



Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2018

Autoren

Ernst Spiess, Frank Liebisch



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Ernst Spiess, ernst.spiess@agroscope.admin.ch
Gestaltung	Petra Asare
Titelbild	Ernst Spiess
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2020
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as100g

Inhalt

Zusammenfassung	4
Summary	5
Résumé	6
1 Einleitung	7
2 Material und Methoden	8
2.1 Bilanzierungsmethode	8
2.2 Ausgangsdaten und Berechnungsmethode	9
2.3 Zusätzliche Berechnungen	10
2.4 Genauigkeit der Berechnungen	11
2.5 Schwächen der Berechnungsmethode	12
3 Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf im Jahr 2018	14
3.1 Stickstoff	14
3.2 Phosphor	15
4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2018	17
4.1 Stickstoff	17
4.2 Phosphor	19
5 Aussagekraft der Nährstoffbilanz	21
6 Literaturverzeichnis	23
7 Anhang	26

Zusammenfassung

Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 2018

Die Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft wurde für Stickstoff (N) und Phosphor (P) für die Jahre 1975 bis 2018 berechnet. Die Bilanzierung wurde mit der OSPAR-Methode durchgeführt, 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 Nährstoffkreislauf erstellt. Die verschiedenen Input- und Output-Grössen sowie die landwirtschaftsinternen Nährstoffflüsse wurden grösstenteils durch Multiplikation der einzelnen Produktmengen mit dem entsprechenden Nährstoffgehalt berechnet. Die Genauigkeit der Berechnungen sowie die Schwächen der Bilanzierungsmethode werden diskutiert.

Im Jahr 2018 waren die importierten Futtermittel sowohl bei Stickstoff als auch bei Phosphor die wichtigste Input-Grösse, gefolgt von den Mineraldüngern. Der Output über die tierischen und pflanzlichen Nahrungsmittel sowie die anderen tierischen Produkte (z. B. Tiermehl) entsprach bei Stickstoff nur einem Drittel, bei Phosphor dagegen zwei Dritteln des gesamten Inputs. Der Überschuss betrug rund 97'000 t N bzw. 5300 t P; auf die landwirtschaftliche Nutzfläche (LN) bezogen machte dies 93 kg N/ha bzw. 5 kg P/ha aus. Aus dem Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft ist ersichtlich, dass der Input über die importierten Futtermittel bei beiden Nährstoffen höher war als der Output über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte. Im Pflanzenbau überstieg die Nährstoffzufuhr über alle Düngemittel die biologische Stickstoff-Fixierung und die Deposition den Entzug durch die pflanzlichen Nahrungs- und Futtermittel bei Stickstoff um zwei Drittel und bei Phosphor um ein Fünftel.

In der Periode von 1975 bis 2018 sank die Nährstoffmenge in den importierten Futtermitteln zunächst bis Mitte der 1990er-Jahre stark, stieg dann aber wieder auf das Ausgangsniveau von 1975. Der Mineraldüngerverbrauch erreichte bei Phosphor früher den Höhepunkt als bei Stickstoff und die nachfolgende Abnahme war bei Phosphor viel ausgeprägter. Die biologische Stickstoff-Fixierung und die Deposition waren während der gesamten Periode rückläufig. Dagegen nahm der Output über die tierischen und pflanzlichen Produkte kontinuierlich zu. Bei beiden Nährstoffen stieg der Überschuss bis 1980 an und nahm nachher während vieler Jahre ab, wobei ein verstärkter Rückgang in den ersten Jahren nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 beobachtet werden kann. Der Überschuss verharrt nun bei Stickstoff seit 1997 auf einem Niveau von etwa 100'000 t N und bei Phosphor seit 2005 bei rund 5'000 t P.

Bei der Interpretation der Input-Output-Bilanz muss beachtet werden, dass der Saldo nicht unterscheidet, ob damit eine schädliche, eine neutrale oder im Einzelfall sogar eine positive Umweltwirkung verbunden ist. Er umfasst auch Änderungen im Bodenvorrat. Bei Phosphor ist der Überschuss höher als die Verluste, weil auch heute noch Phosphor im Boden angereichert wird.

