



Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2023

Autorinnen und Autoren

Ernst Spiess, Carole Epper und Frank Liebisch



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
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as221g

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 2021-23	14
3.1 Stickstoff	14
3.2 Phosphor	15
4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2023	17
4.1 Stickstoff	17
4.2 Phosphor	20
5 Schwerpunkt: HODUFLU	22
5.1 Netto-Nährstoffzufuhr in die Landwirtschaft	22
5.2 Netto-Stickstoffzufuhr in die Biobetriebe und Nicht-Biobetriebe	23
5.3 Stickstoffwegfuhr aus Landwirtschaftsbetrieben und Stickstoffzufuhr über vergorene Hofdünger und Kompost	24
5.4 Stickstoffzufuhr und -wegfuhr nach landwirtschaftlichen Betriebstypen	25
5.5 Abschätzung der weggeführten Nährstoffmengen aus Landwirtschaftsbetrieben mit zu viel Hofdünger für den Pflanzenbau	26
5.6 Netto-Wegfuhr von Stickstoff und Phosphor aus Landwirtschaftsbetrieben in Abhängigkeit von der Tierdichte	28
6 Literaturverzeichnis	30
Anhang	34

Zusammenfassung

Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2023

Die Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft wurde für Stickstoff (N) und Phosphor (P) für die Jahre 1975 bis 2023 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 2021 bis 2023 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 andere tierische Produkte (z. B. Tiermehl) entsprach bei Stickstoff etwas mehr als einem Drittel, bei Phosphor dagegen zwei Dritteln des gesamten Inputs. Der Überschuss betrug rund 91'000 t N bzw. 4900 t P; auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) bezogen machte dies 87 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 und somit kein Gleichgewicht besteht. Im Pflanzenbau überstiegen die Nährstoffzufuhr über alle Düngemittel (inkl. Hofdünger), 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 2021/23 sank der Nährstoffinput über die importierten Futtermittel 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 Bilanzüberschuss bis 1979/81 an und nahm danach während vieler Jahre ab, wobei ein verstärkter Rückgang in den ersten Jahren nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 stattfand. 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 unter 6000 t P.

Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt, dass der Überschuss bei Stickstoff um etwa 7% und bei Phosphor um 13% abgenommen hat. Die Rückgänge können hauptsächlich 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 2023

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 2023. 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.

En moyenne sur les années 2020 à 2023, 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 91 000 t N et à 4 900 t P. Exprimé en surface agricole utile (SAU), cela représente respectivement 87 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 2021/23, 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 inférieur à 6 000 t P depuis 2007/09.

L'évolution depuis 2014/16 montre que l'excédent d'azote a diminué d'environ 7 % et celui de phosphore de 13 %. Ces baisses peuvent être attribuées principalement à une 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 2023

The Swiss agricultural sector's nutrient balance for nitrogen (N) and phosphorus (P) was calculated for the years 1975 to 2023. 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 2023, 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 91,000 t N and 4900 t P; in terms of utilised agricultural area (UAA), this represented 87 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 2021/23 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 below 6000 t P since 2007/09.

Developments since 2014/16 show that the surplus has decreased by around 7% for nitrogen and by 13% for phosphorus. Declines are mainly attributable to the decreasing use of mineral fertiliser. 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 1975–2023

Nel periodo 1975–2023, 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 complementare 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 2020–2023, 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 91 000 t N e 4 900 t P; in relazione alla superficie agricola utilizzata (SAU), è stata pari rispettivamente a 87 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 il fabbisogno necessario per la produzione di alimenti vegetali e animali di due terzi per l'azoto e di un quinto per il fosforo.

Nei periodi 1975–1977 e 2020–2023, 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 inferiore a 6000 t P.

Dal 2014–2016 l'andamento mostra che l'eccedenza di azoto è diminuita di circa il 7 per cento e quella di fosforo del 13 per cento. Le diminuzioni possono essere attribuite principalmente alla riduzione 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 Futtermiteinsatz 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 zahlreichen Quelfassungen und Grundwasserpumpwerken über der numerischen Anforderung von 25 mg NO₃⁻/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 (N₂) auch Lachgas (N₂O) 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, empfahl PARCOM, 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 Ökobeiträge (BLW 2023). 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 durch das Bundesamt für Statistik (BFS) berechnet, die der internationalen Berichterstattung an die OECD und an Eurostat dienen. Im Monitoring des Agrarumweltsystems Schweiz (MAUS) erstellt Agroscope auf regionaler und Betriebsebene ebenfalls N- und P-Bilanzen nach der OECD-Methode, anhand derer die regionalen und betriebsbezogenen 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). Eine Übersicht über die verschiedenen Bilanzierungsmethoden ist in Bosshard *et al.* (2012) und Baumgartner *et al.* (2025) zu finden.

Im Folgenden werden die Bilanzierungsmethode nach OSPAR beschrieben und die Ergebnisse der Bilanzierung für die Periode 2021-23 vorgestellt. Bei der zeitlichen Entwicklung seit 1975 wird das Augenmerk auf die Trends seit 2010 sowie zwischen der Referenzperiode 2014-16 und 2021-23 gelegt. Da die Resultate dieser Nährstoffbilanz jährlich veröffentlicht werden, sind grosse Teile der Einleitung, der Methodik und der Resultate aus dem letztjährigen Bericht übernommen worden. Im diesjährigen Schwerpunkt werden die Resultate einer eingehenden Analyse vorgestellt, die für die Nährstofftransfers von Hof- und Recyclingdüngern zwischen den landwirtschaftlichen und/oder gewerblichen Akteuren durchgeführt worden ist.

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) 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 Eerd 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).

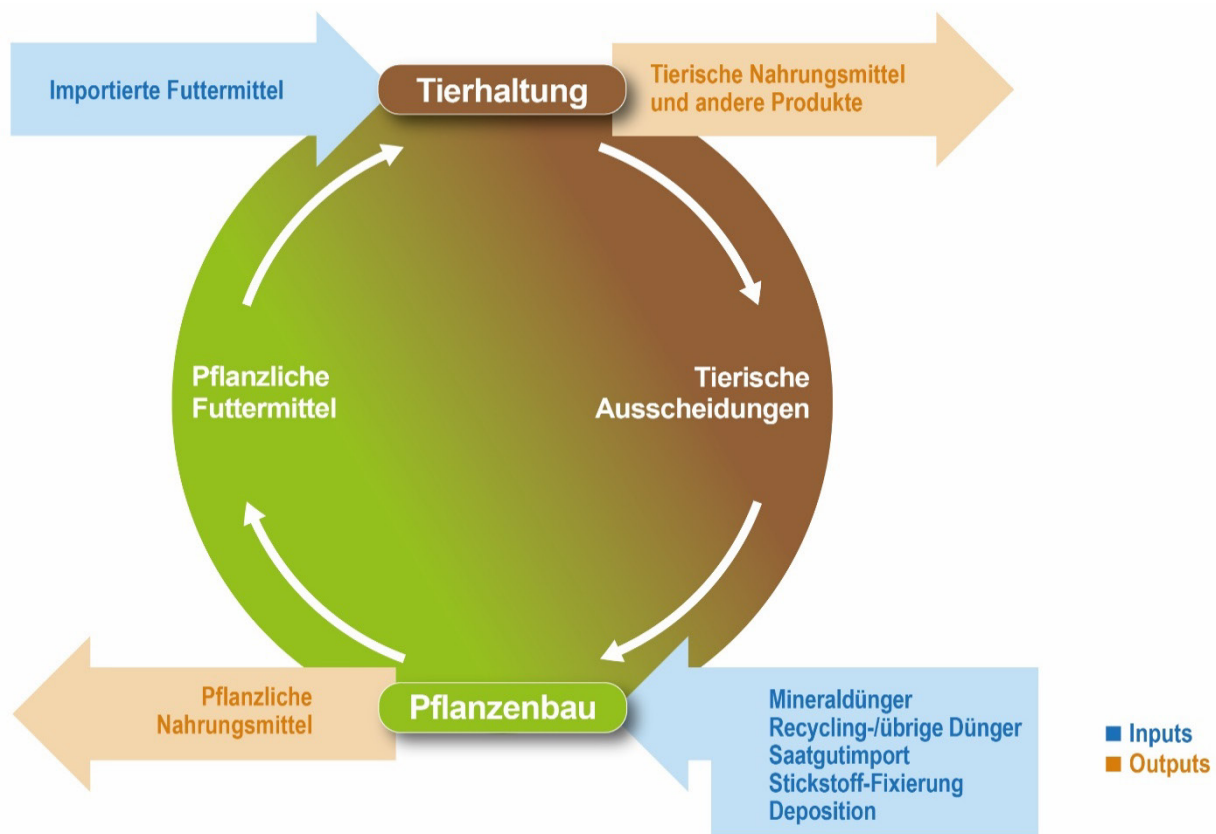


Abbildung 1: Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft mit Pflanzenbau und Tierhaltung (in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Grössen (lachsfarben).

Die Para-Landwirtschaft (Gärten von privaten und öffentlichen Gebäuden, Grünflächen entlang von Strassen und Bahnlagen, 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 2025a, 2025b und 2025c). 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 mit Hilfe von Daten der schweizerischen Aussenhandelsstatistik (Swiss-Impex, BAZG 2025), geschätzt.

Die Nährstoffmenge in den **Mineraldüngern** wurde von der Agricura Genossenschaft (Agricura 2025) erhoben. Aufgrund von früheren Abschätzungen von Agroscope wurde davon ausgegangen, dass 3% des Mineraldüngers ausserhalb der Landwirtschaft eingesetzt werden. Bei den **Recycling- und übrigen Düngern** wird neu die Nährstoffmenge, die mit Kompost sowie den Co-Substraten der Biogasproduktion netto in die Landwirtschaft gelangt, aus HODUFLU-Daten (BLW 2025) berechnet, indem die aus der Landwirtschaft weggeführte Nährstoffmenge von der zugeführten abgezogen wurde.

Bei der **biologischen Stickstoff-Fixierung** wurde neu der Ansatz von Nucera *et al.* (2023) umgesetzt. Für die verschiedenen Graslandkategorien wurde die fixierte N-Menge berechnet, indem der Durchschnittsertrag der Wiesen und Weiden mit dem Kleeanteil, dem N-Gehalt des Klees, einem Faktor, der den in den Kleewurzeln und -stoppeln fixierten Stickstoff sowie den N-Transfer von Klee zu Gräsern über absterbende Pflanzenteile und Rhizodeposition einbezieht, und einem Faktor, der die Höhe der N-Düngung berücksichtigt, multipliziert. Für Naturwiesen wurde ein Kleeanteil von 10% und für Kunstwiesen ein solcher von 30% angenommen. Bei den Körnerleguminosen wurde die N-Fixierung über den Ertrag, den N-Gehalt der Körner, zwei Faktoren zur Berücksichtigung des Stickstoffs im Stroh und in den unterirdischen Pflanzenteilen sowie zwei kulturspezifische Parameter ermittelt. Für Obst-Intensivkulturen und Rebland wurden fixierte N-Mengen von 15 kg N/ha bzw. 5 kg N/ha angenommen.

Mit Regen und Staub gelangt Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium auf den Boden. Gasförmig werden Ammoniak (NH₃), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) 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 im Inland 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 ebenfalls 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 2025) nach Abzug der landwirtschaftsbedingten Emissionen linear extrapoliert.

