr	Nährstoffanfall	
	dt/Jahr	kg N/Jahr	kg P/Jahr
Milchkühe [1)]	56	112	17
Mutterkühe	45	85	12
Mastkälber	1	18	3,1
Mutterkuhkälber	3,5	15,5	2,25
Grossviehmast bis ½ Jahr	6	23	2,2
Grossviehmast über ½ Jahr	21	49	5,7
Aufzuchtrinder bis 1 Jahr	11	25	3,3
Aufzuchtrinder 1 - 2 Jahre	22	40	5,7
Aufzuchtrinder über 2 Jahre	33	55	8,7
Zuchtstuten	29	52	13
Zuchthengste	29	44	10
Fohlen bis 4 Jahre	26	42	8
Gebrauchspferde über 4 Jahre	29	44	10
Maultiere und Esel [2)]	17	25	5,7
Ponies [2)]	10	16	3,5
Mutterschafe [3)]	8	18	2,6
Milchziegen [3)]	7,5	17	2,5
Mastschweine [4)]		13	2,3
Mutterschweine [5)]		44	9,2
Zuchteber [2)]		18	4,4
Legetierküken und Junghennen		0,3	0,074
Lege- und Zuchthennen, Zuchthähne		0,80	0,20
Mastpoulets		0,36	0,06
Gänse, Enten und Truten		1,40	0,31

1) Annahme für eine mittlere Milchleistung von 7500 kg/Jahr. Je 1000 kg geringerer Leistung verringern sich die Ausscheidungen um 5% N bzw. 7% P und der Grundfutterverzehr um 1,5%; je 1000 kg höherer Leistung erhöhen sich die Ausscheidungen und der Grundfutterverzehr im gleichen Verhältnis.

2) über DGVE-Faktor berechnet

3) Muttertier inkl. Remontierung von Zuchttieren, Ausmast der übrigen Jungtiere und Anteil Bock

4) Mastschwein von 25-100 kg Lebendgewicht

5) Zuchtschwein inkl. Ferkel bis 25 kg Lebendgewicht

Tabelle 2: Berechnung des Nährstoffanfalls in Kot und Harn im Jahr 2022 (in t).

		N	P
+	Nährstoffmenge in den importierten Futtermitteln	52'158	9'671
+	Nährstoffmenge in den inländischen pflanzlichen Futtermitteln	124'979	19'609
-	Nährstoffmenge in den tierischen Nahrungsmitteln und anderen tierischen Produkten	- 39'052	- 7'589
=	Nährstoffmenge im ausgeschiedenen Kot und Harn	138'085	21'691

2.4 Genauigkeit der Berechnungen

Die Genauigkeit der Ergebnisse ist nicht leicht zu beurteilen, weil die verschiedenen Mengen und Nährstoffgehalte, die in die Berechnungen einfliessen, mit einem schwer abzuschätzenden Fehler behaftet sind. Bei den Mineraldüngern dürfte der angenommene Wert nur um etwa 2% vom wahren Wert abweichen. Dagegen ist die Berechnung der biologischen Stickstoff-Fixierung oder der Deposition, die mengenmässig bedeutsam sind, im Vergleich mit den anderen Input- und Output-Grössen mit den grössten Unsicherheiten behaftet (ca. ± 10-30%). Der Fehler beim Endergebnis, dem Nährstoffüberschuss, dürfte jedoch geringer als ± 20% ausfallen (Spiess 2011). Einerseits kann für einzelne Bereiche (z.B. die gesamte Tierhaltung oder die Rapsproduktion) eine Kontrollrechnung durchgeführt werden. Andererseits heben sich viele Fehler gegenseitig auf. Wird beispielsweise mit einer zu grossen Grundfutterproduktion gerechnet, fällt infolge der Bilanzrechnung auch der Hofdüngeranfall höher aus, jedoch nicht der Nährstoffüberschuss. Der höhere Nährstoffentzug durch das Grundfutter wird durch den ebenfalls höheren Nährstoffanfall in Kot und Harn kompensiert.

Die Veränderung des Nährstoffüberschusses im Laufe der Jahre kann präziser geschätzt werden als die absolute Höhe des Überschusses in einem einzelnen Jahr, weil für die gesamte Untersuchungsperiode mit der gleichen Methode gerechnet wird und sich hier systematische Abweichungen weniger stark auswirken. Wird z.B. die N-Deposition für 2020 zu hoch geschätzt, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sie auch in den vorhergegangenen Jahren überschätzt worden ist. Für die Betrachtung eines relativen Reduktionsziels (z.B. -157% bis 2030) ist deshalb die Ungenauigkeit durch systematische Fehler weniger relevant. Die Varianz anderer Variablen (z.B. Nährstoffgehalt von Produkten) kann hingegen durchaus zu relevanten Unterschieden führen, lässt sich aber aufgrund fehlender Daten für die einzelnen Jahre nicht reduzieren.

2.5 Darstellung der Resultate

Da einige Input- und Output-Grössen der Nährstoffbilanz grossen Jahresschwankungen unterliegen, werden die Resultate nicht als einzelne Jahreswerte, sondern wie für die Referenzperiode (2014/16) als 3-Jahresmittel dargestellt. Für Zeitreihen werden oft gleitende 3-Jahresmittel verwendet, wobei der letzte Wert zurzeit das Mittel der Jahre 2020-22 darstellt.

3 Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf im Mittel der Jahre 2020-22

3.1 Stickstoff

In der schweizerischen Landwirtschaft werden grosse N-Mengen umgesetzt. Im Mittel der Jahre 2020-22 gelangten rund 140'000 t N in den Kreislauf (Tab. 3). Die importierten Futtermittel wiesen mit 36% und die Mineraldünger mit 30% die höchsten Anteile am gesamten Input auf. Der Anteil der Stickstoff-Fixierung der Leguminosen lag bei 24% und derjenige der Deposition bei 8%, während die Recycling- und die übrigen Dünger sowie das importierte Saatgut zusammen nur 2% ausmachten. Über den Output verliessen fast 51'000 t N wieder die Landwirtschaft, was etwas mehr als einem Drittel des Inputs entsprach. Die N-Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen tierischen Produkten war vier Mal so gross wie diejenige in den pflanzlichen Nahrungsmitteln. Der N-Überschuss betrug etwas mehr als 88'000 t. Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche von 1'042'700 ha im Mittel der Jahre 2020-22 machte dies 86 kg N/ha aus. Es muss angenommen werden, dass diese Menge der Landwirtschaft grösstenteils über die Ammoniakverflüchtigung, die Denitrifikation und die Nitratauswaschung verlorenging, weil eine starke Anreicherung von Stickstoff im Boden ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 3: Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2020-22 (in t und in % des gesamten Inputs).

	Stickstoff		Phosphor	
	t N	%	t P	%
Input	**140'558**	***100***	**14'216**	***100***
Importierte Futtermittel	49'700	*36*	9'291	*65*
Mineraldünger	42'236	*30*	3'797	*27*
Recycling- und übrige Dünger	2'767	*2*	933	*7*
Importiertes Saatgut	339	*0*	55	*0*
Stickstoff-Fixierung der Leguminosen	34'321	*24*		
Deposition über die Luft	11'195	*8*	140	*1*
Output	**50'888**	***36***	**9'345**	***66***
Tierische Nahrungsmittel und andere tierische Produkte	41'776	*30*	8'014	*56*
Pflanzliche Nahrungsmittel	9'112	*6*	1'331	*10*
Überschuss	**89'670**	***64***	**4'871**	***34***

Der Stickstoffkreislauf für die schweizerische Landwirtschaft zeigt die landwirtschaftsinternen Stoffflüsse sowie zusätzlich die verschiedenen Input- und Output-Grössen. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die N-Mengen in den in der Schweiz produzierten pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen in den Jahren 2020-22 in der gleichen Grössenordnung lagen. Über die importierten Futtermittel gelangte mehr Stickstoff in die Landwirtschaft, als über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte exportiert wurde. Von der gesamten Milch- und Fleischproduktion gingen gegen 90% des Stickstoffs in die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte (z.B. Tiermehl). Der Rest war in den tierischen Futtermitteln (Milch für die Aufzucht, Schotte etc.) enthalten. Im Pflanzenbau überstiegen die Düngung (tierische Ausscheidungen, Mineral-, Recycling- und übrige Dünger), die Deposition und die Stickstoff-Fixierung zusammen den Entzug durch die pflanzlichen Futter- und Nahrungsmittel um zwei Drittel. Über 90% des Stickstoffs in den pflanzlichen Produkten waren in Futtermitteln enthalten. Die N-Menge in den pflanzlichen Nahrungsmitteln war entsprechend gering. Der grösste Teil des Stickstoffs stammte hier vom Brotgetreide. Bei diesem gelangten im langjährigen Durchschnitt etwa zwei Drittel des Stickstoffs mit den Körnern in die menschliche Ernährung. Der andere Teil wurde verfüttert (deklassiertes Brotgetreide und Müllereiabfälle wie Kleie) oder als Saatgut verwendet. Vom Stickstoff in den Kartoffeln gelangte im

Mittel ein Viertel in die Fütterung oder ins Pflanzgut. Beim Raps verliessen nur geringe N-Mengen die Landwirtschaft, weil Öl praktisch kein Protein und damit keinen Stickstoff enthält. Der Stickstoff in den Rapskörnern kommt fast vollständig über den Rapskuchen in die Landwirtschaft zurück.

N-Mengen, die gesamthaft in der gleichen Grössenordnung lagen wie diejenigen der biologischen Stickstoff-Fixierung, zirkulierten innerhalb der Landwirtschaft via Ernte- und Fütterungsverluste, Stroh sowie inländisches Saatgut. Von den 32'000 t N, die in diesen Produkten enthalten waren, gelangte der grösste Teil in organischer Form in den Boden. Die tierischen Futtermittel waren mit rund 6'000 t N eher unbedeutend.