Summary

Swiss Agriculture's Nutrient Balance for 1975 to 2018

Swiss agriculture's nutrient balance was calculated for nitrogen (N) and phosphorus (P) for the years 1975 to 2018. The calculation was performed using the OSPAR method, which compares the nutrient input into agriculture as a whole to the output from agriculture (= input-output balance). The nutrient cycle was also determined as a supplement and for checking purposes. The various input and output variables as well as the nutrient flows within the agricultural sector were largely calculated by multiplying the individual product quantities by the respective nutrient content. The accuracy of the calculations as well as the weaknesses of the balance method are discussed.

In 2018, imported feedstuffs were the main input variable for both nitrogen and phosphorus, followed by mineral fertilisers. Output via animal and plant foodstuffs as well other animal products (e.g. animal meal) corresponded to just one-third of the total input for nitrogen but two-thirds of the total input for phosphorus. The surplus was around 97,000 t N and 5300 t P; with reference to utilised agricultural area (UAA), this accounted for 93 kg N/ha and 5 kg P/ha, respectively. From the agricultural nutrient cycle, it can be seen that the input via imported feedstuffs was higher for both nutrients than the output via animal foodstuffs and other animal products. In plant production, nutrient supply via all fertilisers, biological nitrogen fixation and deposition exceeded removal by plant foodstuffs and feedstuffs by two-thirds for nitrogen and by one-fifth for phosphorus.

In the period from 1975 to 2018, the amount of nutrients in imported feedstuffs first fell sharply until the mid-1990s, but then rose again to the initial 1975 level. Mineral-fertiliser use reached its peak earlier for phosphorus than for nitrogen, and the subsequent decrease was far more pronounced for phosphorus. Biological nitrogen fixation and deposition were on the decline over the entire period. By contrast, output via animal and plant products increased continuously. For both nutrients, the surplus increased until 1980 and then decreased for many years, with a sharper decline in the first years after the introduction of ecological direct payments in 1993. The surplus has persisted at a level of approx. 100,000 t N since 1997 for nitrogen and around 5000 t P since 2005 for phosphorus.

When interpreting the input-output balance, it must be borne in mind that the bottom line does not distinguish between whether a harmful, neutral, or, in individual cases, even a positive environmental effect is associated therewith. It also includes changes in soil-nutrient stocks. For phosphorus, the surplus is higher than the losses since phosphorus is currently still accumulating in soil.

Résumé

Bilan des éléments nutritifs de l'agriculture suisse pour les années 1975 à 2018

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 2018. 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). A des fins de complément et de contrôle, le cycle des éléments nutritifs a également été établi. Les différentes variables d'entrée et de sortie ainsi que les flux des éléments nutritifs internes à l'agriculture ont été en grande partie calculés en multipliant les quantités des différents produits par la teneur en éléments nutritifs correspondante. La précision des calculs ainsi que les faiblesses de la méthode de bilan sont traitées dans cette étude.

En 2018, 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 97 000 t N et à 5300 t P. Exprimé en surface agricole utile (SAU), cela représente respectivement 93 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 était plus élevé pour ces deux éléments que les sorties par le biais des denrées alimentaires d'origine animale 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 et 2018, 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. 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'a cessé d'augmenter. Pour les deux éléments nutritifs, l'excédent a augmenté jusqu'en 1980 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. L'excédent se maintient désormais à un niveau d'environ 100 000 t pour l'azote depuis 1997 et d'environ 5 000 t pour le phosphore depuis 2005.

Lors de l'interprétation du bilan entrées-sorties, il faut garder à l'esprit que le solde ne permet pas de distinguer s'il est associé à un effet dommageable, neutre ou même, dans certains cas, positif pour l'environnement. Le solde inclut également des changements dans les réserves du sol. Dans le cas du phosphore, l'excédent est supérieur aux pertes, car aujourd'hui encore du phosphore est accumulé dans le sol.