Die Nährstoffmenge in den **tierischen und pflanzlichen Produkten** wurde 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, Schlachttieren und Eiern abgezogen wurden. Die Schlachtvieh- und Geflügelproduktion (ausgedrückt in Lebendgewicht) wurde für jede Tierkategorie über die Fleischmenge (ausgedrückt in Schlachtgewicht; agristat 2025a) 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 Ernte- und Fütterungsverluste sowie das im Inland erzeugte Stroh berechnet.

Die Ermittlung der Nährstoffmenge im **Grundfutter** erwies sich als schwierig, weil die durchschnittlichen Grasland- und Silomaiserträge sowie die Höhe der gesamten Grundfutterproduktion unbekannt sind. Da aber in der Schweiz das Grasland allein schon rund 70% der landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmacht, hat die Grundfutterproduktion 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 Trockensubstanz(TS)-Verzehr der Raufutter verzehrenden Tiere geschätzt, indem die Anzahl Tiere der verschiedenen Tierkategorien mit dem Richtwert für den Grundfutterverzehr (Tab. 1) multipliziert wurde und dann die Fütterungsverluste hinzugefügt wurden. Neu wird anschliessend die importierte Grundfuttermenge (vorwiegend Dürrfutter, Biertreber, Rübenschnitzel) abgezogen. Letzteres drängte sich auf, weil die Importe immer stärker zunehmen und in den letzten Jahren rund 6% der gesamten Grundfuttermenge ausmachten (Spiess und Liebisch 2024).

Während bei optimaler Fütterung der Anteil der aus dem Grundfutter produzierten Milch etwa 90% der gesamten Milchmenge beträgt, wurde in unseren Berechnungen angenommen, dass die landwirtschaftlichen Betriebe diesen Wert im Durchschnitt nicht erreichen, dass sie sich ihm aber annähern. Deshalb wurde der Richtwert der GRUD (2017) für den Grundfutterverzehr der Milchkühe entsprechend reduziert. Beim Silomais wurde bei einem Ausgangswert des Brutto-Ertrags von 155 dt TS/ha im Jahr 1990 mit einer kontinuierlichen jährlichen Zunahme von rund 1 dt TS/ha gerechnet. Um die Wiesenfuttermenge zu berechnen, wird neu nicht nur der Silomais, sondern auch weitere inländische Rau- und Saffutter (z.B. Rübenschnitzel, Futterkartoffeln, Weizenkleie; Anhang 5, DZV, 2024) von der gesamten Grundfuttermenge abgezogen. Weiter wird neu angenommen, dass die Kunstwiesen ertragsmässig 25% höher abschneiden als die intensiven Naturwiesen und die wenig intensiven und extensiven Naturwiesen 50 bzw. 75% tiefer. Die **Ernteverluste** wurden auf 15% des Bruttoertrages der Wiesen und auf 5%

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). Die Nährstoffmengen in Kot und Harn fallen bei Stickstoff und Phosphor jeweils 3% tiefer aus als die vom BFS (2025) für die OECD-Bilanz berechneten Mengen.

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

Tierkategorie	Grundfutterverzehr	Nährstoffanfall	
		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 2023 (in t).

	N	P
+ Nährstoffmenge in den importierten Futtermitteln	47'791	9'291
+ Nährstoffmenge in den inländischen pflanzlichen Futtermitteln	114'113	17'937
- Nährstoffmenge in den tierischen Nahrungsmitteln und anderen tierischen Produkten	- 38'711	- 7'533
= Nährstoffmenge im ausgeschiedenen Kot und Harn	123'193	19'695

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 $\pm 20\%$ 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. Ab 2027 kann die Genauigkeit bei den Düngern und beim Krafftfutter dank der Mitteilungspflicht für Nährstofflieferungen erhöht werden (Bundesrat 2025).

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. -15% bis 2030) ist deshalb die durch systematische Fehler bedingte Ungenauigkeit 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 2021–2023 darstellt. Die Daten ab 1990 können unter folgendem Link heruntergeladen werden: https://www.agrarbericht.ch/download/documents/0a/bjs8r47c2ptpwyevjtu0wzuax4jops/ab2025_service_umwelt_agrarumweltindikatoren_und_kennzahlen_auf_nationaler_ebene_1990-2024_ruth_badertscher_de.xlsx

3 Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf im Mittel der Jahre 2021-23

3.1 Stickstoff

In der schweizerischen Landwirtschaft werden grosse N-Mengen umgesetzt. Im Mittel der Jahre 2021-23 gelangten fast 140'000 t N in den Kreislauf (Tab. 3). Die importierten Futtermittel wiesen mit 37% und die Mineraldünger mit 29% die höchsten Anteile am gesamten Input auf. Der Anteil der Stickstoff-Fixierung der Leguminosen lag bei 23% und derjenige der Deposition bei 8%, während die Recycling- und die übrigen Dünger sowie das importierte Saatgut zusammen nur 3% ausmachten. Über den Output verliessen rund 48'000 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 91'000 t. Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche von 1'042'032 ha im Mittel der Jahre 2021-23 machte dies 87 kg N/ha aus. Es muss angenommen werden, dass diese Menge der Landwirtschaft grösstenteils über die Ammoniakverflüchtigung, die Nitratauswaschung und die Denitrifikation verlorengeht, weil eine starke Anreicherung von Stickstoff im Boden ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 3: Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2021-23 (in t und in % des gesamten Inputs).

	Stickstoff		Phosphor	
	t N	%	t P	%
Input	139'052	100	13'811	100
Importierte Futtermittel	51'389	37	9'685	70
Mineraldünger	39'754	29	3'246	24
Recycling- und übrige Dünger	3'883	3	709	5
Importiertes Saatgut	334	0	55	0
Stickstoff-Fixierung der Leguminosen	32'497	23		
Deposition über die Luft	11'195	8	116	1
Output	48'025	35	8'902	64
Tierische Nahrungsmittel und andere tierische Produkte	39'032	28	7'588	55
Pflanzliche Nahrungsmittel	8'993	7	1'314	9
Überschuss	91'027	65	4'909	36

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 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 über 85% 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 Fünftel 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 33'000 t N, die in diesen Produkten enthalten waren, gelangte der grösste Teil in organischer Form in den Boden. Die tierischen Futtermittel enthielten dagegen mit rund 6'000 t bedeutend weniger Stickstoff.

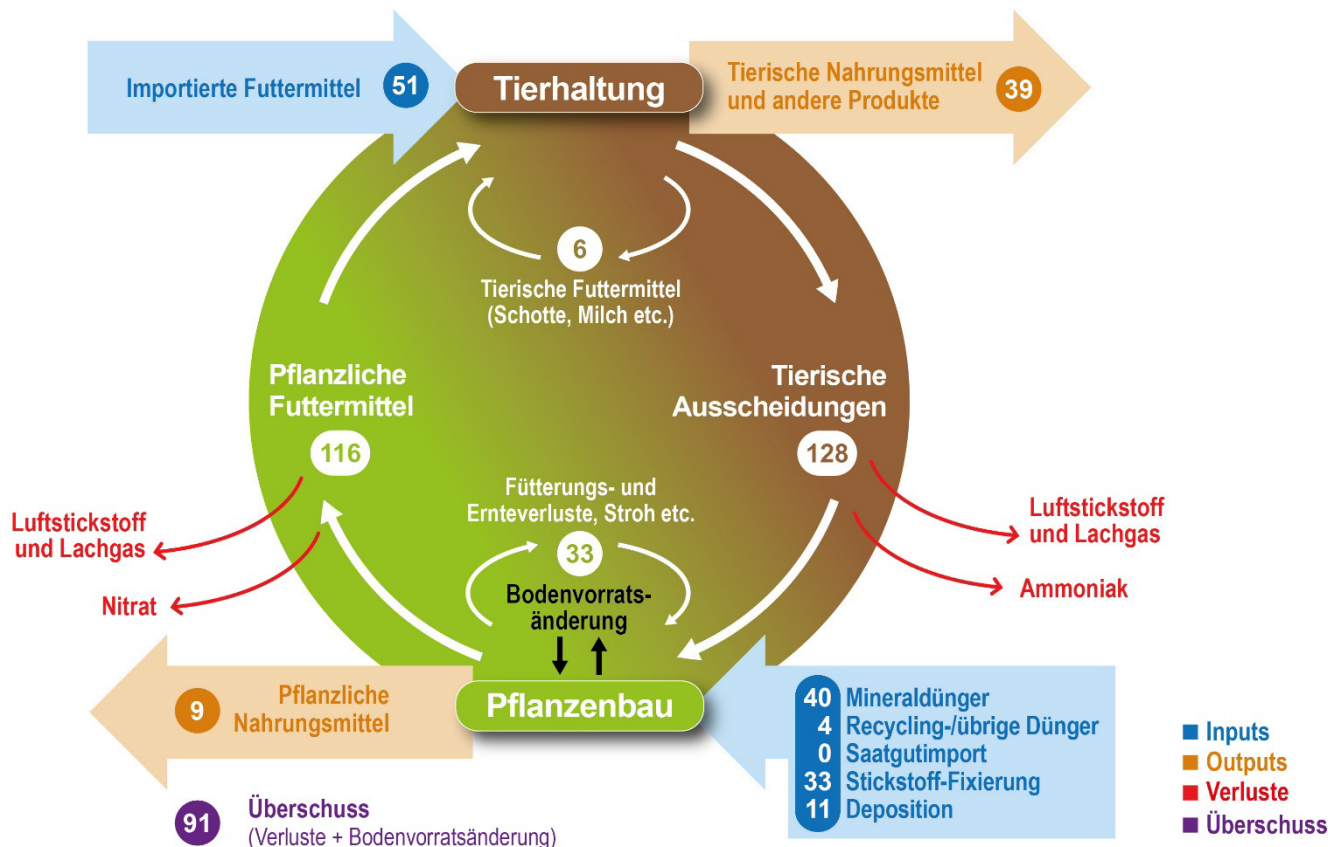


Abbildung 3: Stickstoffkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2021-23 (in 1000 t N; in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Grössen (lachsfarben) sowie dem Überschuss (violett).

3.2 Phosphor

Der gesamthafte Input in die Landwirtschaft betrug in den Jahren 2021-23 gegen 14'000 t P (Tab. 3). Wie beim Stickstoff wiesen die importierten Futtermittel mit 70% den grössten Anteil am gesamten Input auf. 24% des P-Inputs gelangten über die Mineraldünger und 5% 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 gut 8'900 t P zwei Dritteln des Inputs. Der Überschuss von rund 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 gegen 5 kg P/ha LN war der Überschuss immer noch hoch, lag aber nun – im Gegensatz zu den ersten Jahren der Untersuchungsperiode – 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 in der gleichen Grössenordnung lag. 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.