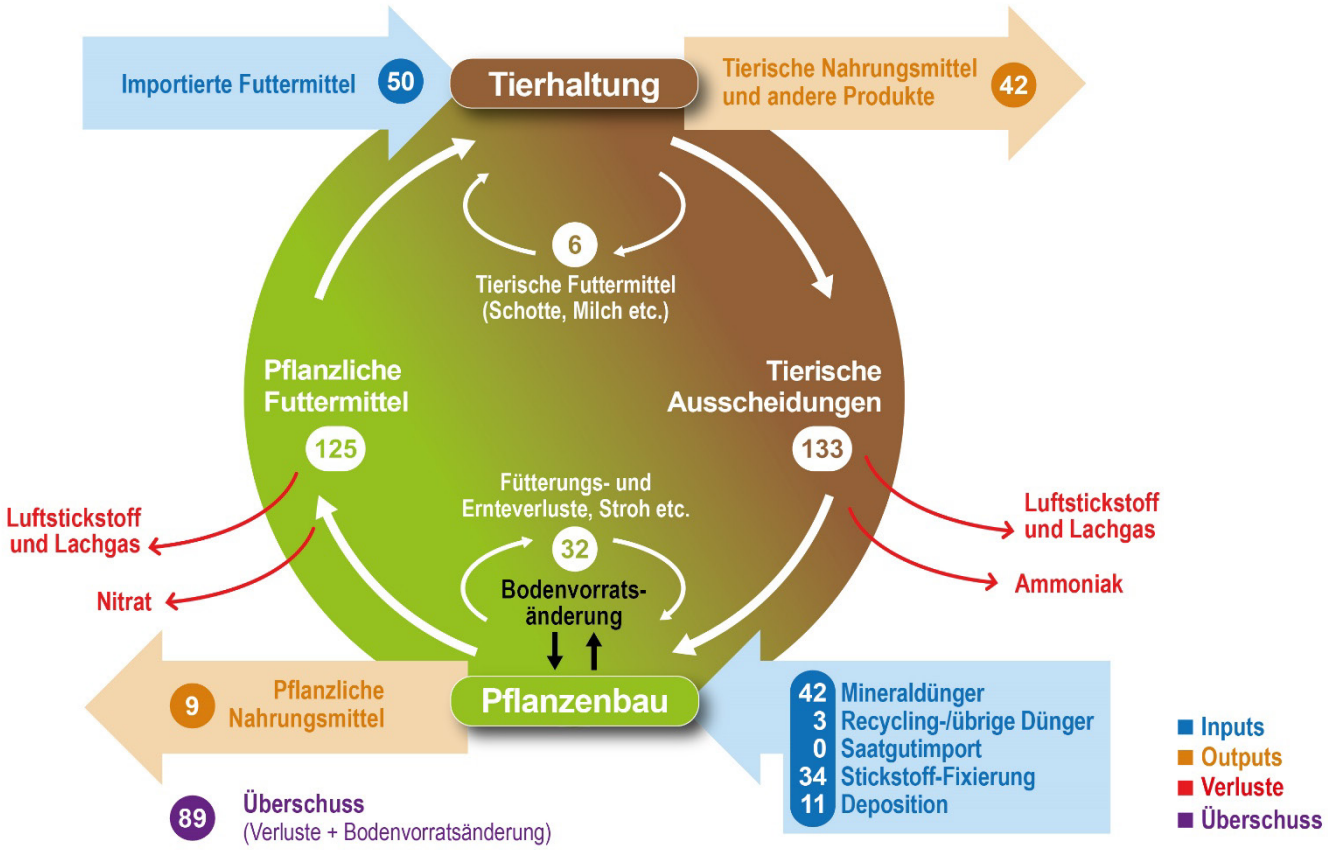

Abbildung 3: Stickstoffkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2020-22 (in 1000 t N; in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Grössen (lachsfarben) sowie dem Überschuss (violett).

3.2 Phosphor

Der gesamthafte Input in die Landwirtschaft betrug in den Jahren 2020-22 etwas über 14'000 t P (Tab. 3). Wie beim Stickstoff wiesen die importierten Futtermittel mit 65% den grössten Anteil am gesamten Input auf. 27% des P-Inputs gelangten über die Mineraldünger und 7% über die Recycling- und die übrigen Dünger in den landwirtschaftlichen Kreislauf. Die über die Deposition auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche abgelagerte Menge ist im Vergleich zum Stickstoff sehr gering. Der Output entsprach mit rund 9'300 t P zwei Dritteln des Inputs. Der Überschuss von fast 4'900 t wurde beim Phosphor zum grössten Teil im Boden angereichert. Der Rest gelangte vor allem über die Abschwemmung, die Auswaschung sowie die Bodenerosion in die Gewässer. Mit über 4 kg P/ha LN war der Überschuss immer noch hoch, lag aber weit unter dem P-Bedarf vieler landwirtschaftlichen Kulturen.

Der Phosphorkreislauf (Abb. 4) weist eine Ähnlichkeit mit dem Stickstoffkreislauf auf, denn in den pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen zirkulierte eine grosse Nährstoffmenge, die in beiden Flüssen ähnlich hoch ausfiel (rund 20'000 t P). Über die importierten Futtermittel gelangte leicht mehr Phosphor in den Kreislauf, als über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte weggeführt wurde. Während bei der produzierten Milch etwa zwei Drittel des Phosphors die Landwirtschaft über die Nahrungsmittel verliessen, betrug dieser Anteil in der Fleischproduktion sogar 100%, weil sämtliche Nebenprodukte wie Tiermehl, die früher in die Fütterung gelangten, heute aus der Landwirtschaft exportiert werden. Im Pflanzenbau überstieg die P-Zufuhr über alle Düngemittel den Nährstoffentzug über die Futter- und Nahrungsmittel um rund ein Fünftel. Über 90% des Phosphors in pflanzlichen Produkten waren in den Futtermitteln enthalten. Im Vergleich zum Stickstoff fällt beim Phosphor der Überschuss im Verhältnis zu den innerlandwirtschaftlichen Nährstoffflüssen geringer aus.

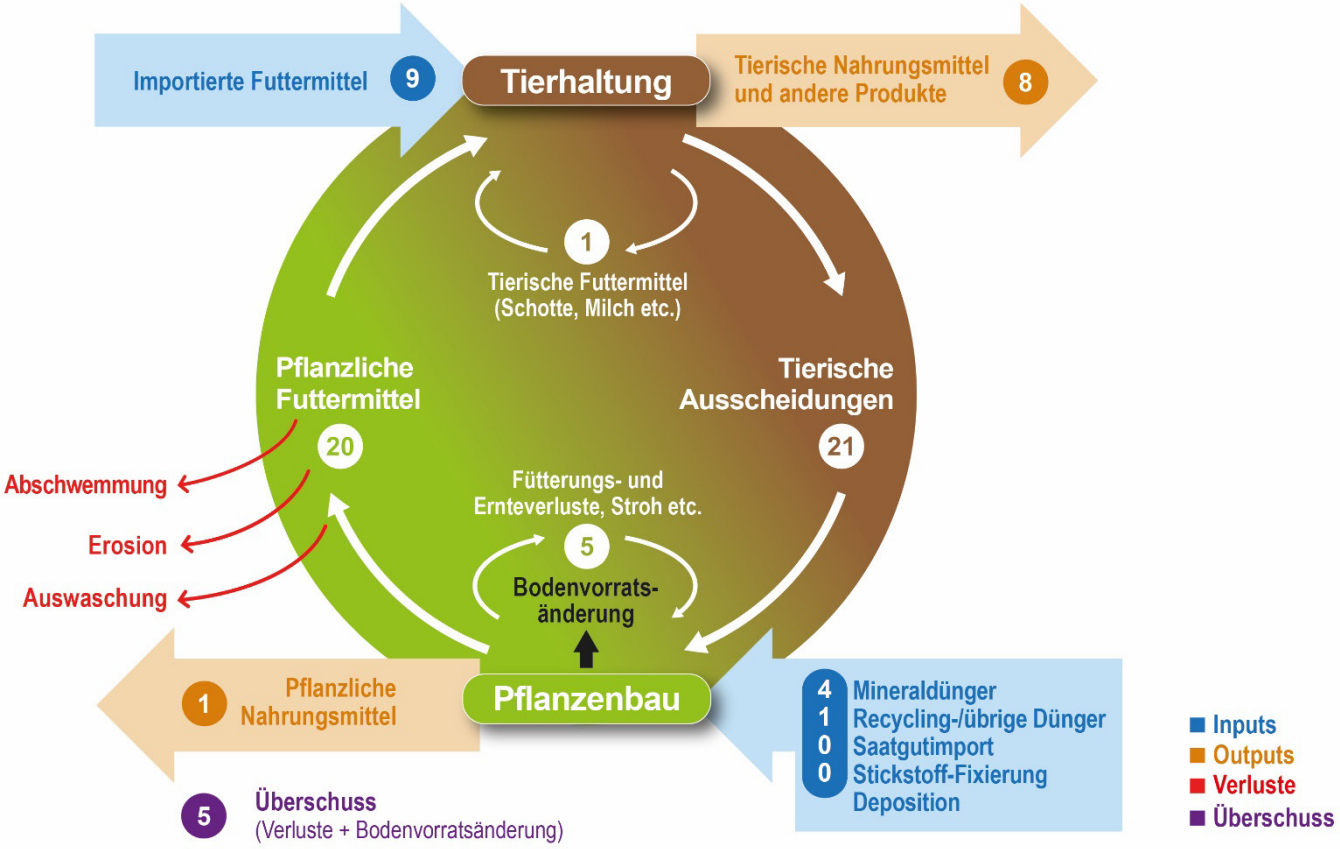

Abbildung 4: Phosphorkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2020-22 (in 1000 t P; in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Grössen (lachsfarben) sowie dem Überschuss (violett).

4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2022

4.1 Stickstoff

Input:

Die **importierten Futtermittel** als zurzeit wichtigste Input-Grösse erfuhren ab 1976/78 eine starke Abnahme und waren Mitte der 1990er Jahre noch halb so hoch wie 20 Jahre zuvor (Abb. 5). Einerseits nahm der gesamte Futterbedarf infolge der sinkenden Tierzahlen und der niedrigeren N-Gehalten im Schweinefutter ab. Letztere wiederum waren eine Folge der Reduktion des Bedarfs in den offiziellen Fütterungsempfehlungen. Andererseits wurde ausländisches Futtergetreide vermehrt durch inländische Produkte ersetzt. Ab Ende der 1990er Jahre nahmen jedoch die Importe von Futtermitteln, insbesondere von Sojaextraktionsschrot, wiederum so stark zu, dass sie in den 2010er Jahren sogar höher waren als zu Beginn der Untersuchungsperiode. Es wurden mehr Legehennen und Mastpoulets gehalten und der Kraftfutterbedarf der Milchkühe nahm infolge der bis 2010 stark steigenden Milchleistungen zu. Letztere Entwicklung war in den 2000er Jahren besonders ausgeprägt, weil die Aufhebung der Milchkontingentierung und die Senkung der Zollansätze für Futtermittel die Intensivierung der Milchproduktion verstärkten (Erdin und Giuliani 2011; Giuliani 2022). Den Nutztieren stand jedoch immer weniger im Inland produziertes Kraftfutter zur Verfügung, denn die Senkung der Zollansätze führte nicht nur zu billigerem Kraftfutter, sondern auch zu einem Rückgang der inländischen Produzentenpreise und somit zu einer Abnahme der Anbaufläche von Futtergetreide. Als Folge der BSE-Krise wurden zudem die Verfütterung von Tiermehl ab 1990 immer stärker eingeschränkt und im Jahr 2001 vollständig verboten (Bracher 2019) und die Verfütterung von Fleischsuppe ab 2011 untersagt; damit ist der Einsatz von inländischen Schlachtnebenprodukten in der Fütterung nun vollständig unterbunden. Der Anstieg der Futtermittelimporte wurde in den 2010er Jahre durch die leicht rückläufige Milchproduktion (agristat, 2024a) gebremst. Während die Anzahl Milchkühe weiter abnahm, verharrte die Milchleistung auf gleichem Niveau (Obrist 2020). Letzteres könnte unter anderem auch eine Folge der finanziellen Unterstützung der graslandbasierten Milch- und Fleischproduktion (GMF) durch das BLW sein, denn dieses Programm begrenzt den auf die Trockensubstanz bezogenen Anteil von Kraftfutter an der Jahresration der gehaltenen raufutterverzehrenden Nutztiere auf 10%, was zu einem Rückgang des Kraftfuttereinsatzes geführt hat (Mack et al. 2017). Die Geflügelproduktion nahm in den 2010er Jahren weiterhin zu, dagegen wurde bei der Schweineproduktion ein Rückgang beobachtet (agristat, 2024a). Zwischen den Referenzjahren 2014/16 und 2020/22 hat sich die Menge an importierten Futtermitteln nicht wesentlich verändert.