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 etlichen 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; 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 fördert (Granli und Bockman 1994). Die grossen Frachten an Phosphor (P), die über die Abschwemmung und die Erosion in die Gewässer gelangen, sind eine Hauptursache für die hohen P-Konzentrationen und die **Eutrophierung von Oberflächengewässern** (Gutser *et al.* 2008). Im Pflanzenbau führt die Überdüngung zu einer unerwünschten **Anreicherung des Bodens mit Phosphor** (Spiess 2019). Wird mit Phosphor angereicherter Boden erodiert, entstehen deshalb höhere P-Verluste und eine grössere Gewässerbelastung. Da diese unerwünschten Entwicklungen in der Umwelt häufig erst nach Jahren oder sogar Jahrzehnten beobachtet werden können, ist die nationale Nährstoffbilanz des Landwirtschaftssektors ein wichtiger Indikator für mögliche aktuelle und zukünftige Umweltbelastungen durch Nährstoffe aus der Landwirtschaft.

Im Jahr 1993 wurde Agroscope erstmals vom Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) beauftragt, eine nationale Nährstoffbilanz zu erstellen. Im Rahmen des Übereinkommens zum Schutz der Meeresumwelt des Nordostatlantiks (OSPAR-Übereinkommen) wurde angestrebt, die N- und P-Einträge in die Nordsee zwischen 1985 und 1995 um rund 50% zu reduzieren (PARCOM 1988). Da die Wirksamkeit der dazu in der Landwirtschaft ergriffenen Massnahmen nicht mit direkten Messungen nachgewiesen werden konnte, wurde empfohlen, sie mit Hilfe von Nährstoffbilanzen abzuschätzen. Dazu wurde die in OSPAR (1995) beschriebene Berechnungsmethode vorgeschlagen. Zwischen 1996 und 2005 berechnete Agroscope nationale N- und P-Bilanzen für die Evaluation der ab 1993 eingeführten Ökomassnahmen. Damit sollte überprüft werden, ob die vom BLW gesetzten Reduktionsziele für die Nährstoffüberschüsse erreicht werden. In den darauffolgenden Jahren wurden die N- und die P-Bilanz als nationale Agrar-Umweltindikatoren etabliert. In Zukunft soll mit ihnen evaluiert werden, ob die vom Bundesrat angestrebte Verringerung der N- und P-Verluste um 10% respektive 20% gegenüber der Referenzperiode 2014-16 bis 2025 respektive 2030 erreicht wird (Der Bundesrat 2020).

Im Folgenden werden die Bilanzierungsmethode beschrieben, deren Schwächen analysiert sowie Lösungsansätze zur Verbesserung vorgeschlagen. Anschliessend werden die Ergebnisse der Bilanzierung für das Jahr 2018 und die zeitliche Entwicklung seit 1975 vorgestellt sowie die Aussagekraft der Nährstoffbilanz diskutiert.