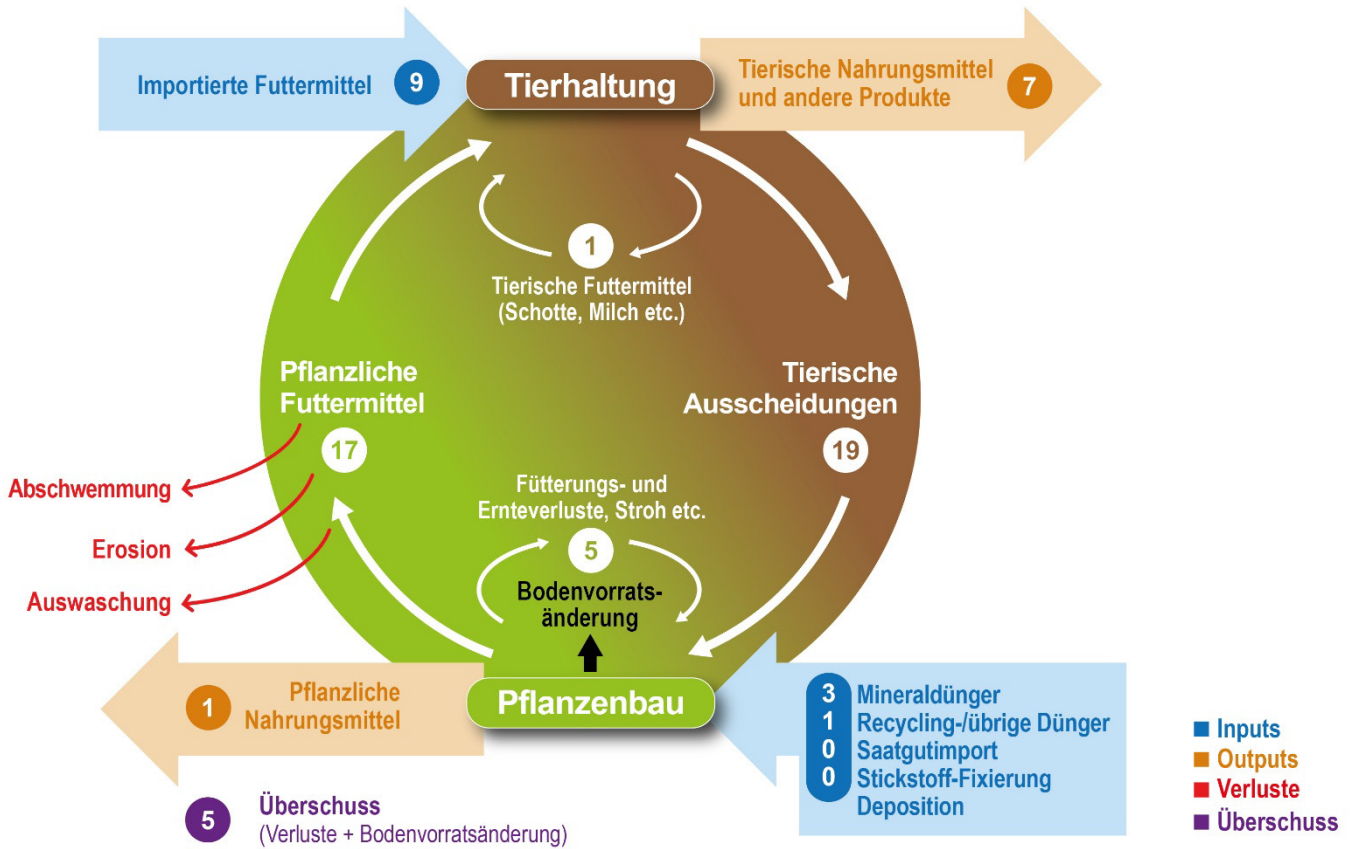


Abbildung 4: Phosphorkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Mittel der Jahre 2021-23 (in 1000 t P; in weiss) ergänzt mit den verschiedenen Input- (hellblau) und Output-Größen (lachsfarben) sowie dem Überschuss (violett).

4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2023

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 seit den 2010er Jahren sogar höher sind 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, 2025a) 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 Kraftfutareinsatzes geführt hat (Mack et al. 2017). Die Geflügelproduktion nahm in den 2010er Jahren weiterhin zu, dagegen wurde bei der Schweineproduktion ein Rückgang beobachtet (agristat, 2025a). Zwischen den Referenzjahren 2014/16 und 2021/23 kann bei den importierten Futtermitteln trotz steigenden Werten in den letzten Jahren noch keine eindeutige Tendenz beobachtet werden.

Der **Mineraldüngereinsatz** erfuhr zwischen 1975/77 und 1987/89 eine starke Zunahme von 43'000 auf 69'000 t N und nahm dann bis 1997/99 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 nimmt der Mineraldüngerverbrauch seit den 2010er Jahren wieder stärker ab. Die Abnahme zwischen 2009/11 und 2021/23 betrug über 9'000 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, Gölledrill) 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 2021), dass sich die Beitragsfläche mit emissionsmindernden Ausbringungsverfahren zwischen 2015 und 2020 mehr als verdoppelt hat. Auffallend ist, dass der sinkende Trend im Mineraldüngerverbrauch in den letzten Jahren von Jahresschwankungen überlagert wird, die zum Teil bedeutend stärker ausfallen als in früheren Jahrzehnten. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass in den letzten Jahren

teilweise grosse Preisschwankungen aufgetreten sind und dass die Landwirtschaftsbetriebe sensibler auf diese reagieren. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt, dass sich die Abnahme des Mineraldüngerverbrauchs eher verstärkt.

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. In den letzten Jahren kann eine Zunahme beobachtet werden. 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 rund 7'000 t N ab. Nach einer längeren Periode mit konstanten Werten in den 1990er und 2000er Jahre ist sie 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 Mineraldüngern sowie in einem kleineren Ausmass bei der biologischen Stickstoff-Fixierung zurückgeführt werden kann.

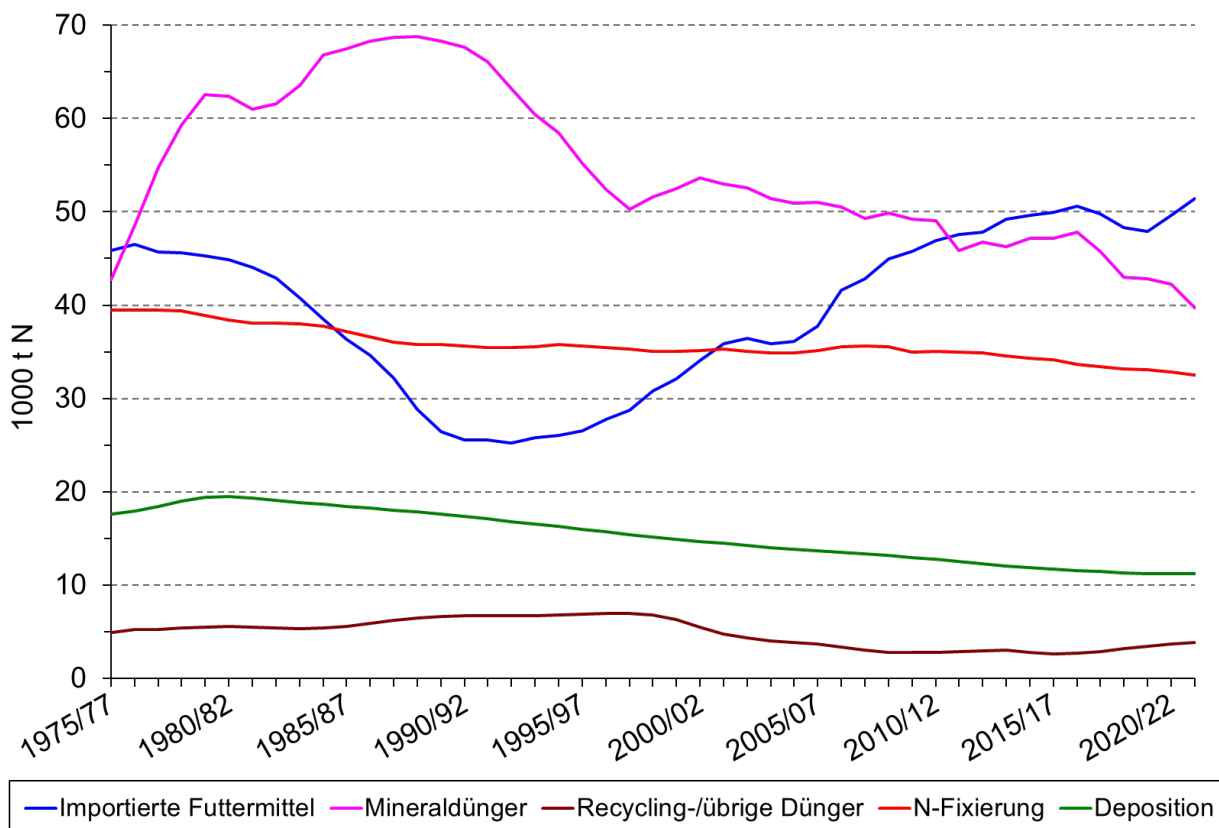


Abbildung 5: Stickstoffmengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975/77 und 2021/23.

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.

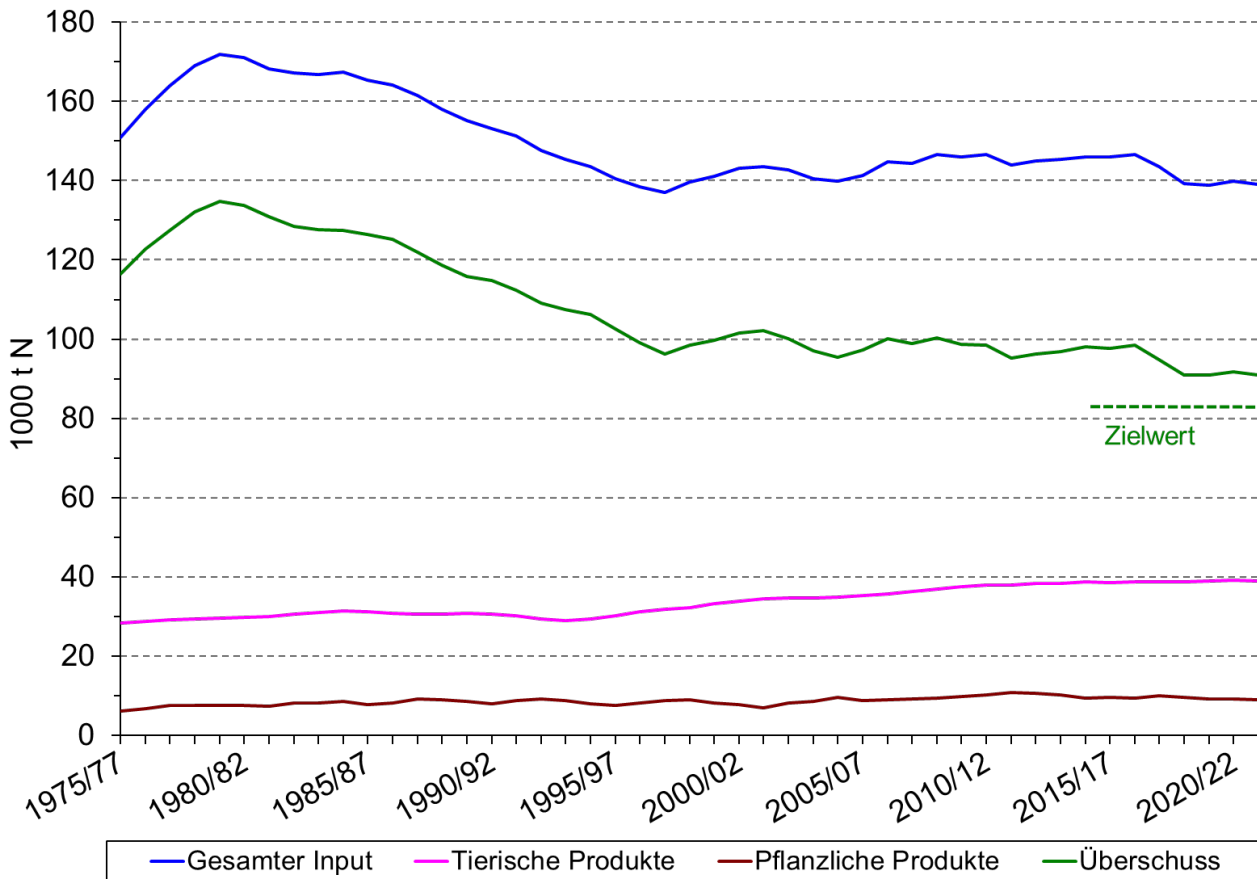


Abbildung 6: Stickstoffmengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) und im Überschuss zwischen 1975/77 und 2021/23 sowie Zielwert einer Reduktion von 15% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 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 rund 7'500 t N leicht höher ist als die Abnahme zwischen 2001/03 und 2004/06. 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 doppelt bis dreimal so hoch wie diejenigen im Mineraldünger. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt wie bei Stickstoff keine eindeutige Änderung.