Der **Mineraldüngereinsatz** erfuhr eine starke Zunahme zwischen 1975/77 und 1987/89 von 43'000 auf 69'000 t N und nahm bis 1997/99 wieder um 18'000 t N ab, wobei der Rückgang vor allem nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 hoch war. Nach einer Periode auf einem Niveau von rund 50'000 t N nahm der Mineraldüngerverbrauch in den 2010er Jahren wieder stärker ab. Die Abnahme zwischen 2009/11 und 2020/22 betrug 7'000 t N und hatte diverse Ursachen. Die landwirtschaftliche Nutzfläche nahm während dieser Zeit um weitere 10'000 ha ab. Im Futterbau wurden gegen 50'000 ha intensiv und mittelintensiv genutztes Grasland in extensive Wiesen und Weiden umgewandelt. Dies führte auch bei der düngbaren Fläche zu einem starken Rückgang. Der Biolandbau erfuhr eine starke Ausdehnung, wobei die biologisch bewirtschaftete Nutzfläche um über 60% vergrössert und die offene Ackerfläche auf das Dreifache ausgedehnt wurde. Ob auch die emissionsarme Ausbringung der Hofdünger zu einem geringeren Mineraldüngerverbrauch geführt hat, kann mit den vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. Nach Erhebungen von Kupper *et al.* (2022) nahm der Anteil der Gülle, die mit emissionsarmen Verfahren (Schleppschlauch, Schleppschuh, Gülledrill) ausgebracht wurde, zwischen 2010 und 2015 von 26% auf 38% zu und stieg bis 2019 nicht weiter an. Dagegen zeigt die Statistik der Ressourceneffizienzbeiträge (BLW 2023), dass sich die Beitragsfläche mit emissionsmindernden Ausbringverfahren zwischen 2015 und 2020 mehr als verdoppelt hat. Auffallend beim Mineraldüngerverbrauch ist der seit etwa 10 Jahren sinkende Trend. Allerdings wird dieser von Jahresschwankungen überlagert, die zum Teil bedeutend stärker ausfielen als in früheren Jahrzehnten. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass in den letzten Jahren teilweise grosse Preisschwankungen aufgetreten sind und dass die Landwirtschafsbetriebe sensibler auf diese reagieren. Die

Entwicklung seit 2014/16 zeigt, dass der Mineraldüngerverbrauch insbesondere in den Jahren 2019, 2020 und 2022 weit unter dem Durchschnitt des letzten Jahrzehnts lag.

Der Einsatz der **Recycling- und der übrigen Dünger** stieg bis Ende der 1990er Jahre an und nahm anschliessend infolge des Ausbringungsverbots von Klärschlamm ab. Nach 2008/10 blieb er auf einem geringen Niveau konstant. Die N-Mengen im **importierten Saatgut** (nicht abgebildet) waren immer sehr gering.

Die **biologische Stickstoff-Fixierung** ist bedeutend für die Landwirtschaft; sie nahm aber über die letzten 45 Jahren wegen der Extensivierung im Futterbau gesamthaft um über 7'000 t N ab. Nach einer längeren Periode mit konstanten Werten ab 1999/2001 ist sie seit einigen Jahren wieder rückläufig, weil der Raufutterbedarf infolge der sinkenden Bestände der Raufutterverzehrer abnimmt.

Die **Deposition** von Stickstoff aus Quellen ausserhalb der schweizerischen Landwirtschaft erreichte 1980/82 mit 20'000 t N ihren höchsten Wert. Seitdem geht sie hauptsächlich zurück, weil die Stickoxidemissionen von Verkehr und Industrie abnehmen (FOEN 2019).

Der **gesamte N-Input** in die Landwirtschaft stieg bis 1979/81 an, nahm danach bis Ende der 1990er Jahre ab und ist nach einem erneuten Anstieg seit wenigen Jahren wieder rückläufig (Abb. 6). Die Entwicklung seit 2014/16 ist geprägt von einem Rückgang, der auf Abnahmen bei den importierten Futtermitteln, den Mineraldüngern sowie in einem kleineren Ausmass auch bei der biologischen Stickstoff-Fixierung zurückgeführt werden kann.

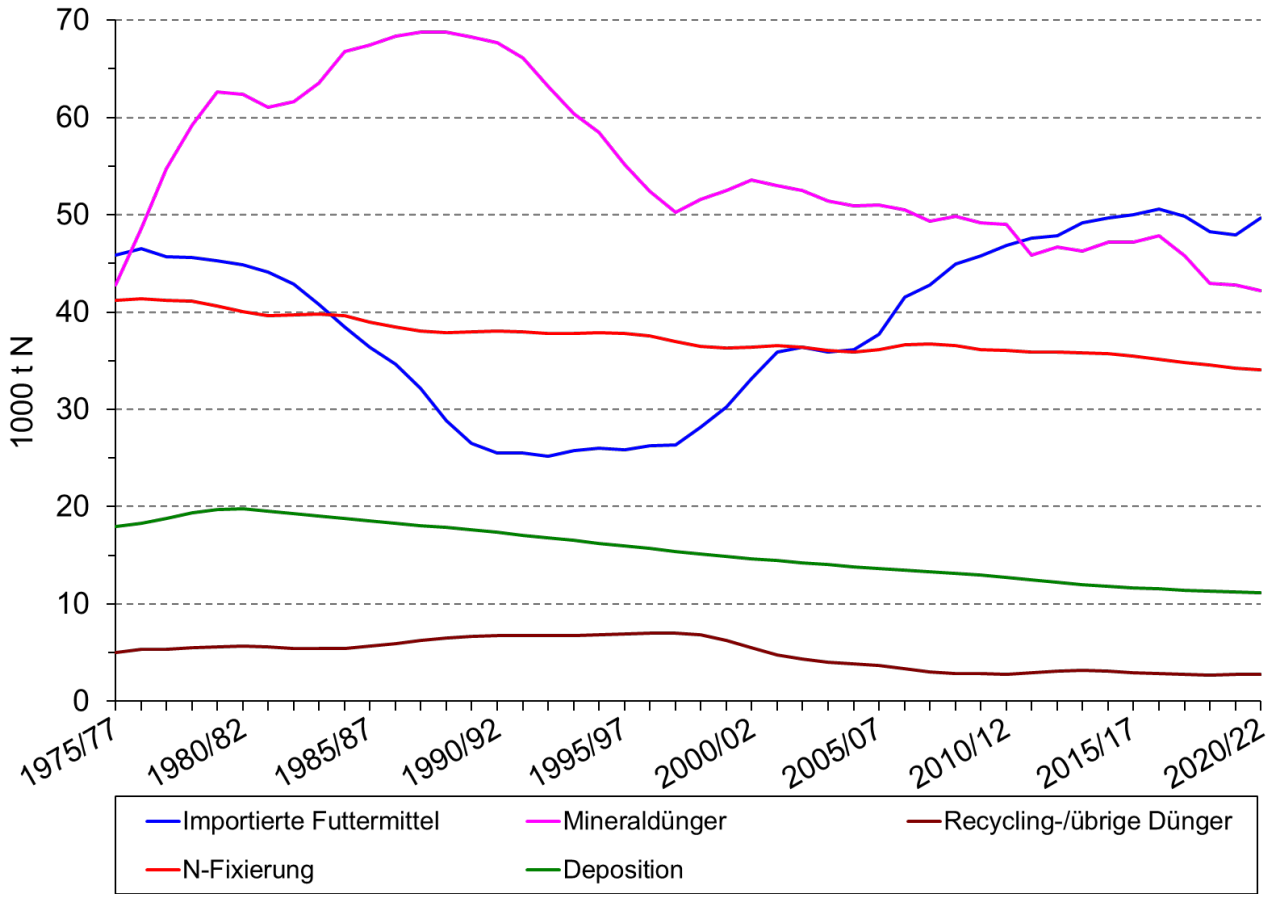

Abbildung 5: Stickstoffmengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975/77 und 2020/22.

Output:

Beim Output fällt auf, dass die N-Menge in den **tierischen Nahrungsmitteln und den anderen Produkten** bis Mitte der 1990er Jahre ziemlich konstant war und anschliessend kontinuierlich anstieg (Abb. 6). Zu dieser Zunahme trug wahrscheinlich die BSE-Krise am meisten bei, weil infolge des Fütterungsverbots nun beinahe sämtliche Schlachtabfälle aus der Landwirtschaft exportiert werden. Die verkauften Milchprodukte stiegen während vieler Jahrzehnte an, wobei die Zunahme anfangs der 2000er Jahre am höchsten war. Seit 2014/16 gehen sie nun wieder

leicht zurück. In der Fleischproduktion war beim Geflügel eine beträchtliche Zunahme zu verzeichnen, die im letzten Jahrzehnt besonders ausgeprägt war. Dagegen ging die Produktion von Rind- und Schweinefleisch tendenziell leicht zurück. Die Eierproduktion nimmt seit über zwei Jahrzehnten kontinuierlich zu. Der N-Export über die **pflanzlichen Produkte** schwankte stark von Jahr zu Jahr, nahm aber über die gesamte Untersuchungsperiode vor allem infolge der steigenden Weizenfläche und der ertragreicheren Sorten zu. Der **gesamte N-Output** ist seit 2014/16 konstant geblieben.