2 Material und Methoden

2.1 Bilanzierungsmethode

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

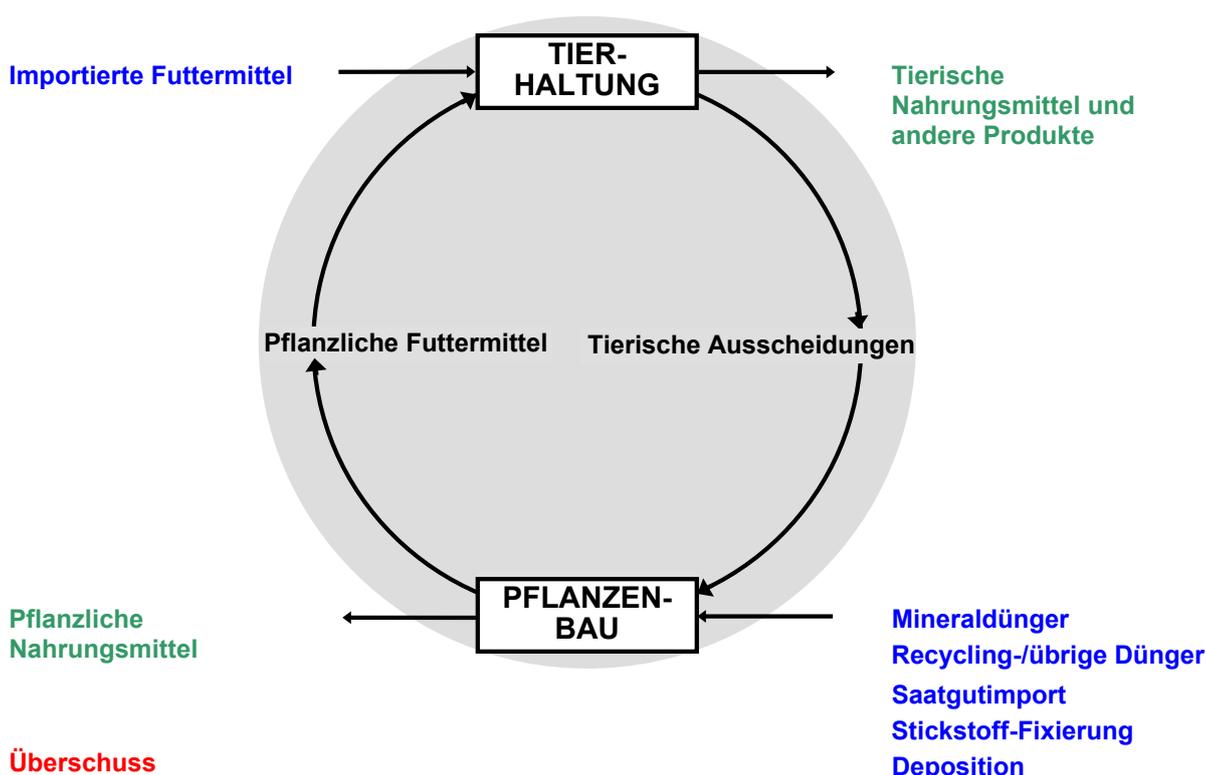


Abbildung 1: Nährstoffkreislauf der Landwirtschaft mit den verschiedenen Input- (in blau) und Output-Größen (in grün) sowie dem Überschuss (in rot).

Die Para-Landwirtschaft (Gärten von privaten und öffentlichen Gebäuden, Grünflächen entlang von Strassen und Bahnlinien, Park- und offene Sportanlagen etc.) gehört nicht zur Landwirtschaft. Sie wurden deshalb nicht in die Berechnungen einbezogen - im Gegensatz zu einer früheren Studie (Braun *et al.* 1994), die als Grundlage für die vorliegende Arbeit diente.

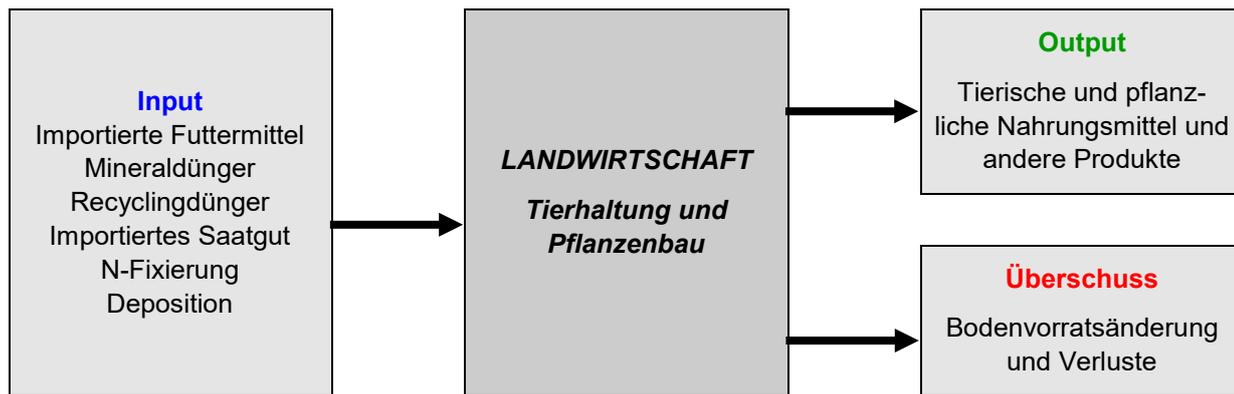


Abbildung 2: Prinzip der Input-Output-Bilanz nach der in OSPAR (1995) beschriebenen Methode.