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 2021/23 um über 2000 t P ab. Die Entwicklung seit 2014/16 zeigt einen Rückgang um 800 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, 2025b).

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 sehr 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 leichten 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 unter 6'000 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 leichten Rückgang.

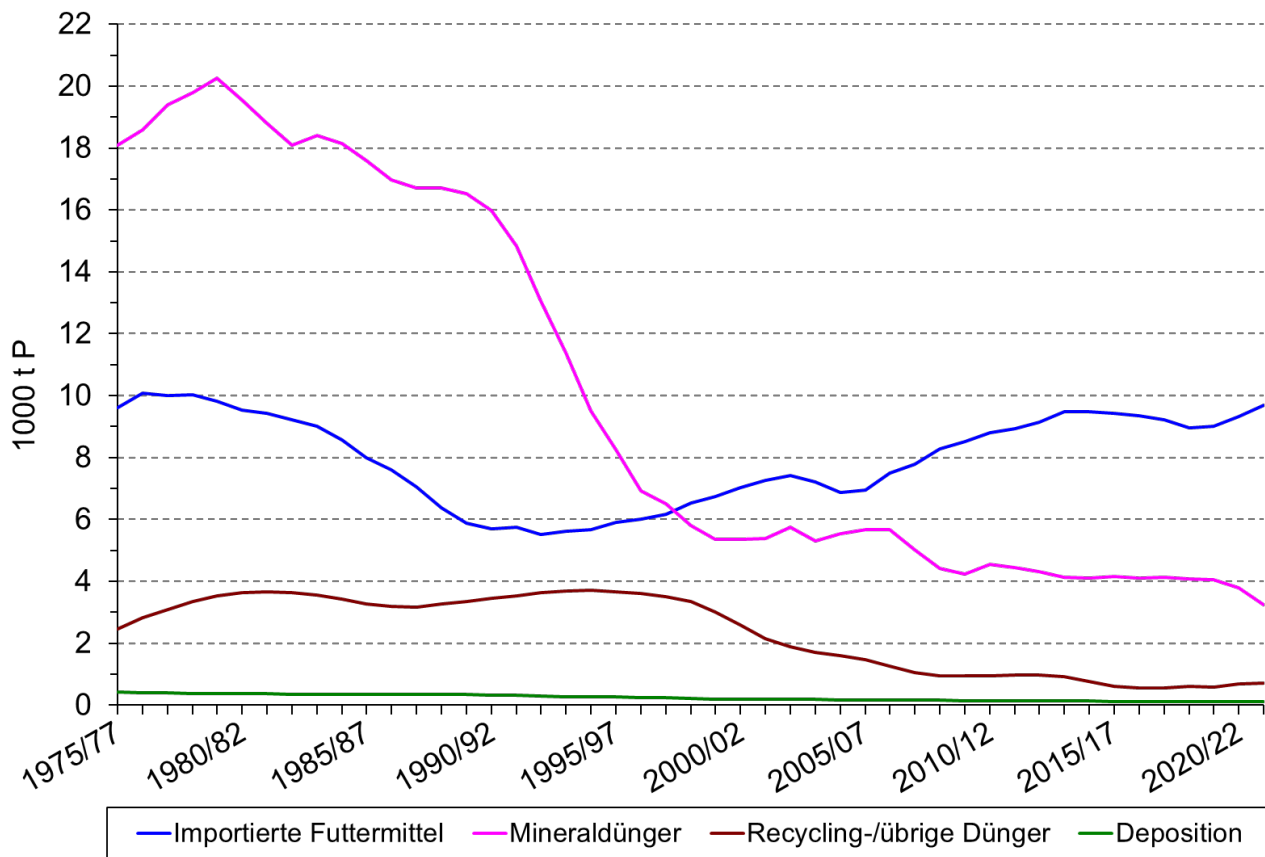


Abbildung 7: Phosphormengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975/77 und 2021/23.

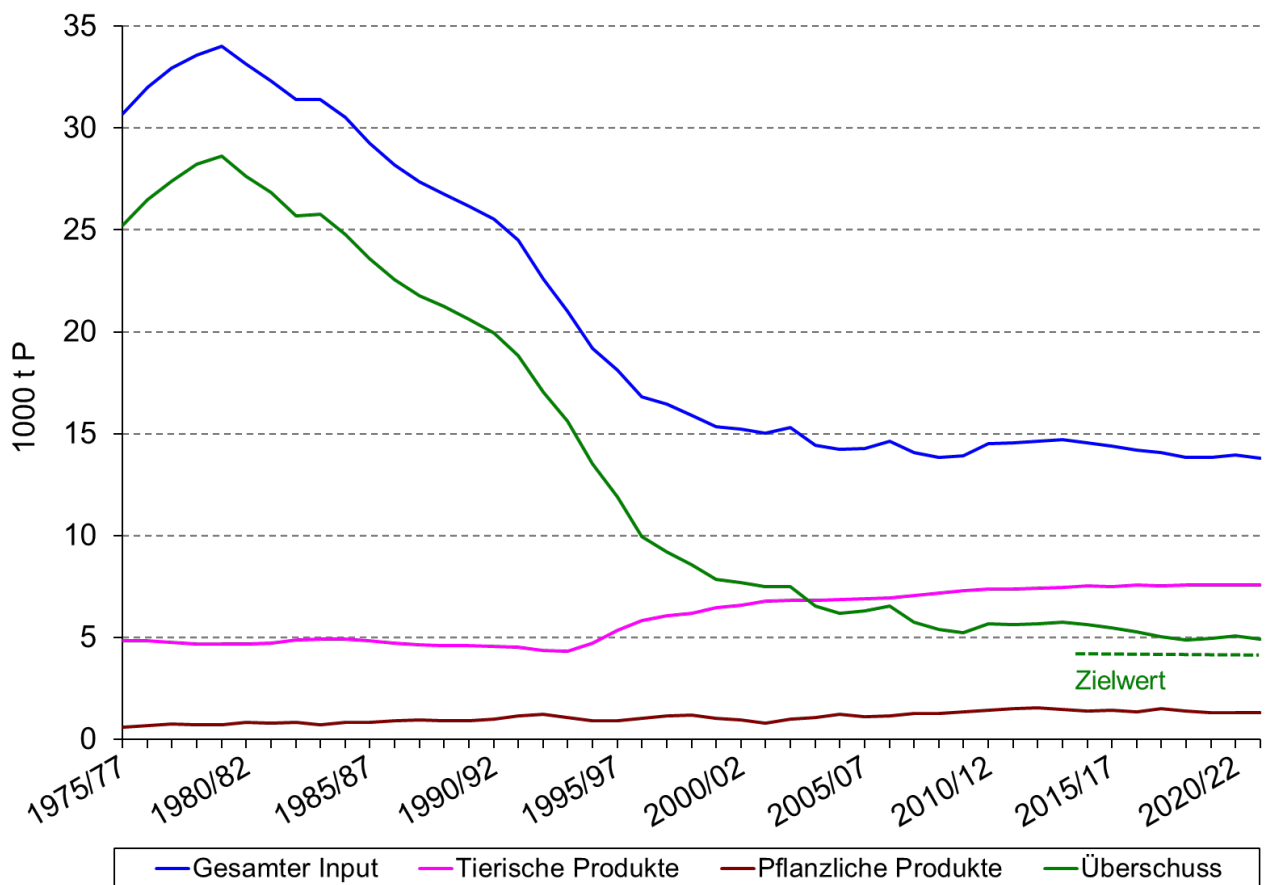


Abbildung 8: Phosphormengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) und im Überschuss zwischen 1975/77 und 2021/23 sowie Zielwert einer Reduktion von 20% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).

5 Schwerpunkt: HODUFLU

Zur Erfüllung der Mitteilungspflicht für Düngelieferungen (Art. 29 DüV, 2025) wurde die Internetapplikation HODUFLU geschaffen, mit der Nährstofftransfers von Hof- und Recyclingdüngern sowie Ernterückständen und Gemüserüstabfälle zwischen Akteuren elektronisch erfasst werden kann. Der Begriff 'Akteur' steht hier für landwirtschaftliche Betriebe (inkl. Sömmerungsbetriebe) sowie gewerbliche und hobby-mässige Betriebe mit Tierhaltung (Kategorie 'Landwirtschaft'), aber auch für Kompostier- und Vergärungsanlagen, gewerbliche Nährstoffpools (Unternehmen, die betriebsfremde Hof- und/oder Recyclingdünger entgegennehmen und verarbeitet oder unverarbeitet weitergeben) und kantonale Ämter, welche Düngelieferungen an ausländische Betriebe und an Hobbygärtner genehmigen (Kategorie 'Gewerbe'). Für die Zuordnung der Abgeber- und Abnehmerbetriebe zu den Kategorien 'Landwirtschaft' und 'Gewerbe' wurde die HODUFLU-Datenbank mit dem Agrarpolitischen Informationssystem AGIS verbunden. Dies ermöglichte eine sichere Zuordnung fast aller Akteure sowie den Einbezug der Anzahl Grossvieheinheiten (GVE), der LN, des Betriebstyps (S4-Betriebstypologie ZA2015; Möhring *et al.* 2022; Renner *et al.* 2018) sowie der Landbauform für die Auswertung.