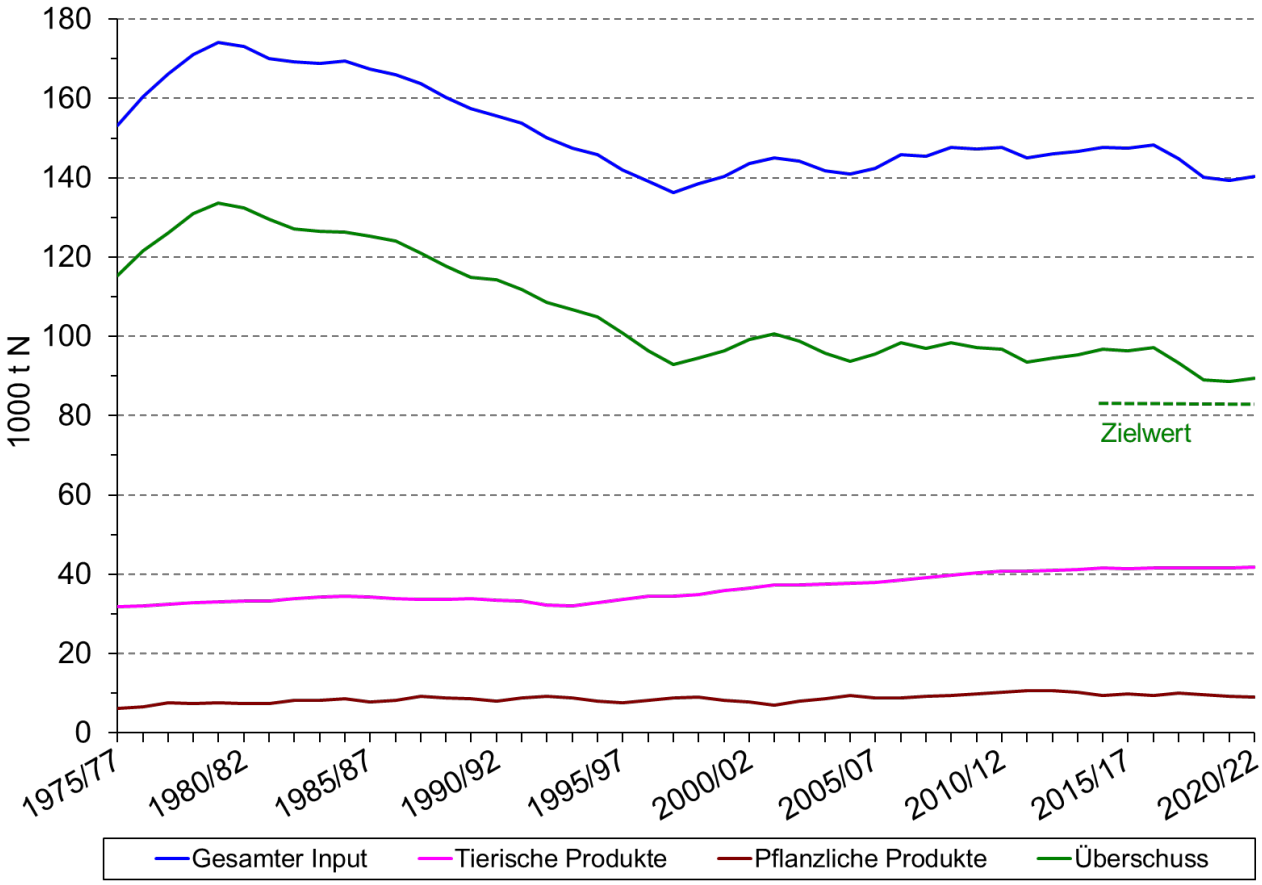

Abbildung 6: Stickstoffmengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) und im Überschuss zwischen 1975/77 und 2020/22 sowie Zielwert einer Reduktion von 15% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).

Bilanzsaldo:

Der N-Überschuss stieg in den ersten fünf Jahren der untersuchten Periode stark an, erreichte 1979/81 mit gegen 134'000 t N seinen Höhepunkt und nahm anschliessend bis Ende der 1990er Jahre kontinuierlich ab (Abb. 6 und A1). Über zwanzig Jahr lang verharrte er dann in einem Bereich von 93'000 bis 101'000 t N und nahm anschliessend wiederum etwas stärker ab.

Der Rückgang in den 1980er und 1990er Jahren hatte vor allem zwei Ursachen: Einerseits ging der Mineraldüngereinsatz in diesen Jahren um über 10'000 t N zurück, andererseits nahmen die importierten Futtermittel um 20'000 t N ab. Die letzten zwei Jahrzehnte waren von einem starken Anstieg der Futtermittelimporte geprägt, der einerseits durch Rückgänge bei der Deposition, den Recyclingdüngern sowie der biologischen Stickstoff-Fixierung und andererseits durch höhere Exporte von Nahrungsmitteln und anderen Produkten (insbesondere Tiermehl) kompensiert wurden. Der Mineraldüngereinsatz blieb dagegen in dieser Periode lange recht konstant. Seit 2016/18 kann ein grösserer Rückgang bei den Mineraldüngern beobachtet werden.

Die Entwicklung des N-Überschusses seit 2014/16 zeigt, dass ab 2016/18 ein Rückgang zu verzeichnen ist, der mit fast 8'000 t N sogar noch etwas ausgeprägter war als die Abnahme zwischen 2001/03 und 2004/06 (minus 7'000 t N). Die Abnahme in jener Vergleichsperiode war jedoch mit einer Zunahme in den Folgejahren verbunden. Dies

zeigt, dass der N-Überschuss sehr starken zeitlichen Schwankungen unterworfen ist. Deshalb kann erst in einigen Jahren abschliessend beurteilt werden, ob der grössere Rückgang seit 2016/18 von Dauer ist. Die beiden Extremereignisse der letzten Jahre, die Corona-Pandemie und der Krieg in der Ukraine, dürften durch die dadurch verursachten Kostensteigerungen (Erdin 2022; Hofer 2022) auch die Nährstoffbilanzen der schweizerischen Landwirtschaft beeinflusst haben.

4.2 Phosphor

Input:

Die **importierten Futtermittel** nahmen bis Mitte der 1990er Jahre um über 4000 t P ab und stiegen dann bis in die 2010er Jahre fast wieder so stark an (Abb. 7). Seit 1998/2000 sind die importierten Futtermittel die bedeutendste Input-Grösse in der P-Bilanz. Im letzten Jahrzehnt waren die in ihnen enthaltenen P-Mengen mehr als doppelt so hoch wie diejenigen im Mineraldünger. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt wie bei Stickstoff keine wesentliche Veränderung.

Der **Mineraldüngerverbrauch** ging zwischen 1979/81 und 1999/2001 sehr stark zurück, wobei die Abnahme in den 1990er Jahren mit rund 11'000 t P äusserst hoch ausfiel. Die Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 hatte diese Entwicklung stark gefördert. Nach Verharren auf konstantem Niveau bis 2006/08 nahm der Mineraldüngerverbrauch in der anschliessenden Periode bis 2020/22 um gegen 2000 t P ab. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt einen leichten Rückgang um 300 t P. In den 2000er Jahren waren die Jahresschwankungen beim Phosphor viel stärker ausgeprägt als beim Stickstoff. In den 2010er Jahren war es dagegen umgekehrt: Während der Einsatz beim Phosphor wenig von Jahr zu Jahr variierte, traten beim Stickstoff vermutlich infolge von Preissprüngen starke Schwankungen auf (agristat, 2024b).

Der Einsatz der **Recycling- und der übrigen Dünger** erreichte Mitte der 1990er Jahre den Höhepunkt und war anschliessend infolge des Ausbringungsverbots von Klärschlamm sehr stark rückläufig. In den 2010er Jahren nahm er geringfügig ab. Im Vergleich zu Stickstoff liegen bei Phosphor die Werte der **Deposition** auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche auf einem tiefen Niveau.

Der **gesamte P-Input** in die Landwirtschaft stieg bis 1979/81 und ging danach stetig bis 1999/2001 zurück (Abb. 8). Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt einen geringen Rückgang.

Output:

Beim Output lässt sich wie für Stickstoff feststellen, dass die Menge in den **tierischen Nahrungsmitteln und den anderen tierischen Produkten** zwischen 1975/77 und 1994/96 recht konstant war (Abb. 8). Danach nahm sie rasch sehr stark zu, weil Tiermehl nicht mehr verfüttert werden konnte, sondern exportiert werden musste. Der P-Export über die **pflanzlichen Produkte** variierte relativ stark von Jahr zu Jahr und verdoppelte sich in der gesamten Periode. Der **gesamte Output** veränderte sich nach den Jahren 2014/16 nicht mehr.

Bilanzsaldo:

Der **Überschuss** (Abb. 8 und A2) stieg bis 1979/81 auf 28'000 t P an, nahm dann bis Ende der 2000er Jahre stark ab und liegt seither im Bereich von 5'000 t P mit leicht sinkender Tendenz. Die Reduktion des Überschusses war besonders in den ersten Jahren nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen (1993-96) sehr hoch. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt einen geringen Rückgang.

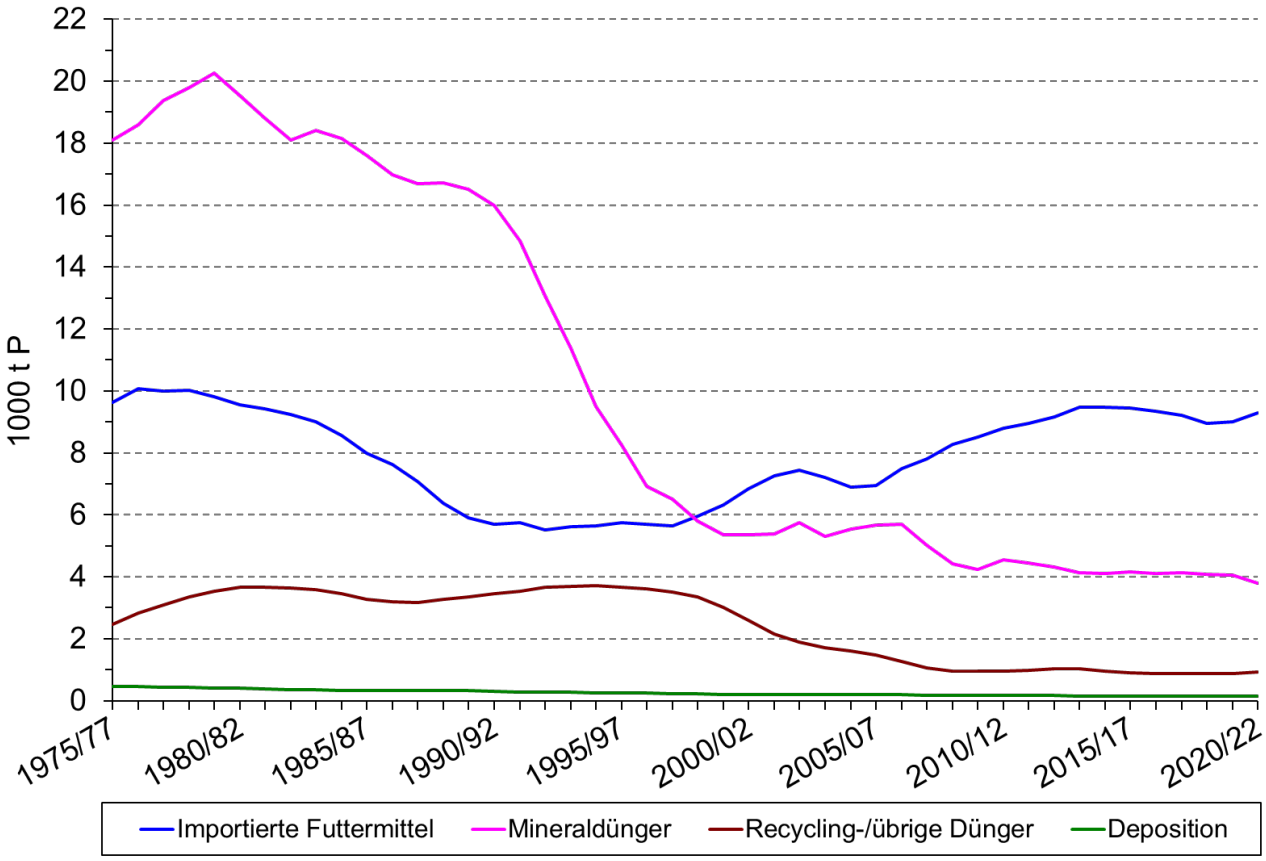

Abbildung 7: Phosphormengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975/77 und 2020/22.