2.2 Ausgangsdaten und Berechnungsmethode

Die Nährstoffmengen wurden in den meisten Fällen durch Multiplikation der einzelnen Produktmengen mit dem jeweiligen Nährstoffgehalt berechnet (siehe Anhang). Die Mengenangaben stammten grösstenteils vom Schweizerischen Bauernverband (agristat 2019a, 2019b und 2020). Die Nährstoffgehalte wurden vor allem der Schweizerischen Futtermitteldatenbank feedbase (Agroscope 2020; Boltshauser *et al.* 2013) entnommen.

Auch bei den in die Schweiz **importierten Futtermitteln** wurde die Nährstoffmenge für die meisten Produkte über die Menge und die entsprechenden Nährstoffgehalte berechnet. Die Menge der anorganischen Futterphosphate wurde dagegen aufgrund der Erhebungen von Swiss-Impex (EZV 2020) geschätzt.

Die Nährstoffmenge in den **Mineraldüngern** wurde von der Agricura Genossenschaft (Agricura 2020) erhoben; diejenigen in den **Recycling- und übrigen Düngern** wurde grösstenteils aufgrund von verschiedenen Quellen (z.B. Schleiss 2017) berechnet. Aufgrund von früheren Abschätzungen von Agroscope wurde davon ausgegangen, dass 3% des Mineraldüngers, rund ein Drittel des Komposts und je nach Nährstoff und Jahr 20 - 40% der restlichen Dünger in der Para-Landwirtschaft eingesetzt wurden; diese wurden deshalb hier nicht einbezogen.

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

Mit Regen und Staub gelangt Stickstoff in Form von Nitrat und Ammonium auf den Boden. Gasförmig werden Ammoniak (NH₃), Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂) deponiert. Die **N-Deposition** auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche aus Quellen von ausserhalb der schweizerischen Landwirtschaft wurde mit Hilfe von Modelldaten der Firma Meteotest (Rihm 2020) 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 der Schweiz mit anschliessender Deposition auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist letztlich ein landwirtschaftsinterner N-Fluss; dieser stellt somit keinen eigentlichen N-Input in die Landwirtschaft dar. Dank zusätzlichen Modellrechnungen von Rihm (2020) kann dieser Fluss nun von der gesamten N-Deposition abgetrennt werden. Durch diese Änderung in der Berechnungsmethode verringerte sich der Bilanzüberschuss

gegenüber früheren Berechnungen um über 10'000 t N. Auf die Höhe der landwirtschaftlichen N-Verluste in die Luft und die Gewässer, die nicht Gegenstand dieser Studie waren, hat die Neuberechnung jedoch keine Auswirkungen. Bei Phosphor wurde für das Jahr 2000 eine Deposition von 0.3 kg P/ha angenommen. Die Werte für die anderen Jahre wurden mit Hilfe der Staubemissionen der Schweiz (TSP = total suspended particles; EMEP 2019) linear extrapoliert.

Die Nährstoffmenge in den **tierischen und pflanzlichen Produkten** wird indirekt berechnet. Die Menge in den tierischen Nahrungsmitteln (Konsummilch, Käse, Butter, Fleisch, Eier etc.) und den anderen Produkten (Tierhäute, Tiermehl, Futter für Haustiere etc.) ergab sich, indem die tierischen Futtermittel (Milch für die Aufzucht, Mager- und Buttermilch, Schotte etc.) von der gesamten Produktion an Milch, Schlachtvieh, Geflügel und Eiern abgezogen und dann die in die Para-Landwirtschaft exportierten Hofdünger hinzuaddiert wurden. Die Schlachtvieh- und Geflügelproduktion (ausgedrückt in Lebendgewicht) wurde für jede Tierkategorie über die Fleischmenge (ausgedrückt in Schlachtgewicht; agristat 2019a) 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, Futterkartoffeln, Zuckerrübenschnitzel, Rapsextraktionsschrot etc.) sowie dem im Inland produzierten Saatgut andererseits ermittelt.