5.1 Netto-Nährstoffzufuhr in die Landwirtschaft

Bei den Nährstofftransfers zwischen den Akteuren gibt es verschiedene Arten von Nährstoffflüssen: Wenn ein Landwirtschaftsbetrieb einem anderen Landwirtschaftsbetrieb Hofdünger abgibt, ist dies ein landwirtschaftsinterner Fluss. Tabelle 4 zeigt, dass in den Jahren 2017 bis 2024 grosse N- und P-Mengen innerhalb der Landwirtschaft verschoben wurden. Die beiden folgenden Flüsse sind für die nationale Nährstoffbilanz des Landwirtschaftssektors von besonderer Bedeutung: Lieferungen von Hofdüngern aus der Landwirtschaft an das Gewerbe (z.B. Kompostier- und Vergärungsanlagen) sind mit einem Nährstoffexport aus der Landwirtschaft verbunden. Beim umgekehrten Fluss gelangen v.a. vergorene Hofdünger sowie Kompost vom Gewerbe auf die Landwirtschaftsbetriebe, was zu einem Nährstoffinput in die Landwirtschaft führt. Die Differenz zwischen den beiden Flüssen stellt die Netto-Zufuhr in die Landwirtschaft dar und ist ein Schätzwert für die Nährstoffmenge, die mit Co-Substraten der Vergärungsanlagen und mit Grüngut der Kompostieranlagen in die Landwirtschaft gelangt. Beide Nährstoffflüsse haben in den letzten Jahren stark zugenommen, wobei der Anstieg bei der N-Menge aus dem Gewerbe in die Landwirtschaft bedeutend höher ausfiel als beim umgekehrten N-Fluss (Tab. 4). Dies hatte zur Folge, dass beim Stickstoff eine starke Zunahme der Netto-Zufuhr in die Landwirtschaft zu verzeichnen war. Beim Phosphor fiel die Zunahme dagegen gering aus. Der vierte Fluss bildet die Nährstofftransfers innerhalb des Gewerbes ab, wobei die Zufuhr über das Grüngut und die Co-Substrate sowie die Abgabe von Düngern an nicht-landwirtschaftliche Abnehmer nicht in HODUFLU erfasst werden müssen. Die Nährstofftransfers innerhalb des Gewerbes gewinnen an Bedeutung, weil oftmals spezialisierte Firmen den Gülletransport zu den Vergärungsanlagen übernehmen und die Biogasgülle nach dem Rücktransport direkt auf die landwirtschaftlichen Parzellen ausbringen. Bei diesem Vorgehen werden vier statt nur zwei Verschiebungen in HODUFLU erfasst. Aus diesem Grund ist das Gesamttotal der vier Flüsse in Tabelle 4 nicht so aussagekräftig und die entsprechenden Werte müssen mit Vorsicht interpretiert werden.

Tabelle 4: Nährstoffflüsse innerhalb der Landwirtschaft und des Gewerbes sowie zwischen den beiden Kategorien in den Jahren 2017 bis 2024 (in t).

Gesamt-Stickstoff (N_{ges})	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Landwirtschaft → Landwirtschaft	7'873	7'747	7'682	7'737	7'712	9'051	7'734	7'705
Landwirtschaft → Gewerbe	3'773	3'679	3'849	3'980	4'310	3'747	4'209	4'535
Gewerbe → Landwirtschaft	5'744	5'950	6'325	6'965	7'232	7'018	7'751	7'811
Gewerbe → Gewerbe	1'352	1'227	1'407	1'667	1'745	1'658	1'944	2'021
Total	18'741	18'604	19'262	20'350	20'999	21'474	21'638	22'071
Nettozufuhr in Landwirtschaft	1'971	2'270	2'476	2'984	2'922	3'272	3'542	3'275

Phosphor (P)	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Landwirtschaft → Landwirtschaft	1'705	1'688	1'684	1'699	1'690	1'955	1'704	1'698
Landwirtschaft → Gewerbe	874	827	867	945	1'031	874	999	1'079
Gewerbe → Landwirtschaft	1'113	1'112	1'167	1'278	1'277	1'304	1'405	1'366
Gewerbe → Gewerbe	273	268	311	361	360	346	411	428
Total	3'965	3'895	4'029	4'283	4'359	4'480	4'519	4'571
Nettozufuhr in Landwirtschaft	240	285	300	333	245	429	406	286

Die Aufteilung der Nährstoffflüsse mit Beteiligung landwirtschaftlicher Akteure auf die verschiedenen Unterkategorien (Tab. 5) zeigt, dass die Landwirtschafts- und Sömmerungsbetriebe bei beiden Nährstoffen für über 98% der verschobenen Mengen verantwortlich sind. Die Hobbybetriebe und die anderen Betriebe (z.B. gewerbliche Tierhaltung) verursachen gesamthaft nur geringe Nährstoffflüsse. Auffallend ist, dass die Wegfahren bei diesen beiden Kategorien höher sind als die Zufuhren. Dies deutet darauf hin, dass die Betriebe oftmals keine ausreichende düngbare Fläche für den Hofdüngereinsatz aufweisen (z.B. hobbymässige Pferdehaltung, Viehhandelsunternehmen).

Tabelle 5: Aufteilung der zu- und weggeführten Stickstoff- und Phosphormengen auf die Unterkategorien der gesamten Landwirtschaft für das Jahr 2023 (in t).

Unterkategorie:	Stickstoff (N_{ges})		Phosphor (P)	
	Wegfuhr	Zufuhr	Wegfuhr	Zufuhr
Landwirtschaftsbetriebe	11'753	15'293	2'652	3'065
Sömmerungsbetriebe	17	80	4	18
Hobbybetriebe	132	83	33	18
andere Betriebe	41	29	15	8
Total Landwirtschaft	11'943	15'485	2'703	3'109

5.2 Netto-Stickstoffzufuhr in die Biobetriebe und Nicht-Biobetriebe

Im Folgenden werden die Nährstoffflüsse von Biobetrieben und Nicht-Biobetrieben (ÖLN und konventionell) am Beispiel des Gesamtstickstoffs diskutiert. Innerhalb der Nicht-Biobetriebe werden viel grössere Nährstoffmengen mit den Hofdüngern verschoben als innerhalb der Biobetriebe (Tab. 6). Dies trifft auch auf die Mengen pro Betrieb zu, wenn berücksichtigt wird, dass es rund fünfmal mehr Nicht-Biobetriebe als Biobetriebe gibt. Die Nicht-Biobetriebe lieferten den Biobetrieben bedeutend mehr Stickstoff als umgekehrt. Sowohl bei den Biobetrieben als auch bei den Nicht-Biobetrieben nahmen die vom Gewerbe zugeführten N-Mengen zwischen 2017 und 2024 deutlich zu. Während dies bei den Nicht-Biobetrieben auch für den weggeführten Stickstoff galt, blieb bei den Biobetrieben die Wegfuhr ziemlich konstant. Gesamthaft wiesen die Biobetriebe eine bedeutend höhere Netto-Zufuhr (gesamte Zufuhr minus

gesamte Wegfuhr) auf als die Nicht-Biobetriebe, wobei die N-Mengen bei beiden Landbauformen im Laufe der Zeit anstiegen. Bezogen auf die gesamthaft bewirtschaftete Fläche fiel der Unterschied zwischen den Biobetrieben (10,7 kg N_{ges}/ha LN) und den Nicht-Biobetrieben (1,4 kg N_{ges}/ha LN) im Jahr 2024 noch bedeutend grösser aus (Daten nicht in Tabelle dargestellt). Da Biobetriebe keine mineralischen N-Dünger einsetzen dürfen, sind sie stärker auf die Zufuhr von (un-)vergorenen Hofdüngern und Kompost angewiesen. Der darin enthaltene Stickstoff stammt ursprünglich zu einem grossen Teil aus nicht-biologischen Betrieben.

Tabelle 6: Stickstoffflüsse zwischen Biobetrieben, Nicht-Biobetrieben (ÖLN und konventionell) und Gewerbe in den Jahren 2017 bis 2024 (in t N_{ges}).

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Nicht-Biobetriebe								
Nicht-Bio → Nicht-Bio	5'948	5'964	6'015	6'051	6'118	7'218	6'262	6'220
Nicht-Bio → Bio	901	874	858	874	848	865	820	815
Bio → Nicht-Bio	127	65	40	35	34	47	24	24
Nicht-Bio → Gewerbe	3'346	3'541	3'695	3'803	4'062	3'570	3'960	4'200
Gewerbe → Nicht-Bio	4'620	4'991	5'220	5'662	5'863	5'723	6'244	6'212
Netto-Zufuhr	500	642	708	1'020	987	1'334	1'488	1'222
Biobetriebe								
Bio → Bio	307	303	300	331	339	409	351	386
Bio → Nicht-Bio	127	65	40	35	34	47	24	24
Nicht-Bio → Bio	901	874	858	874	848	865	820	815
Bio → Gewerbe	620	313	285	318	329	317	317	340
Gewerbe → Bio	1'241	1'057	1'181	1'369	1'427	1'469	1'545	1'597
Netto-Zufuhr	1'395	1'553	1'713	1'890	1'911	1'970	2'024	2'048

5.3 Stickstoffwegfuhr aus Landwirtschaftsbetrieben und Stickstoffzufuhr über vergorene Hofdünger und Kompost

Die von der Landwirtschaft abgegebenen Hofdünger stammten - auf den Stickstoff bezogen - zum grössten Teil von den Schweinen (45% im Jahr 2024), vom Rindvieh (30%) sowie vom Geflügel (20%) (Tab. 7). Die Anteile beim Phosphor waren bei den Schweinen und beim Rindvieh leicht niedriger, beim Geflügel dagegen etwas höher (Daten nicht dargestellt). Grosse Zunahmen zwischen 2017 und 2024 verzeichnete das Rindvieh, während die Mengen bei den Schweinen nur wenig zunahmen und beim Geflügel ziemlich konstant blieben. Bei den vom Gewerbe an die Landwirtschaft gelieferten Dünger machten die in den Vergärungsanlagen vergorenen Produkte rund 80% und der Kompost 20% aus. Die N-Mengen nahmen in der Untersuchungsperiode bei beiden Düngergruppen um fast die Hälfte zu.

Tabelle 7: N-Menge in den von der Landwirtschaft abgegebenen Hofdüngern (nach Tierkategorie aufgeschlüsselt) und Ernterückständen sowie in den vom Gewerbe an die Landwirtschaft abgegebenen Düngern in den Jahren 2017 bis 2024 (in t N_{ges}).