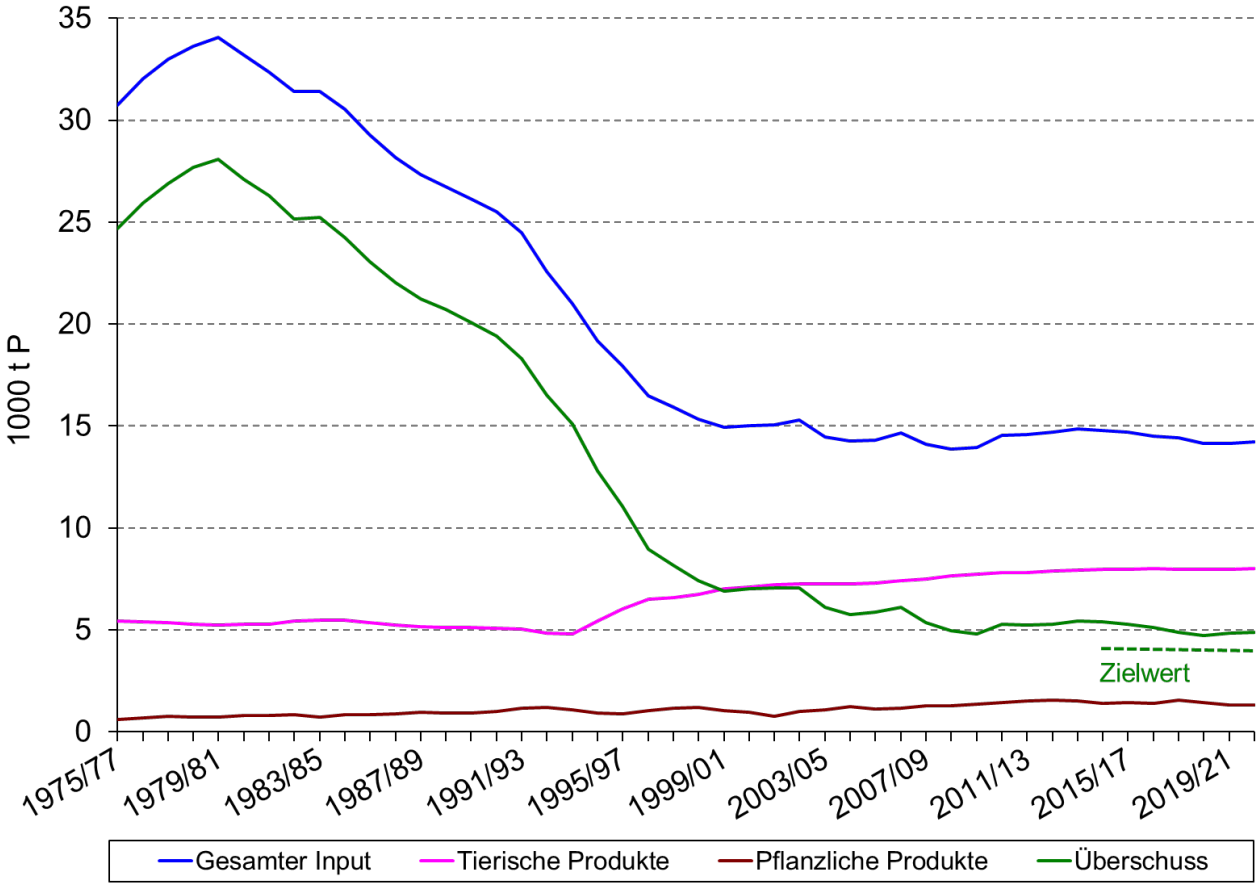

Abbildung 8: Phosphormengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) und im Überschuss zwischen 1975/77 und 2020/22 sowie Zielwert einer Reduktion von 20% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).

4.3 Schwerpunkt: Inländisches und importiertes Futter und Stroh

In den letzten Jahrzehnten unterlag die Verwendung von inländischem und importiertem Futter und Stroh in der schweizerischen Landwirtschaft grossen Veränderungen. Diese werden im Folgenden exemplarisch anhand der Jahreswerte für Stickstoff (und beim Kraftfutter auch für Phosphor) erläutert.

Gesamtumsatz an Futter und Stroh:

Im Vergleich zum Futter war die N-Menge im Getreidestroh immer gering (Abb. 9). Mit Abstand am meisten Stickstoff wurde in allen Jahren mit dem Grundfutter (Raufutter wie Gras, Dürrfutter, Gras- und Maissilage, Weizenkleie etc.; Saftfutter wie Biertreber, Rübenschnitzel etc.) umgesetzt, wobei der Verbrauch fast kontinuierlich zurückging. Die N-Menge in den Milchprodukten (Fütterungsmilch, Schotte, Milchpulver etc.) war relativ gering und veränderte sich über die untersuchte Periode nur wenig. Das Kraftfutter als zweitwichtigster Futtertyp verlor bis Ende der 1990er Jahre an Bedeutung, in den folgenden Jahren nahm aber dessen Anteil stark zu und erreichte mit 30% aller Futtermittel im Mittel der letzten fünf Jahre einen neuen Höchstwert. Der Selbstversorgungsgrad der schweizerischen Landwirtschaft bei Futter und Stroh erreichte im Jahr 1990 das Maximum und sank in den folgenden Jahrzehnten stark.

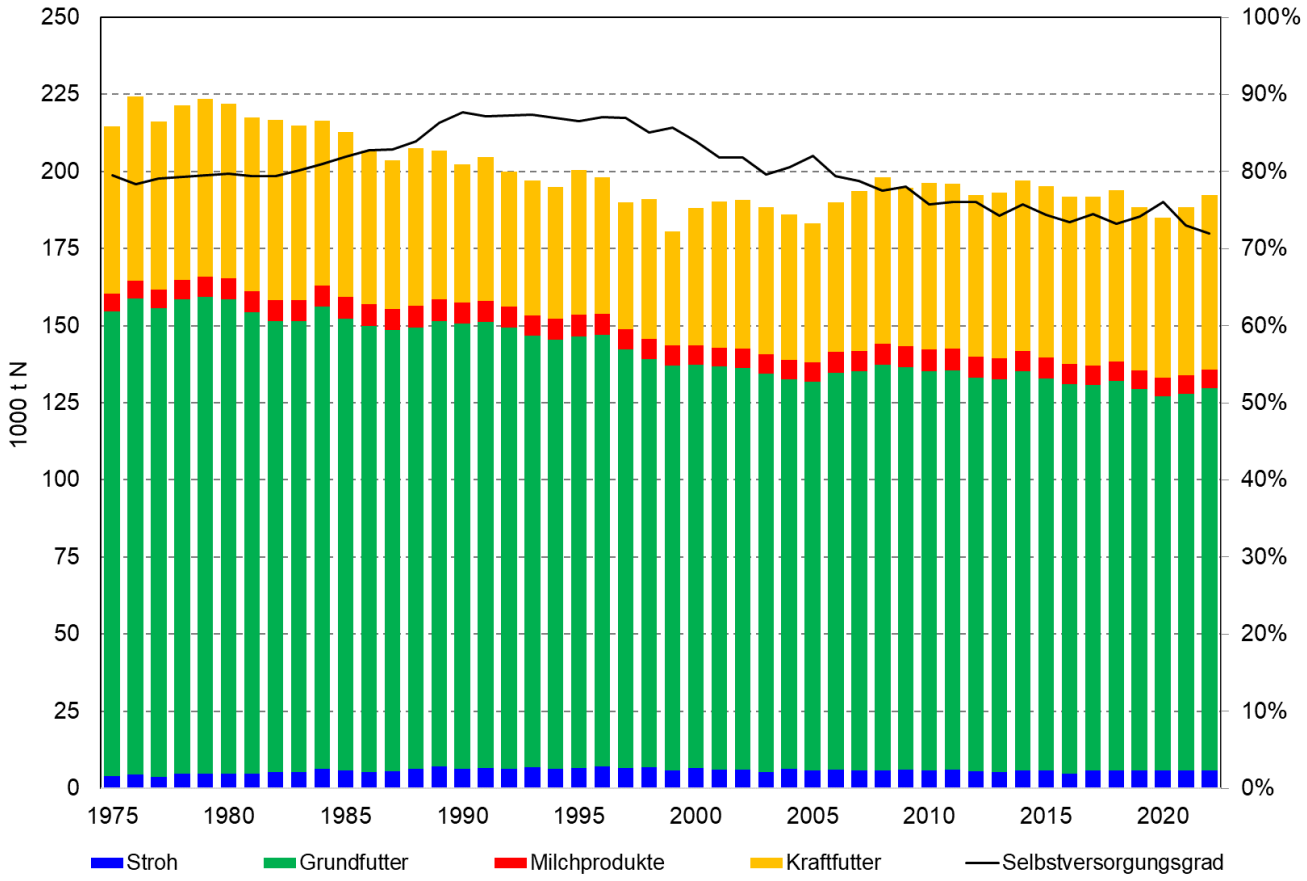

Abbildung 9: Stickstoffmenge im inländischen und importierten Futter und Stroh sowie Selbstversorgungsgrad zwischen 1975 und 2022

Stroh:

Die im Inland anfallende N-Menge im Getreidestroh war in den 1990er Jahren am höchsten und nahm dann infolge der sinkenden Getreidefläche stark ab (Abb. 10). Zur Kompensation wurde immer mehr Stroh importiert, so dass die N-Menge anfangs der 2020er Jahre fast 2000 t N erreichte und damit mehr als doppelt so hoch war wie in den 1990er Jahren. Dies hatte zur Folge, dass der Selbstversorgungsgrad bei Stroh unter 70% sank.