2.3 Zusätzliche Berechnungen

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

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

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

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

Tierkategorie	TS-Verzehr	Nährstoffanfall	
	dt/Jahr	kg N/Jahr	kg P/Jahr
Milchkühe ¹⁾	56	112	17
Mutterkühe	45	85	12
Mastkälber	1	18	3,1
Mutterkuhkälber	3,5	15,5	2,25
Grossviehmast bis ½ Jahr	6	23	2,2
Grossviehmast über ½ Jahr	21	49	5,7
Aufzuchttrinder bis 1 Jahr	11	25	3,3
Aufzuchttrinder 1 - 2 Jahre	22	40	5,7
Aufzuchttrinder 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 2018 (in t).

	N	P
+ Nährstoffmenge in den importierten Futtermitteln	51'315	9'241
+ Nährstoffmenge in den inländischen pflanzlichen Futtermitteln	127'939	20'166
- Nährstoffmenge in den tierischen Nahrungsmitteln und anderen tierischen Produkten	- 39'097	- 7'617
= Nährstoffmenge im ausgeschiedenen Kot und Harn	140'157	21'790

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. \pm 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.

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 2018 zu hoch geschätzt, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sie auch in den vorhergegangenen Jahren überschätzt worden ist.

2.5 Schwächen der Berechnungsmethode

Bei der Überprüfung der Berechnungsmethode wurden folgende Schwachstellen sichtbar, die kurz- oder mittelfristig behoben werden sollten:

Die importierten Futtermittel beinhalten auch die **anorganischen Mehrfachphosphate** (v.a. Mono- und Dicalciumphosphat), die dem Mischfutter beigefügt oder die mit separaten Mineralstoffmischungen verfüttert werden. Es ist bekannt, unter welchen vier Tarif-Nummern des Swiss-Impex die in der Fütterung verwendeten anorganischen Mehrfachphosphate erfasst werden. Da aber deren P-Gehalte nicht genau bekannt sind und über drei dieser Tarif-Nummern auch Mehrfachphosphate importiert werden, die für die Industrie bestimmt sind, mussten eigene Schätzungen vorgenommen werden. Ein geringer Teil dieser Mehrfachphosphate wird in der Düngung eingesetzt. Hier ist die importierte Produktmenge bekannt, denn sie wird auf Wunsch der Bundesverwaltung separat erfasst. Da die geschätzte Höhe der in der Fütterung verwendeten anorganischen Mehrfachphosphate in den letzten Jahren mit mehr als 2'000 t P beträchtlich gewesen ist, wird vorgeschlagen, dass auch die in der Fütterung eingesetzte Menge in Zukunft separat erfasst wird.

Während für die Mineraldünger zuverlässige Mengenangaben vorhanden sind, weil sie von der Agricura Genossenschaft im Rahmen der Pflichtlagerhaltung erfasst werden, müssen für die **Recycling- und die übrigen Dünger** die Mengen und die Nährstoffgehalte teilweise geschätzt werden. Da in den letzten Jahren vermehrt Biogasanlagen zur Energiegewinnung aus Hofdüngern erstellt worden sind, gelangen zusätzlich **Co-Substrate** in die Landwirtschaft, deren Menge nicht national erfasst wird. Bei sämtlichen Düngerkategorien, also auch bei den Hof- und den Mineraldüngern, gibt es keine Erhebung der Menge, die nicht in der Landwirtschaft, sondern in der **Para-Landwirtschaft** eingesetzt wird. Zukünftig sollte die Nährstoffmenge, die über die Co-Substrate sowie über die Recycling- und die übrigen Dünger in die Landwirtschaft gelangt, national erfasst werden. Zusätzlich sollte auch erhoben werden, wie viel Hof- bzw. Mineraldünger in der Paralandwirtschaft eingesetzt wird.