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Landwirtschaft								
Hofdünger								
Rindvieh	2'401	2'553	2'765	2'929	3'092	2'922	3'352	3'576
Pferde	278	281	306	321	317	294	335	376
Schafe und Ziegen	40	55	58	66	77	73	77	87
Schweine ¹⁾	5'023	5'008	5'443	5'524	5'576	5'400	5'371	5'347
Geflügel	2'519	2'213	2'307	2'388	2'428	2'214	2'329	2'382
unbekannte Herkunft	872	859	124	107	114	96	116	142
Ernterückstände	6	87	79	29	50	47	70	67
Gewerbe								
vergorene Produkte	3'981	4'371	4'740	5'146	5'436	4'715	5'944	5'959
Kompost	1'042	1'206	1'286	1'486	1'478	1'165	1'407	1'442

¹⁾ Mischgülle von Rindvieh/Schweinen wurde den Schweinen zugeordnet und machte rund 20% der Schweinegülle aus

5.4 Stickstoffzufuhr und -wegfuhr nach landwirtschaftlichen Betriebstypen

Nachfolgend werden die Flüsse des Stickstoffs in Hof- und Recyclingdüngern, die von Landwirtschaftsbetrieben weggeführt oder ihnen zugeführt wurden, aufgeschlüsselt nach Betriebstyp betrachtet. Negative Bilanzen (Wegfuhr > Zufuhr) wiesen im Jahr 2023 die vier Betriebstypen mit Veredelung auf (Tab. 8). Betriebe mit bedeutenden Schweine- und/oder Geflügelbeständen haben oftmals eine hohe Tierdichte (Anzahl DGVE/ha LN). Sie müssen daher nicht nur beträchtliche Futtermengen zuführen, sondern auch viel Gülle und Mist wegführen, damit die Nährstoffmenge in den ausgebrachten Hofdüngern den Pflanzenbedarf nicht übersteigt. Auf gewissen Betrieben (z.B. zahlreiche Käsereien mit traditioneller Schweinehaltung) erfolgt die Produktion bodenunabhängig. Bovier und Chassot (2004) stellten fest, dass solche Betriebe hauptsächlich in den Kantonen Thurgau, St. Gallen, Luzern und Freiburg vorkommen. Die teilweise oder sogar vollständig bodenunabhängige Produktion auf vielen Betrieben hatte zur Folge, dass im Jahr 2023 bei den Betriebstypen 'Schweine', 'Geflügel' und 'Andere Veredelung' die auf die LN aller Betriebe bezogene N-Bilanz stark negativ ausfiel, d.h. es wurden mit den Hofdüngern grosse N-Mengen pro Hektare weggeführt. Auf sämtlichen Betrieben des Betriebstyps 'Schweine' wurden z.B. rund 78'000 GVE auf etwas über 9'500 ha LN gehalten. Die Netto-Wegfuhr von 298 kg N/ha entsprach dem Nährstoffanfall von etwa 3 DGVE/ha. Im Betriebstyp 'Kombiniert Veredelung' wurden zwar ebenfalls sehr grosse N-Mengen weggeführt, aber auch bedeutenden Mengen mit Hof- und Recyclingdüngern zugeführt. Von den absoluten Werten her wurde bei diesem Betriebstyp am meisten Stickstoff netto weggeführt. Da aber dieser Betriebstyp eine grosse Gesamtfläche aufwies, fiel die flächenbezogene N-Wegfuhr deutlich geringer aus als bei den drei anderen Betriebstypen mit Veredelung.

Die grössten Netto-N-Zufuhr (Zufuhr > Wegfuhr) mit Hof- und Recyclingdüngern wurden in den Betriebstypen 'Ackerbau' (2613 t N_{ges}), 'kombiniert nicht zuteilbar' (1352 t N_{ges}) und 'Milchproduktion mit Aufzucht/Mast' (1155 t N_{ges}) beobachtet. Auf die Fläche bezogen war die Netto-Zufuhr jedoch im 'Gemüse-/Gartenbau' mit 35 kg N/ha LN am höchsten, gefolgt von den Ackerbaubetrieben mit über 30 kg N/ha LN. Auf die Fläche bezogen wurden in diesen beiden Betriebstypen auch die grössten Mist- und Kompostmengen zugeführt. Bezüglich der Verbesserung der Humusbilanz ist dies im Acker- und Gemüsebau sehr erwünscht, bezüglich der Nitratauswaschung stellen Mist und Kompost mit einem hohen Anteil an organischem Stickstoff jedoch eine Herausforderung dar, weil organischer Stickstoff auch in Zeiten mineralisiert wird, wo kein oder nur ein geringer Pflanzenbedarf besteht (Dahlin *et al.* 2005; Sørensen und Jensen 2013; Walther und Jäggi 1992) und weil die N-Nachwirkung der organischen Dünger nach dem Ausbringungsjahr in der Suisse-Bilanz noch zu wenig berücksichtigt wird.

Tabelle 8: Wegfuhr, Zufuhr und Bilanz des Stickstoffs in den Hof- und Recyclingdüngern sowie Strukturdaten aufgeschlüsselt nach landwirtschaftlichem Betriebstyp für das Jahr 2023.

FAT-Betriebstyp	Anzahl Betriebe	Anzahl GVE ¹⁾	Fläche ha LN	Wegfuhr t N _{ges}	Zufuhr t N _{ges}	Bilanz t N _{ges}	Bilanz kg N/ha
Ackerbau	2'567	18'599	81'507	125	2'613	2'487	30.5
Gemüse-/Gartenbau	838	3'804	20'921	100	835	735	35.1
Obstbau	597	1'285	8'327	3	194	191	22.9
Weinbau	2'279	1'597	18'609	19	134	115	6.2
Andere Spezialkulturen	518	2'054	8'751	5	207	201	23.0
Milchproduktion ohne Aufzucht/Mast	807	22'741	15'155	104	246	143	9.4
Milchproduktion mit Aufzucht/Mast	10'117	335'208	252'276	873	2'028	1'155	4.6
Mutterkühe	4'289	108'274	96'215	137	612	475	4.9
Rindvieh gemischt	3'894	97'757	90'961	213	614	401	4.4
Pferde/Schafe/Ziegen	5'156	54'375	47'894	219	360	141	3.0
Schweine	875	78'380	9'524	2'963	122	-2'841	-298.3
Geflügel	528	29'316	6'136	782	108	-673	-109.7
Andere Veredlung	19	1'369	348	38	10	-28	-79.6
Kombiniert Milchkühe/Ackerbau	1'700	74'250	62'319	521	1'231	709	11.4
Kombiniert Mutterkühe	1'492	47'066	47'587	178	1'052	874	18.4
Kombiniert Veredlung	3'952	262'176	105'486	4'308	1'457	-2'851	-27.0
Kombiniert Andere/Milchkühe	2'008	97'160	70'932	597	1'113	516	7.3
Kombiniert Andere/Rindvieh	944	23'428	27'539	264	692	428	15.5
Kombiniert nicht zuteilbar	4'004	52'415	70'268	228	1'580	1'352	19.2
Total	46'584	1'311'256	1'040'756	11'676	15'207	3'531	3.4

¹⁾ Eine GVE (Grossvieheinheit) entspricht in den meisten Fällen genau einer Düngergrossvieheinheit (DGVE).

5.5 Abschätzung der weggeführten Nährstoffmengen aus Landwirtschaftsbetrieben mit zu viel Hofdünger für den Pflanzenbau

Landwirtschaftsbetriebe geben aus verschiedenen Gründen Hofdünger, Ernterückstände und Gemüserüstabfälle an andere Landwirtschaftsbetriebe oder an gewerbliche Betriebe ab: Ein Hauptgrund ist die Abgabe von Hofdüngerüberschüssen, wenn Betriebe zu viele Tiere in Bezug zur düngbaren Fläche halten. Aber auch Betriebe mit ausreichender Fläche geben Hofdünger ab, z.B. damit sie mehr Spielraum für eine ergänzende mineralische N-Düngung erhalten oder wenn sich die eigenen organischen Dünger nicht optimal für die Düngung der Kulturen eignen. Dies kann beispielsweise im Gemüsebau der Fall sein, wenn grosse Mengen an N-reichen Ernterückständen oder Rüstabfällen verwertet werden müssen, oder bei kombinierten Betrieben, wenn der Anfall an Hühner-, Pferde- oder Laufstallmist hoch ist und dadurch die zeitliche Versorgung der Ackerkulturen mit Stickstoff nicht optimal gestaltet werden kann. Im letzten Fall kommt es häufig vor, dass Betriebe einen Teil des Mists an Dritte abgeben und dafür Gülle von anderen Betrieben übernehmen. Eine detailliertere Auswertung der Nährstofftransfers für den Betriebstyp 'Pferde/Schafe/Ziegen' zeigt, dass diese Betriebe bedeutend mehr Mist weg- als zugeführt haben und dass es bei der Gülle gerade umgekehrt war (Tab. 9). Insgesamt resultierte daraus eine Netto-Zufuhr von 141 t N_{ges}. Ein weiterer Grund für eine Wegfuhr von Hofdüngern aus der Landwirtschaft liegt dann vor, wenn ein Betrieb Gülle und Mist an eine Kompostier- oder Vergärungsanlage liefert und im Gegenzug dafür Recyclingdünger von dieser Anlage übernimmt.

Tabelle 9: Wegfuhr und Zufuhr von Stickstoff in (un-)vergorenen Hofdüngern und Kompost im Betriebstyp 'Pferden/Schafe/Ziegen' im Jahr 2023 (in t N_{ges}).

	Gülle	Mist	Kompost	Total
Wegfuhr	11	208	0	219
Zufuhr	317	33	10	360
Zufuhr-Wegfuhr-Bilanz	306	-175	10	141

Im Folgenden wurde abgeschätzt, welche Nährstoffmengen mit Hofdüngern von Landwirtschaftsbetrieben weggeführt wurden, weil die düngbare Fläche nicht ausreichte oder weil mehr Spielraum für die Ergänzungsdüngung mit mineralischem Stickstoff geschaffen werden sollte. In einem ersten Schritt wurden die Nährstoffmengen in den weggeführten Hofdüngern für alle Betriebe berechnet (Gruppe A; Summe der Flüsse 'Landwirtschaft → Landwirtschaft' und 'Landwirtschaft → Gewerbe' in Tab. 4). Viele Betriebe gaben zwar kleinere Hofdüngermengen ab, aber sie führten mit betriebsfremden Düngern mehr Nährstoffe zu als weg. Es wurde davon ausgegangen, dass diese Betriebe Hofdünger an Kompostier- und Vergärungsanlagen abgaben, um im Gegenzug Recyclingdünger von ihnen zu übernehmen, und/oder dass sie z.B. Mist wegführten und dafür einfacher im Pflanzenbau einzusetzende Dünger wie Gülle übernahmen. In einem zweiten Schritt wurde deshalb die Netto-Wegfuhr (Wegfuhr minus Zufuhr) nur für diejenigen Betriebe berechnet, die mehr Nährstoffe weg- als zuführten (Gruppe B). Die Wegfuhr wurde netto und nicht brutto berechnet, damit der Düngeraustausch mit Kompostier- und Vergärungsanlagen bzw. mit anderen Landwirtschaftsbetrieben ausgeschlossen werden konnte.

Tabelle 10: Wegfuhr von Stickstoff und Phosphor in Hof- und Recyclingdüngern von allen Landwirtschaftsbetrieben (Gruppe A) und Netto-Wegfuhr (Wegfuhr minus Zufuhr) für nur diejenigen Betriebe, die mehr Nährstoffe weg- als zuführten (Gruppe B) aufgeschlüsselt nach Betriebstyp(gruppen) für das Jahr 2023.

	Alle Betriebe mit Wegfuhr (A)		Nur Betriebe mit Wegfuhr > Zufuhr (B)		Anteil von B an A	
	t N _{ges}	t P	t N _{ges}	t P	N _{ges}	P
Ackerbau	111	24	17	4	15%	15%
Spezialkulturen	138	22	42	7	31%	33%
Rindvieh (inkl. kombiniert)	3'189	644	1'754	368	55%	57%
Pferde/Schafe/Ziegen	209	58	138	41	66%	71%
Schweine	2'940	618	2'858	602	97%	97%
Geflügel	777	244	704	227	91%	93%
Veredelung andere + komb.	4'370	1'038	3'486	867	80%	84%
Landwirtschaft¹⁾	11'943	2'703	9'170	2'163	77%	80%

¹⁾ inkl. Sömmerungs-, Hobby- sowie gewerbliche Betriebe, die alle keinem Betriebstyp zugeordnet werden können

Für das Jahr 2023 wurden die Nährstoffmengen, die mit Hofdüngern von Landwirtschaftsbetrieben wegen nicht ausreichender düngbarer Fläche oder zur Schaffung von mehr Spielraum für die Ergänzungsdüngung weggeführt wurden, auf 9'170 t N_{ges} und 2'163 t P geschätzt (Tab. 10). Diese Mengen machten beim Stickstoff 77% und beim Phosphor 80% der von allen Landwirtschaftsbetrieben mit Hofdünger weggeführten Nährstoffmengen aus. Umgekehrt bedeuten diese Resultate, dass etwa 20% der Hofdünger an Kompostier- und Vergärungsanlagen sowie an andere Landwirtschaftsbetriebe abgegeben wurden, um sie gegen Recycling- oder andere Hofdünger zu tauschen.