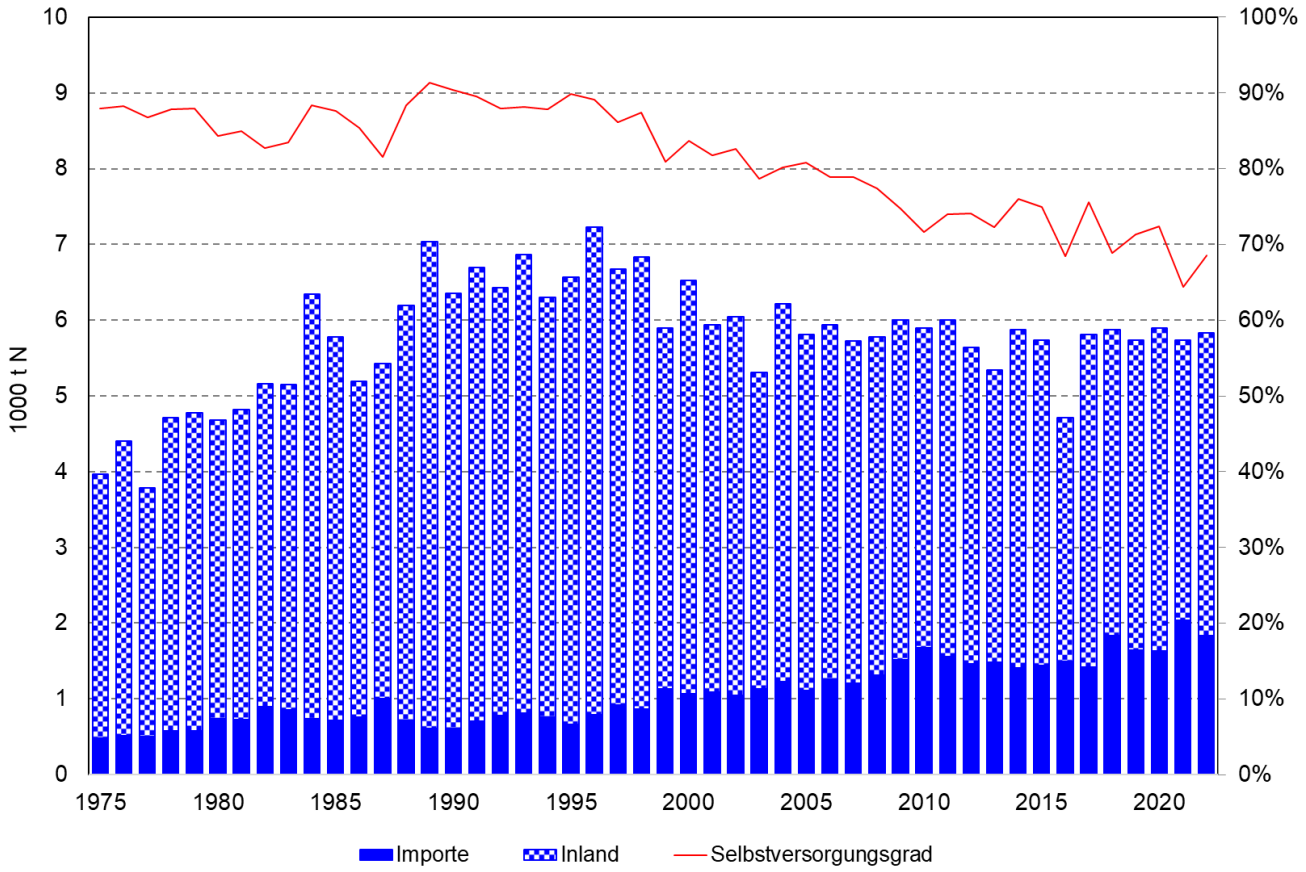

Abbildung 10: Stickstoffmenge im inländischen und importierten Stroh sowie Selbstversorgungsgrad zwischen 1975 und 2022.

Grundfutter:

Aus Abbildung 11 ist ersichtlich, dass die verzehrte Menge an Grundfutter in der Schweiz seit über 40 Jahren zurückgeht. Der Futterbedarf nahm infolge der sinkenden Tierzahlen der Raufutterverzehrer ab, während die Reduktion der Futterproduktion vor allem eine Folge der abnehmenden Graslandfläche sowie der Extensivierung im Futterbau durch die 1993 eingeführten Direktzahlungen für extensiv und wenig intensiv genutzte Wiesen und Weiden war (SBV 2011). An der gesamten Zeitreihe fällt aber auch auf, dass die Importe an Wiesen- und anderem Grundfutter ab den 1990er Jahren anstiegen. Höhere Importe in Trockenjahren wie 2003, 2018 oder 2022 (agristat 2024d) mit niedriger Inlandproduktion erstaunen nicht. Es scheint aber, dass sich die Landwirtschaftsbetriebe noch unzureichend auf die häufiger auftretenden Trockenperioden eingestellt haben und der Bildung von Vorräten wenig Beachtung schenken (Zutter 2022). Im Weiteren ist im Raufutterland Schweiz eine generelle Tendenz zu vermehrten Dürrfutterimporten festzustellen (Giuliani 2016; Sutter und Reidy 2018). Ein Grund dafür ist die Begrenzung des Kraftfuttereinsatzes in der graslandbasierten Milch- und Fleischproduktion (GMF), die zur Folge hat, dass Heu und Emd von bester Qualität aus dem nahen Ausland zugekauft werden (Beyeler 2018; Giuliani 2016). Nachdem die Importe bis zum Jahr 1990 immer weniger als 2% des gesamten verfütterten Grundfutters ausmachten, nahm ihr Anteil in den folgenden Jahren immer mehr zu und betrug im Mittel der letzten fünf Jahren rund 6%. Beim Wiesenfutter allein machte der Importanteil mit Ausnahme der Trockenjahre 1976 und 2003 drei Jahrzehnte lang nur 1% aus; er stieg dann aber an und betrug im Durchschnitt der Jahre 2018-22 fast 3%.

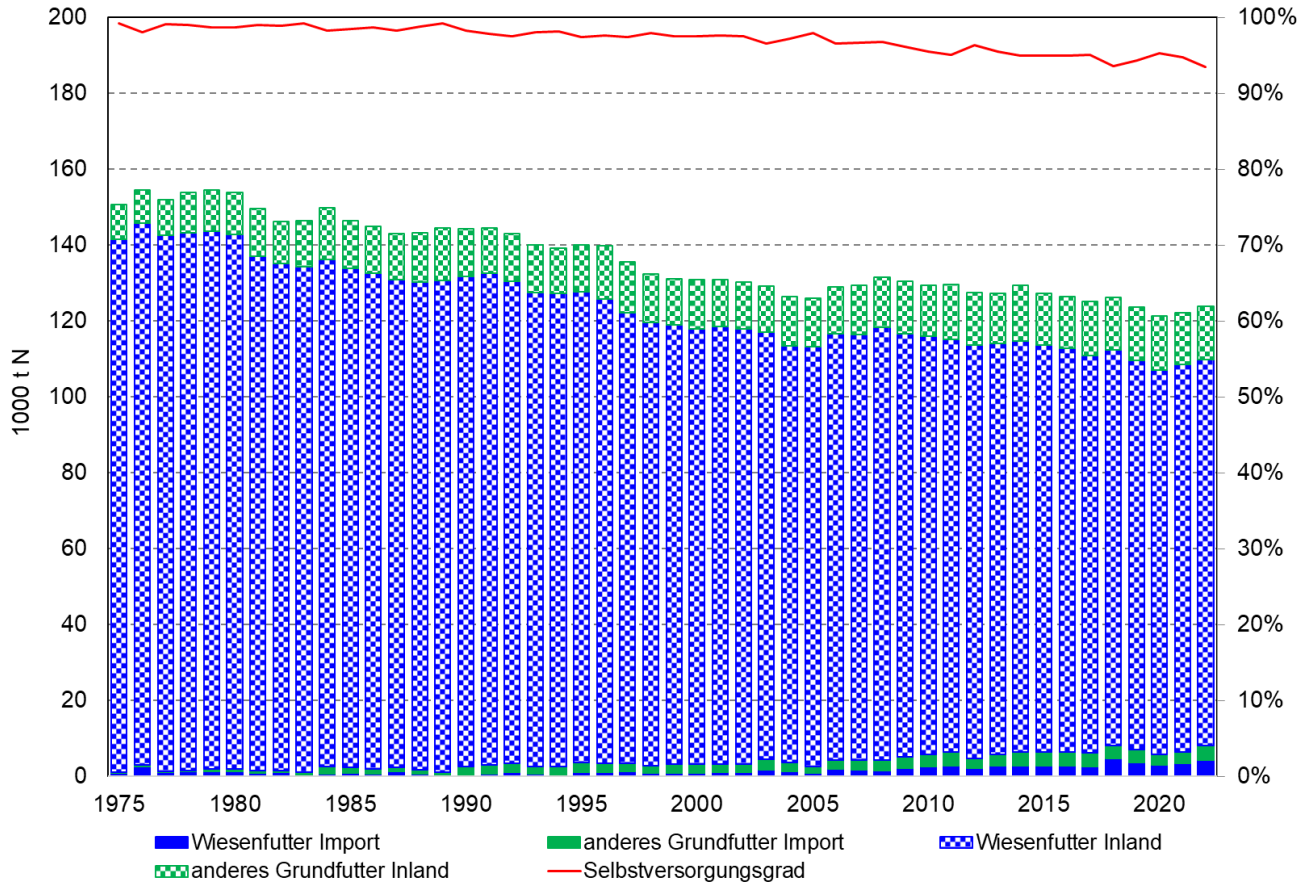

Abbildung 11: Stickstoffmenge im inländischen und importierten Wiesen- und anderen Grundfutter sowie Selbstversorgungsgrad beim Grundfutter zwischen 1975 und 2022.

Kraftfutter:

Da sich beim Kraftfutter die zeitliche Entwicklung bei Stickstoff und Phosphor teilweise stark unterscheidet (Abb. 12 und 13), wird nachfolgend auf beide Nährstoffe separat eingegangen.

Für Stickstoff kann beim gesamten Kraftfutterumsatz eine bedeutende Abnahme bis Mitte der 1990er Jahre beobachtet werden, welche von einer Zunahme in fast gleich hohem Ausmass bis 2022 gefolgt wurde: Beim Phosphor verlief die Entwicklung ähnlich, aber die Abnahme war stärker und dauerte bis zur Jahrtausendwende und der nachfolgende Anstieg war nicht so ausgeprägt.

Die Entwicklung der Importe und der Inlandproduktion verlief völlig gegenläufig. Die Importe nahmen bis in die 1990er Jahre sehr stark ab und verdoppelten sich dann wieder bis zum Ende der Untersuchungsperiode. Die Inlandproduktion erfuhr dagegen nach einem grossen Anstieg in den ersten beiden Jahrzehnten einen beträchtlichen Rückgang. Während beim Stickstoff die Anfangs- und die Endwerte der Zeitreihe sowohl beim Import als auch bei der Inlandproduktion ähnlich hoch waren (Abb. 12), lagen beim Phosphor die Endwerte in beiden Gruppen deutlich unter dem Anfangsniveau (Abb. 13). Die Entwicklung der vier Kraftfutterarten verlief bei beiden Nährstoffen ähnlich für den Import und die Inlandlandproduktion. Einzig beim Getreide nahmen die Importe stark ab, während die Inlandproduktion stabil blieb. Durch die BSE-Krise und das Verfütterungsverbot für Tiermehl brach der Einsatz von Fleisch- und Fleischknochenmehl sowie Fischmehl vollständig ein. Dagegen haben sich die N- und P-Mengen der Extraktionsschroten etwa verdreifacht. Die restlichen Futtermittel erfuhren keine grosse Veränderung.