Die **Phosphor-Deposition** sank in den vergangenen Jahrzehnten stark und war in den letzten Jahren nur noch gering. Die Datenbasis für deren Abschätzung ist aber infolge der wenigen Messresultate unsicher.

Die meisten Nährstoffflüsse wurden berechnet, indem die Menge eines Produkts mit einem Wert für den **Nährstoffgehalt** multipliziert wurde. Diese Gehaltswerte wurden, wo möglich, der **Futtermitteldatenbank feedbase** (Agroscope 2020) entnommen, wobei der N-Gehalt mit Hilfe des Umrechnungsfaktors 6,25 aus dem Rohproteinwert abgeleitet wurde. Bei anderen pflanzlichen und tierischen Produkten wurden die Nährstoffgehalte den **Düngungsgrundlagen** (GRUD 2017) oder anderen Quellen entnommen. Für einzelne Produkte existieren sowohl in der Futtermitteldatenbank als auch in den Düngungsgrundlagen Gehaltswerte. Obwohl beide Datenquellen von Agroscope stammen, unterscheiden sich die Nährstoffgehalte bei diesen Produkten teilweise um über 10%. Hier ist eine Harmonisierung der Werte anzustreben.

Die **in den tierischen Ausscheidungen anfallende Nährstoffmenge** wurde für die Bilanzierung mit Hilfe einer Stallbilanz berechnet (= Bilanz-Methode; inländische pflanzliche Futtermittel + importierte Futtermittel - tierische Nahrungsmittel und andere Produkte = Anfall in Kot und Harn; Tab. 2). Zur Kontrolle wurde diese Nährstoffmenge mit einer zweiten, von der ersten unabhängigen Methode berechnet, indem die Anzahl Tiere der verschiedenen Tierkategorien mit den entsprechenden Hofdüngerrichtwerten (GRUD 2017; Tab. 1) multipliziert wurde (= Richtwert-Methode). Der Vergleich der Resultate beider Methoden (Richtwert-Methode = 100%) ergab je nach Jahr Abweichungen, die beim Stickstoff bis zu 14% und beim Phosphor bis zu 19% betragen (Abb. 3). Diese Abweichungen lassen sich mit Unstimmigkeiten in einer oder beiden Berechnungsmethoden erklären. Bei der Bilanz-Methode können Fehler auftreten, wenn die erhobenen Produktmengen sowie die angenommenen Gehaltswerte nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmen. Letzteres stellt bei den importierten Futtermitteln ein Problem dar, wenn unter einer Zolltarif-Nummer verschiedene Produkte eingeführt werden, deren Anteile unbekannt sind. Die Bilanzierung kann auch konzeptionelle Mängel aufweisen, beispielsweise, wenn nicht alles in- und ausländische Grundfutter in die Berechnung des TS-Verzehrs einbezogen wird und folglich die über den TS-Verzehr ermittelten Wiesenenerträge überschätzt werden. Die Richtwert-Methode beruht einerseits auf den Tierzahlen und andererseits auf den Richtwerten für den Grundfutterverzehr und die Nährstoffausscheidung in Kot und Harn (GRUD 2017). Die Wahrscheinlichkeit falscher Tierzahlen ist in den letzten Jahren infolge der zunehmenden Erfassung der Nutztiere in der Tierverkehrsdatenbank (identitas 2020) gering. Die Richtwerte wurden erst vor wenigen Jahren gründlich überarbeitet und können als relativ zuverlässig betrachtet werden. Es stellt sich jedoch die Frage, inwiefern die dabei getroffenen Annahmen für die Fütterung mit den Verhältnissen auf dem durchschnittlichen landwirtschaftlichen Betrieb übereinstimmen. Ältere Studien (Menzi und Gantner 1987, Menzi und Thomet 1985) zeigen beispielsweise, dass in den 1980er Jahren der optimale Grundfutterverzehr bei den Milchkühen häufig nicht von der landwirtschaftlichen Praxis erreicht wurde. Beim Phosphor deuten die Ergebnisse des Vergleichs darauf hin, dass die Überversorgung der Milchkühe mit mineralischen Futterphosphaten sowie die über dem Optimum liegenden P-Gehalte im Schweine- und Geflügelfutter in den letzten Jahrzehnten zurückgegangen sind. Aus diesen Gründen sollten bei der Bilanz-Methode insbesondere die Annahmen für die Nährstoffgehalte der verschiedenen Produkte sowie der konzeptionelle Ansatz überprüft werden. Bei der Richtwert-Methode sollte untersucht werden, inwiefern die bei der Ausarbeitung der Richtwerte angenommenen Produktionsbedingungen von der Praxis erreicht werden.