Während die Unterschiede zwischen Stickstoff und Phosphor nur gering ausfielen, zeigten sich grosse Unterschiede je nach Betriebstyp(gruppe). Im Ackerbau und bei den Spezialkulturen war der Anteil der Nährstoffwegfuhr infolge zu viel Hofdünger gering. Dagegen erreichte er in den Betriebstypen 'Schweine' mit je 97% und 'Geflügel' mit 91% (N) bzw. 93% (P) hohe Werte, was auf hohe Tierdichten in den betreffenden Betrieben hindeutet. Die Rindviehbetonten Betriebstypen nahmen eine Mittelstellung ein.

5.6 Netto-Wegfuhr von Stickstoff und Phosphor aus Landwirtschaftsbetrieben in Abhängigkeit von der Tierdichte

In einer weiteren Auswertung wurde die Netto-Wegfuhr der entsprechenden Landwirtschaftsbetriebe in Beziehung zur Tierdichte gesetzt. Anschliessend wurden die netto weggeführten N- und P-Mengen pro Tierdichte-Klasse aufsummiert (Tab. 11). Die Ergebnisse für das Jahr 2023 zeigen, dass nur etwa 25% der mit Hofdüngern verschobenen Nährstoffe von Betrieben mit einer Tierdichte von unter 3 GVE/ha LN stammten. Eine GVE entspricht fast immer einer DGVE und nach Gewässerschutzgesetz (GSchG 2025) darf höchstens der Dünger von 3 DGVE auf 1 ha LN ausgebracht werden. Dies entspricht einem Anfall im Hofdünger von 315 kg N/ha bzw. 45 kg P/ha. Insbesondere für Phosphor ist diese Limite hoch und sie dürfte deshalb nur auf wenigen Landwirtschaftsbetrieben, z.B. mit sehr intensivem Futterbau, erreicht werden. Rund 55% des Stickstoffs und Phosphors wurden im Jahr 2023 von Betrieben mit einer Tierdichte von mehr als 3 GVE/ha LN weggeführt. Weitere 20% fielen auf Betriebe, die vollständig bodenunabhängig geführt wurden. Somit stammten insgesamt 75% der netto weggeführten Nährstoffe von Betrieben, die ihre Hofdünger nur zum Teil oder sogar überhaupt nicht auf ihrem Betrieb für die Pflanzendüngung einsetzen konnten. Die Abgabe von Hofdüngerüberschüssen wurde dadurch erschwert, dass sich die betroffenen Betriebe häufig in Regionen mit hoher Tierdichte befanden. Eine Zusammenstellung der HODUFLU-Daten für das Jahr 2021 (Hofer 2022) zeigt, dass in den Kantonen Luzern und Aargau sowie in der Ostschweiz (Kantone St. Gallen und Appenzell-Innerrhoden) ein Teil des überschüssigen Hofdüngers ausserhalb dieser Regionen verwertet werden musste. Nach Möhring (2023) lagen in den Jahren 2015-20 die Distanzen für den Transport des Hof- und Recyclingdüngers aus diesen Gebieten über dem gesamtschweizerischen Mittel von etwa 11 km. Das Problem mit den Hofdüngerüberschüssen kann durch den Wegtransport in andere Regionen nur teilweise gelöst werden. Durch die intensive Tierhaltung entstehen auch höhere Ammoniakemissionen, insbesondere aus Ställen und Laufhöfen. In der Innerschweiz beispielsweise überschritten die Ammoniakkonzentrationen von 2010 bis 2022 im mehrjährigen Mittel den Critical Level für höhere Pflanzen von 3 µg/m³ in 13 von 17 langjährigen Messgebieten zum Teil sehr deutlich (Wey 2023).

Tabelle 11: Netto-Wegfuhr (Wegfuhr – Zufuhr) von Stickstoff und Phosphor in Hof- und Recyclingdüngern in Abhängigkeit von der Tierdichte (GVE/ha) im Jahr 2023.

GVE/ha	Tonnen		%		% aufsummiert	
	N _{ges}	P	N _{ges}	P	N _{ges}	P
0 - 0.5	38	7	0.4%	0.3%	0.4%	0.3%
0.5 - 1.0	84	19	0.9%	0.9%	1.3%	1.2%
1.0 - 1.5	224	55	2.4%	2.5%	3.8%	3.7%
1.5 - 2.0	464	117	5.1%	5.4%	8.8%	9.2%
2.0 - 2.5	694	167	7.6%	7.7%	16.4%	16.9%
2.5 - 3.0	783	182	8.5%	8.4%	24.9%	25.3%
3.0 - 4.0	1'414	332	15.4%	15.3%	40.4%	40.6%
4.0 - 5.0	988	234	10.8%	10.8%	51.1%	51.4%
5.0 - 10.0	1'544	368	16.8%	17.0%	68.0%	68.4%
> 10.0	1'024	265	11.2%	12.2%	79.1%	80.7%
ohne LN	1'852	399	20.2%	18.4%	99.3%	99.1%
unbekannt	61	19	0.7%	0.9%	100.0%	100.0%
Summe	9'170	2'163	100.0%	100.0%		

Die Haltung von Nutztieren (besonders Monogastriern wie Schweinen und Geflügel) ohne ausreichende Futterproduktion und Flächen zum Ausbringen der Hofdünger bedeutet letztlich, dass ein Teil der Nutztierhaltung von der Pflanzenproduktion getrennt wird. Diese Entwicklung fand nicht nur in der Schweiz, sondern weltweit statt und wurde durch tiefe Erdölpreise gefördert. Tiefe Energiepreise begünstigen nicht nur den Transport von Futter oder überschüssigem Hofdünger, sondern auch die Herstellung von mineralischen N-Düngern, welche mit hohem Energieaufwand verbunden ist (Franzleubbers und Martin 2022). Denn die Mineraldünger sind in einem Ackerbau,

der nicht mit Tierhaltung kombiniert ist, unentbehrlich. Die Trennung der Nutztierhaltung von der Pflanzenproduktion ist in den erwähnten Regionen der Schweiz nie vollständig und bei weitem nicht so stark fortgeschritten wie in gewissen Teilen der Welt (z.B. Lombardei, Bretagne, Niederlande (Peyraud *et al.* 2014); Schweine- und Geflügelhaltung in Indien und ostasiatischen Ländern (Menzi *et al.* 2003, Naylor *et al.* 2005); Ausmast von Rindern in Feedlots in den Great Plains, USA (Franzluebbers *et al.* 2011)). Angesichts der grossen Probleme in diversen Regionen der Welt wird von verschiedener Seite gefordert, dass die Tierhaltung und die Pflanzenproduktion wieder miteinander verbunden werden (flächengebundene Tierhaltung; Naylor *et al.* 2005, Peyraud *et al.* 2014). Auch in den Gebieten mit hoher Tierdichte in der Schweiz stellt sich die Frage, ob eine stärkere Kopplung von Tier- und Pflanzenproduktion nicht ein bedenkenswerter Ansatz für eine nachhaltige Lösung sein könnte. Diese Kopplung muss nicht unbedingt auf Betriebsebene erfolgen, sie kann auch auf Ebene der Gemeinde oder des Bezirks erfolgen (Franzluebbers und Martin 2022, Peyraud *et al.* 2014).

6 Literaturverzeichnis

- Agricura, 2025. Agricura Plattform - Tätigkeitsbericht. Bern, diverse Jahrgänge.
- agristat, 2025a. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Schweizer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge. www.agristat.ch [03.11.2025]
- agristat, 2025b. AGRISTAT – statistisches Monatsheft. Schweizer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge. www.agristat.ch [03.11.2025]
- agristat, 2025c. Schriftliche Mitteilungen von S. Giuliani, Schweizer Bauernverband, Brugg.
- Agroscope, 2023. Schweizerische Futtermitteldatenbank feedbase. www.feedbase.ch [03.11.2025]
- 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 [03.11.2025]
- 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.
- Baumgartner S., Gilgen A., Epper C., Merbold L. und Liebisch F., 2025. Nährstoffbilanzvergleich: Betriebsbilanzierung von Stickstoff und Phosphor anhand zweier unterschiedlicher Methoden: Suisse-Bilanz und Bodenoberflächenbilanz. Agroscope Science Nr. 205, 37 pp.
- BAZG, 2025. Swiss-Impex. Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) Bern. www.gate.ezv.admin.ch/swissimpex/ [04.07.2024]
- BFS, 2025. Umweltindikatoren, Emissionen und Abfälle. www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltindikatoren/alle-indikatoren/emissionen-und-abfaelle.html [31.10.2025]
- BLW, 2021. Ressourceneffizienzbeiträge, Agrarbericht 2021 <https://2021.agrarbericht.ch/de/politik/direktzahlungen/ressourceneffizienzbeitraege> [31.10.2025]
- BLW, 2023. 30 Jahre Direktzahlungen, Agrarbericht 2023. <https://2023.agrarbericht.ch/de/politik/direktzahlungen/30-jahre-direktzahlungen> [31.10.2025]
- BLW, 2025. HODUFLU. www.blw.admin.ch/de/anwendung-hoduflu [03.11.2025]
- Boltshauer M., Bracher A., Böhlen M., Cafagna F. und Taliun A., 2012. Die Schweizerische Futtermitteldatenbank www.feedbase.ch. *Agrarforschung Schweiz* 3, 112-114.
- Bosshard C., Spiess E. und Richner W., 2012. Schlussbericht zur Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz zuhanden des Bundesamts für Landwirtschaft (2012). Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zürich.
- Bovier R. et Chassot G., 2004. Répartition géographique des animaux de rente et topographie des eaux en Suisse. *Revue suisse d'agriculture* 36, 53-56.
- 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.
- Bundesrat, 2025. Stellungnahme des Bundesrats zur Interpellation Müller «Ist Digiflux wie angedacht nutzbringend umsetzbar?» www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20253487 [31.10.2025]
- Dahlin S., Kirchmann H., Kätterer T., Gunnarsson S. and Bergström L., 2005. Possibilities for improving nitrogen use from organic materials in agricultural cropping systems. *Ambio* 34, 288-295.
- DuV, 2025. Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngern (Düngerverordnung, DüV) vom 1. November 2023 (Stand am 1. Juni 2025). www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2023/711/de [03.11.2025]
- 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 [03.11.2025]
- EKL, 2007. Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Luftthygiene (EKL), Bern. 141 pp.