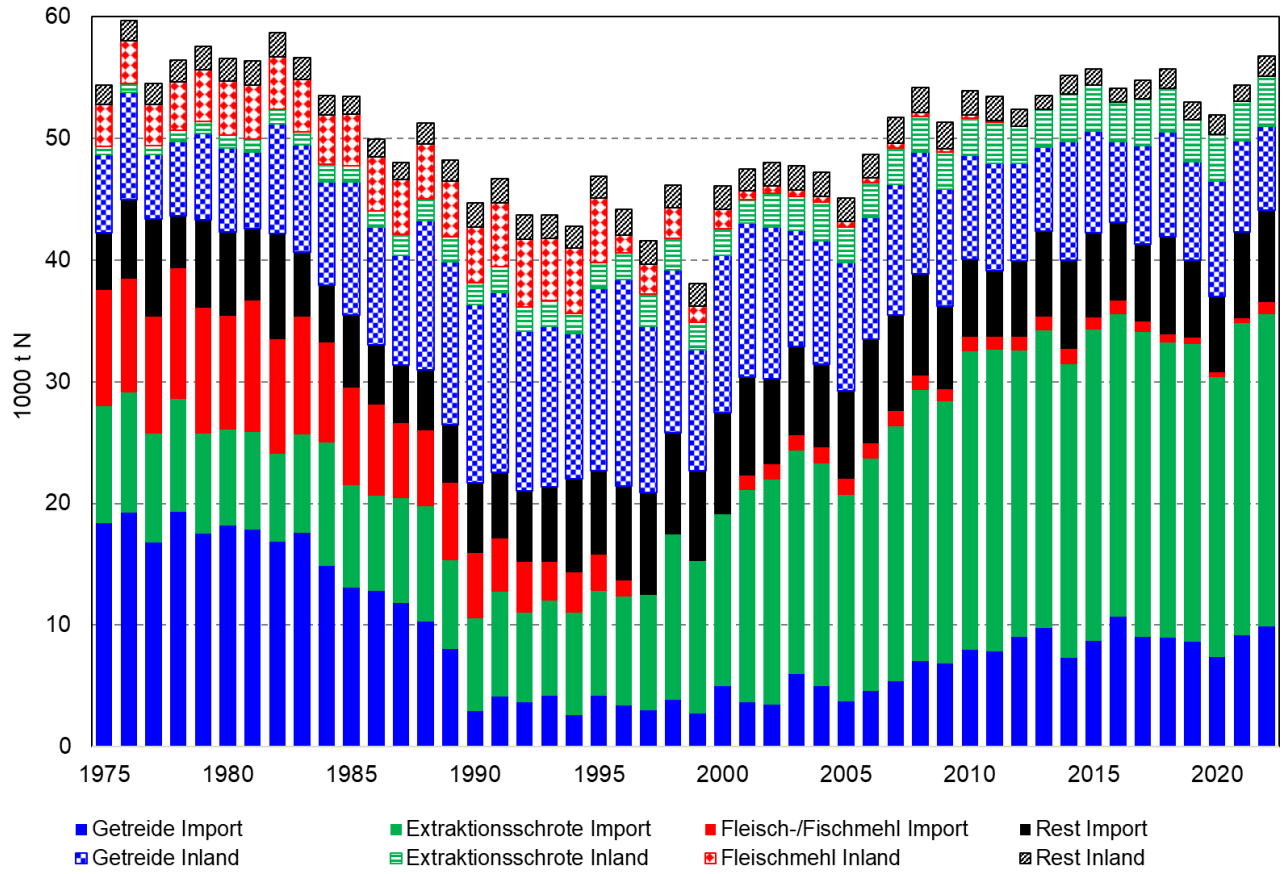

Abbildung 12: Stickstoffmenge in den verschiedenen inländischen und importierten Kraftfutterarten sowie Selbstversorgungsgrad zwischen 1975 und 2022.

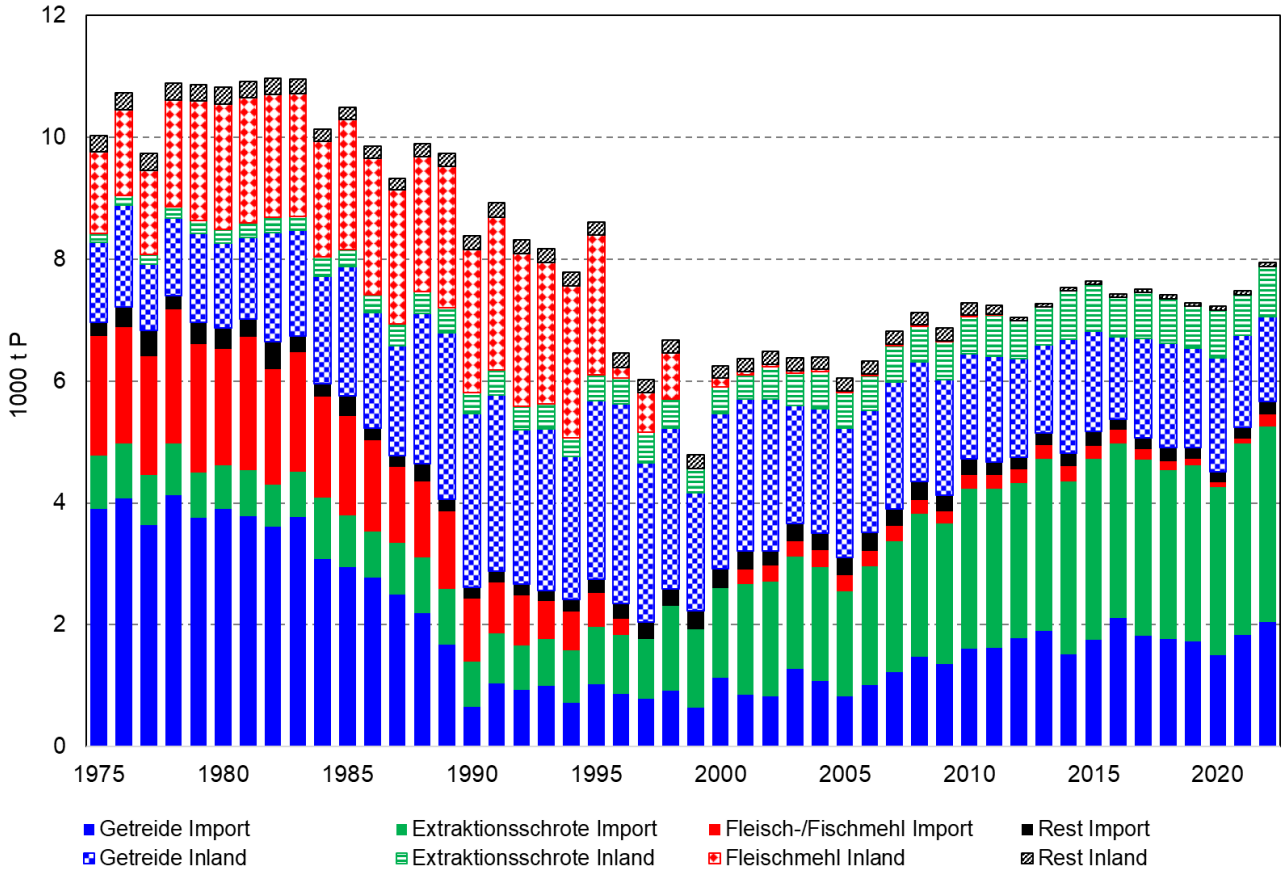

Abbildung 13: Phosphormenge in den verschiedenen inländischen und importierten Kraftfutterarten sowie Selbstversorgungsgrad zwischen 1975 und 2022.

5 Literaturverzeichnis

Agricura, 2024. Agricura Plattform - Tätigkeitsbericht. Bern, diverse Jahrgänge.

agristat, 2024a. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Schweizer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge. www.agristat.ch [13.10.2024]

agristat, 2024b. AGRISTAT – statistisches Monatsheft. Schweizer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge. www.agristat.ch [13.10.2024]

agristat, 2024c. Schriftliche Mitteilungen von S. Giuliani, Schweizer Bauernverband, Brugg.

agristat, 2024d. Dürrfutter-Importe, Schweizer Bauernverband, Brugg. https://www.sbv-usp.ch/de/services/agristat-statistik-der-schweizer-landwirtschaft/grafiken#prettyPhoto[gal18202]-16 [27.09.2024]

Agroscope, 2023. Schweizerische Futtermitteldatenbank feedbase. www.feedbase.ch [13.10.2024]

BAFU, 2019. Zustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz. Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1901, 138 pp. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/ergebnisse-grundwasserbeobachtung-schweiz-naqua.html [13.10.2024]

Baumgartner S., Spiess E., Liebisch F. und Gilgen A., 2024. Regionale Stickstoffbilanzen - Erste Ergebnisse von MAUS (Monitoring des Agrarumweltsystems Schweiz). Agroscope Science Nr. 185, 43 pp.

BAZG, 2024. Swiss-Impex. Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) Bern. www.gate.ezv.admin.ch/swissimpex/ [04.07.2024]

Beyeler D., 2018. Raufutterimporte - Ergänzung oder Konkurrenz? *UFA-Revue* Nr. 2, 54-55.

BLW, 2023. Agrarbericht 2023: Ressourceneffizienz-Beiträge 2014-2022. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). https://agrarbericht.ch/de/service/dokumentation/download-center [13.10.2024]

Boller B.C. and Nösberger J., 1987. Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of ^{15}N-fertilisation. *Plant Soil* 104, 219-226.

Boller B.C., 1988. Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiss- und Rotklee unter Feldbedingungen. *Landwirtschaft Schweiz* 1, 251-253.

Boltshauser M., Bracher A., Böhlen M., Cafagna F. und Taliun A., 2012. Die Schweizerische Futtermitteldatenbank www.feedbase.ch. *Agrarforschung Schweiz* 3, 112-114.

Bracher A., 2019. Körnerleguminosen als alternative Proteinquellen zu importierten Eiweissträgern. *Agrarforschung Schweiz* 10, 180-189.

Braun M., Hurni P. und Spiess E., 1994. Phosphor- und Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft und Para-Landwirtschaft. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 18, 70 pp.

DZV, 2024. Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (Direktzahlungsverordnung, DZV) vom 23. Oktober 2013 (Stand am 1. Januar 2024). www.fedlex.admin.ch/eli/oc/2024/42/de [07.10.2024]

EKL, 2007. Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern. 141 pp.

EMEP/CEIP, 2022. Present state of emission data. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP). www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata [13.11.2023].

Erdin D., 2022. Der Ukraine-Krieg und die Landwirtschaft. *AGRISTAT aktuell* 22-05, 6-11. www.agristat.ch [13.10.2024]

Erdin D. und Giuliani S., 2011. Kraftfutterverbrauch der gemolkenen Kühe. Landwirtschaftliche Monatszahlen Nr. 5, 4-6.

Eurostat, 2013. Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg. https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/Annexes/aei_pr_gnb_esms_an_1.pdf [13.10.2024]

FOEN, 2019. Switzerland's Informative Inventory Report 2019 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Federal Office for the Environment (FOEN), Berne. 360 pp.

Gisiger L, 1957. Versuch einer bilanzmässigen Betrachtung der schweizerischen Düngerwirtschaft. *Mitt. Schweiz Landw.* 5, 138-145.

Giuliani S., 2016. Futtermittelbilanz 2014. *AGRISTAT aktuell* 16-04, 5-7.

Giuliani S., 2022. Dünger: Preis- und Importentwicklung in Zeiten der Unruhe. *AGRISTAT aktuell* 22-04, 6-11. www.agristat.ch [13.10.2024]

Granli T. and Bockman O.C., 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norw. J. Agric. Sci.* Supplement 12, 7-128.

GRUD, 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 276 pp.

Gutser R., Ebertseder T. und Holz F., 2008. Reicht das Fachrecht für die Umsetzung der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie aus? *Agrarspectrum* 41, 39-60.

Hofer N., 2022. Dünger: Preis- und Importentwicklung in Zeiten der Unruhe. *AGRISTAT aktuell* 22-07, 6-18. www.agristat.ch [13.10.2024]

Hurschler S., Kohler F. et Murbach F., 2024. Calcul pilote de régionalisation des bilans N et P aux niveaux des cantons et des régions agricoles. Rapport à l'attention de l'OFAG. Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, 23 pp. www.bfs.admin.ch/asset/de/32086939 [13.10.2024]

Kivi K., Kaitala S., Kuosa H., Kuparinen J., Leskinen E., Lignell R., Marcussen B. and Tamminen T., 1993. Nutrient limitation and grazing control of the Baltic plankton community during annual succession. *Limnol. Oceanogr.* 38, 893-905.

Kosonen Z., Schnyder E., Hiltbrunner E., Thimonier A., Schmitt M., Seitler E. and Thöni L., 2019. Current atmospheric nitrogen deposition still exceeds critical loads for sensitive, semi-natural ecosystems in Switzerland. *Atmospheric Environment* 211, 214-225.

Kupper T., Häni C., Bretscher D und Zaucker F., 2022. Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 bis 2020. Bericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Berner Fachhochschule Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Zollikofen, und Oetiker+Partner AG, Olten. https://agrammon.ch/de/downloads/ [13.10.2024]

Mack G., Heitkämper K., Käufeler B. und Möbius S., 2017. Evaluation der Beiträge für Graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion (GMF). Agroscope Science Nr. 54, 99 pp.

Obrist L., 2020. Produktion und Verbrauch von Milch und Milchprodukten 2019. *AGRISTAT aktuell* 20-03, 6-13. www.agristat.ch [13.10.2024]

OECD and Eurostat, 2007. Gross Nitrogen Balances - Handbook.

Oenema O, Kros H and de Vries W, 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. *Eur. J. Agron.* 20, 3-16

OSPAR, 1995. PARCOM guidelines for calculating mineral balances. Summary record of the meeting of the programmes and measures committee (PRAM), Oviedo, 20–24 February 1995. Oslo and Paris Conventions for the Prevention of Marine Pollution (OSPAR), Annexe 15. www.ospar.org/convention/agreements/page15 [13.10.2024].

PARCOM, 1988. PARCOM Recommendation 88/2 on the Reduction in Inputs of Nutrients to the Paris Convention Area. www.ospar.org/convention/agreements/page17 [13.10.2024]

Rihm B., 2020. Stickstoffdeposition auf Landwirtschaftsflächen 1990–2015 - Herausrechnen der landwirtschaftlichen Quellen. Technischer Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft. Meteotest, Bern. 13 pp.

Rihm B., 2023. Stickstoffdeposition auf Landwirtschaftsflächen 1990–2020 - Herausrechnen der landwirtschaftlichen Quellen. Technischer Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Landwirtschaft. Meteotest, Bern. 13 pp.

Rihm B. and Achermann B., 2016: Critical loads of nitrogen and their exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Berne. Environmental studies no. 1642, 78 pp.

Rihm B. and Künzle T., 2023: Nitrogen deposition and exceedances of critical loads for nitrogen in Switzerland 1990–2020. Meteotest, Bern. https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/studien.html [09.10.2024].

SBV, 2011. Stärkung der Versorgung mit Schweizer Kraftfutter. Bericht der Arbeitsgruppe Futtermittel. Schweizerischer Bauernverband (SBV), Brugg, 21 pp.

Schleiss K., 2017. Erhebung Schweizer Daten zu Mengen in der Kompostierung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, Schlussbericht, 13 pp.

Spiess E., 1989. Schätzung der schweizerischen Nährstoffbilanz für 1985. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 4, 61 pp.

Spiess E., 1999. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 1995. Schriftenreihe der FAL Nr. 28, 46 pp.

Spiess E., 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 351-365.

Spiess E., 2019. Large soil phosphorus accumulation due to nutrient surpluses in Swiss agriculture. Proc. of International Phosphorus Workshop 9, ETH Zurich, www.researchgate.net/publication/335632051_Large_soil_phosphorus_accumulation_due_to_nutrient_surpluses_in_Swiss_agriculture [13.10.2024]

Spiess E. und Liebisch F., 2020. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2018. Agroscope Science 100, 30 pp.

Sutter M. und Reidy B., 2021. Teilevaluation «Nationale Suisse-Bilanz - Fokus Selbstdeklaration» mit ergänzenden Validierungsarbeiten für die Erträge Futterbau. Hochschule für Agrar-, Forst- & Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Zollikofen, 35 pp.

van Eerdt M.M. and Fong P.K.N., 1998. The monitoring of nitrogen surpluses from agriculture. *Environ. Pollut.* 102 (S1), 227-233.

VBNL, 2024. Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Januar 2024). www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/58/de [07.10.2024]

Zutter G., 2022. Notstand beim Raufutter? *Die Grüne* Nr. 11, 29.

Anhang

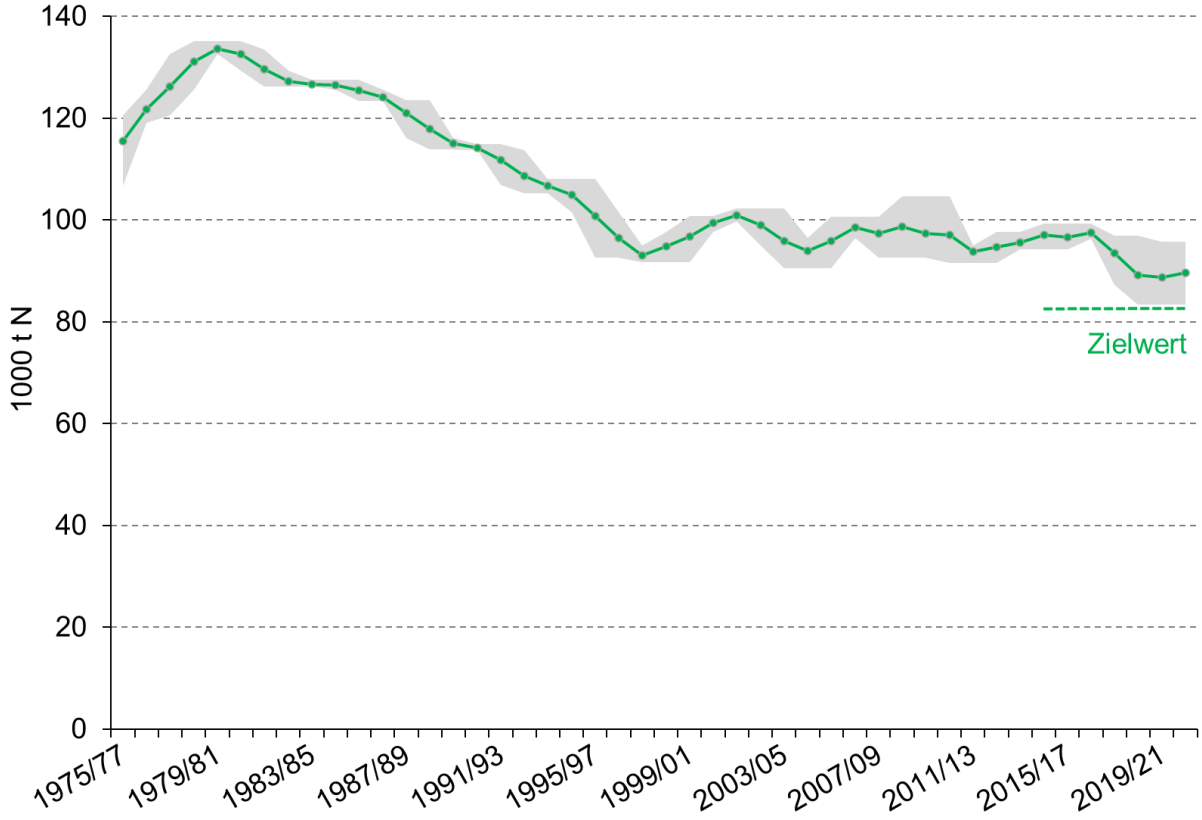

Abbildung A1: Stickstoff-Überschuss zwischen 1975/77 und 2020/22 mit Schwankungsbereich (Maximum – Minimum) sowie Zielwert einer Reduktion von 15% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).

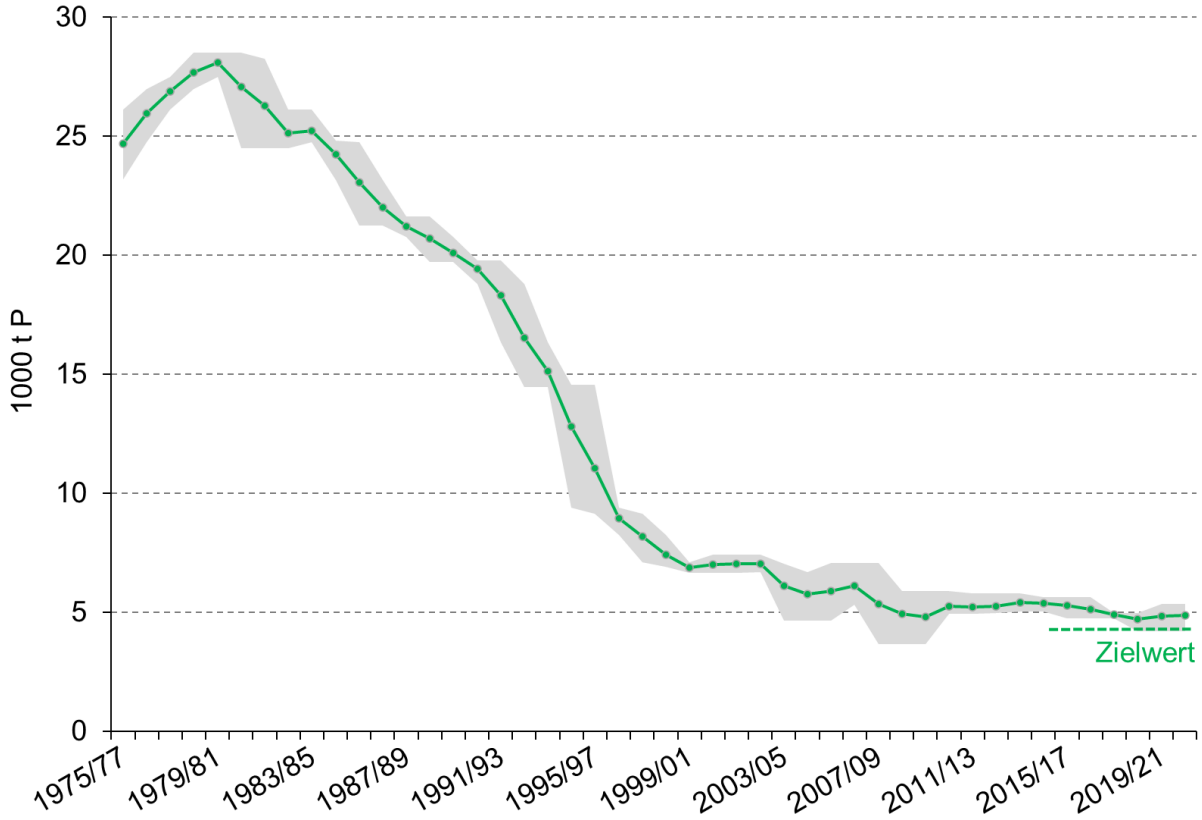

Abbildung A2: Phosphor-Überschuss zwischen 1975/77 und 2020/22 mit Schwankungsbereich (Maximum – Minimum) sowie Zielwert einer Reduktion von 20% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).