- EMEP/CEIP, 2025. Officially reported emission data. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP), Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP). www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata [03.11.2025].
- Erdin D., 2022. Der Ukraine-Krieg und die Landwirtschaft. *AGRISTAT aktuell* 22-05, 6-11. www.agristat.ch [03.11.2025]
- Erdin D. und Giuliani S., 2011. Kraftfutterverbrauch der gemolktenen 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 [03.11.2025]
- 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.
- Franzluubbers A., Steiner J.L., Karlen D., Griffin T., Singer J., Tanaka D., 2011. Rainfed farming systems in the USA. In: Tow P., Cooper I., Partridge I., Birch C. (Eds.): *Rainfed Farming Systems*. Springer, Dordrecht, 511-560.
- Franzluubbers A.J. and Martin G., 2022. Reconnecting cropping and livestock operations to enhance circularity and avoid ecological collapse. *Grassland Science in Europe* 27, 505-514.
- Gisiger L., 1957. Versuch einer bilanzmässigen Betrachtung der schweizerischen Düngewirtschaft. *Mitt. Schweiz Landw.* 5, 138-145.
- Giuliani S., 2022. Dünger: Preis- und Importentwicklung in Zeiten der Unruhe. *AGRISTAT aktuell* 22-04, 6-11. www.agristat.ch [03.11.2025]
- 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.
- GSchG, 2025. Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991 (Stand am 1. August 2025). www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/de [02.10.2025]
- 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.sbv-usp.ch/fileadmin/user_upload/Aktuell_AGRISTAT_2022-07.pdf [06.10.2025]
- Hofer N., 2022. Hof- und Recyclingdünger im HODUFLU. *AGRISTAT aktuell* 22-06, 6-12. www.sbv-usp.ch/fileadmin/sbvuspch/04_Medien/Agristat_aktuell/2022/Aktuell_AGRISTAT_2022-06.pdf [06.10.2025]
- 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 [03.11.2025]
- 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> [03.11.2025]
- 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.
- Menzi H., Gerber P. und Steinfeld H., 2003. Nutztierdichte und Nährstoffbilanzen in Asien. *Agrarforschung* 10, 92-97.
- Möhring A., 2023. Analyse des Hofdüngemarktes in der Schweiz. *Agroscope Science* 146, 41 pp.

- Naylor R., Steinfeld H., Falcon W., Galloway J., Smil V., Bradford E., Alder J. and Mooney H., 2005. Losing the links between livestock and land. *Science* 310, 1621-1622.
- Nucera E., Huguenin-Elie O., Mayer J., Liebisch F. und Spiess E., 2003. Method for estimating nitrogen input by symbiotic fixation on Swiss farms. *Agroscope Science* 164, 49 pp.
- Obrist L., 2020. Produktion und Verbrauch von Milch und Milchprodukten 2019. *AGRISTAT aktuell* 20-03, 6-13. www.agristat.ch [03.11.2025]
- 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/page16 [03.11.2025].
- PARCOM, 1988. PARCOM Recommendation 88/2 on the Reduction in Inputs of Nutrients to the Paris Convention Area. www.ospar.org/convention/agreements/page18 [03.11.2025]
- Peyraud J.-L., Taboada M. and Delaby L., 2014. Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America: A review. *Europ. J. Agronomy* 57, 31-42.
- Renner S., Jan P., Hoop D., Schmid D., Dux D., Weber A. und Lips M., 2018. Das Erhebungssystem ZA2015 der Zentralen Auswertung von Buchhaltungsdaten: Stichprobe Einkommenssituation und Stichprobe Betriebsführung. *Agroscope Science* 68, 105 pp.
- 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. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/studien/luftstudien.html [03.11.2025]
- Sørensen P. and Jensen L.S., 2013. Nutrient leaching and runoff from land application of animal manure and measures for reduction. In: Sommer S.G. *et al.* (Eds.): Animal manure recycling: treatment and management. John Wiley & Sons, 195-210.
- 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 [03.11.2025]
- Spiess E. und Liebisch F., 2020. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2018. *Agroscope Science* 100, 30 pp.
- Spiess E. und Liebisch F., 2024. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2022. *Agroscope Science* 198, 29 pp.
- van Eerd 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 [03.11.2025]
- Walther U. und Jäggi W., 1992. Bodenmikroorganismen bringen Mist zur Wirkung, aber... *Die Grüne* Nr. 51, 13-15.
- Wey H., 2023. Messbericht Ammoniak - Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2022. inNET Monitoring AG, Altdorf und Luzern, 60 pp.

Anhang

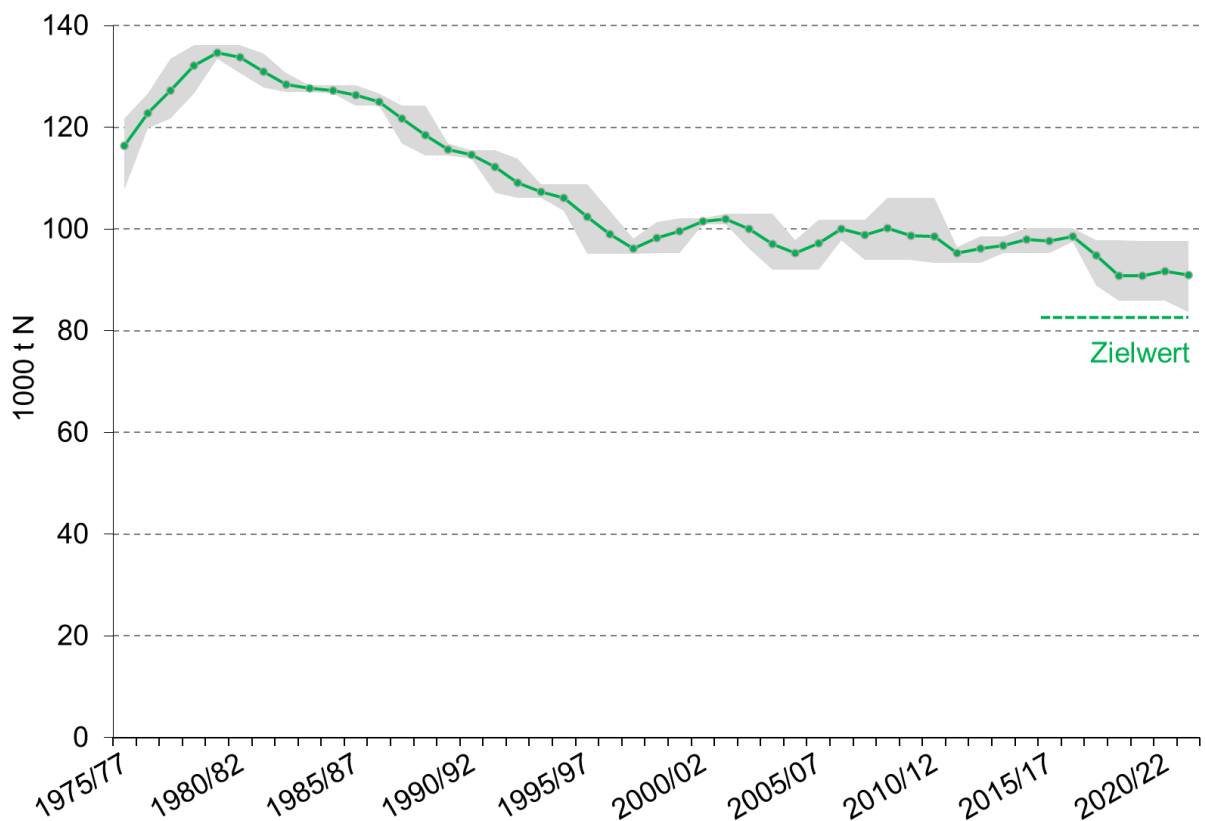


Abbildung A1: Stickstoff-Überschuss zwischen 1975/77 und 2021/23 mit Schwankungsbereich (Maximum – Minimum) sowie Zielwert einer Reduktion von 15% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).

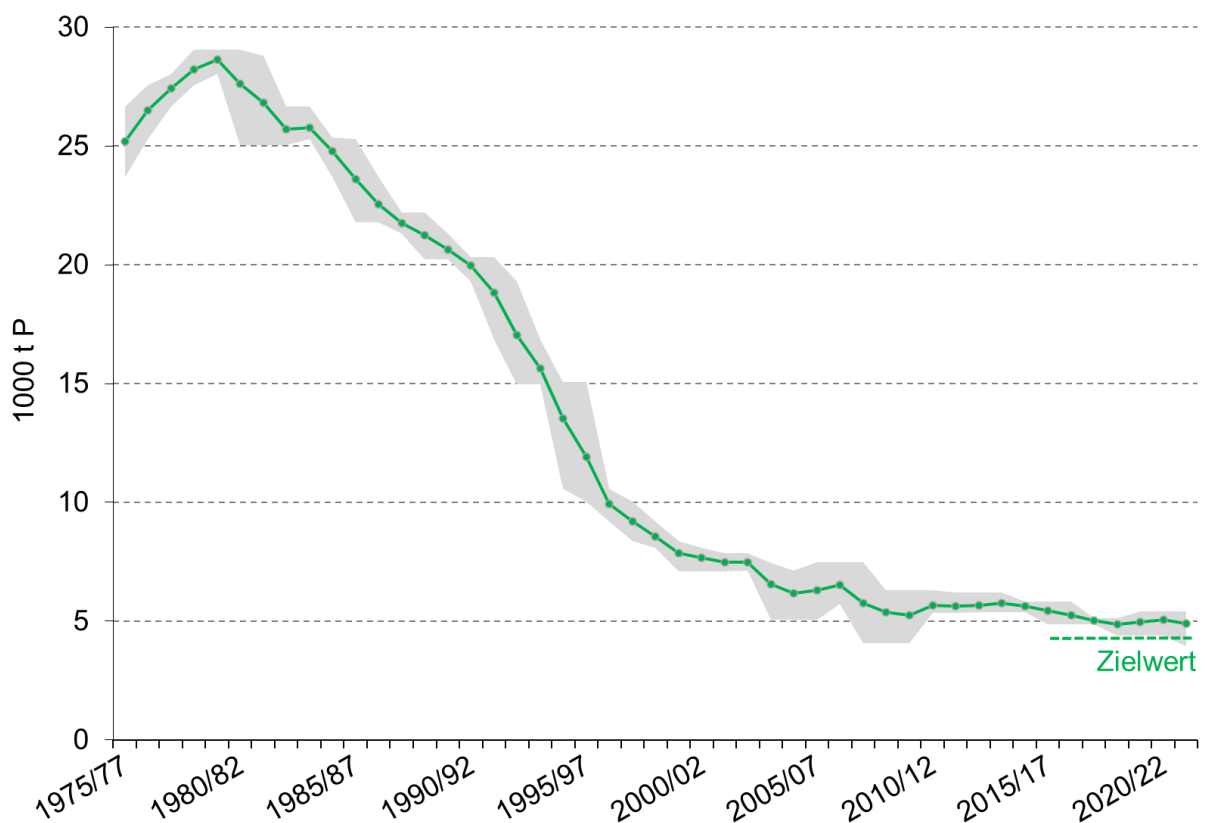


Abbildung A2: Phosphor-Überschuss zwischen 1975/77 und 2021/23 mit Schwankungsbereich (Maximum – Minimum) sowie Zielwert einer Reduktion von 20% gegenüber der Referenzperiode 2014/16 (Art. 10a, VBNL 2024).