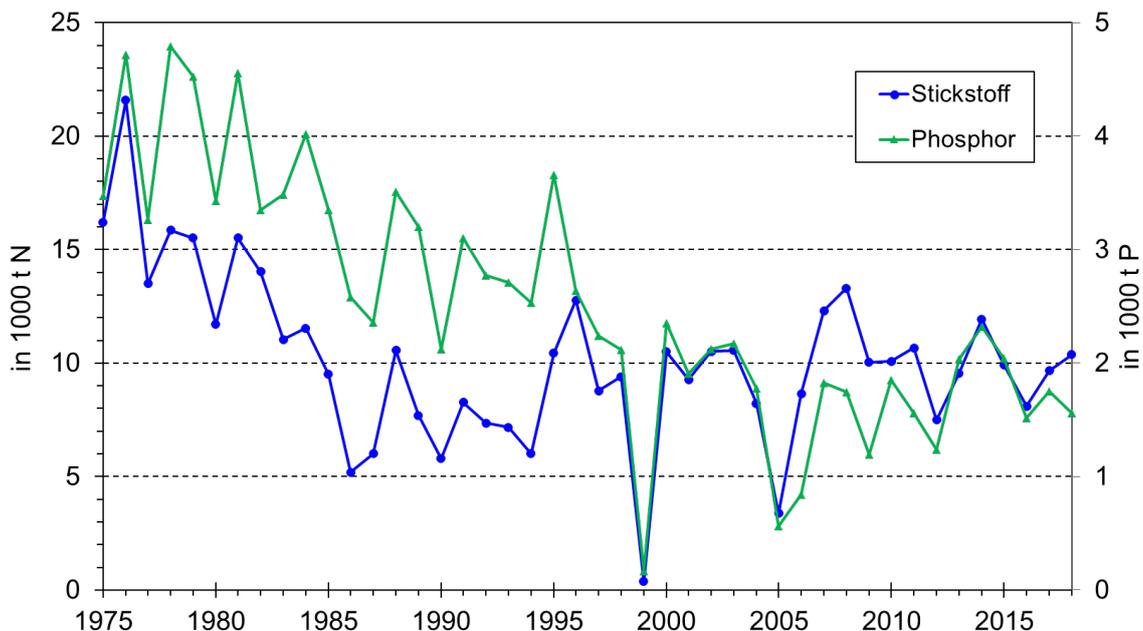


Abbildung 3: Abweichungen der Bilanz-Methode von der Richtwert-Methode (Bilanz-Methode minus Richtwert-Methode) im Nährstoffanfall in Kot und Harn.

3 Nährstoffbilanz und Nährstoffkreislauf im Jahr 2018

3.1 Stickstoff

In der schweizerischen Landwirtschaft werden grosse N-Mengen umgesetzt. Im Jahr 2018 gelangten rund 148'000 t N in den Kreislauf (Tab. 3). Die importierten Futtermittel wiesen mit 35% und die Mineraldünger mit 31% die höchsten Anteile am gesamten Input auf. Der Anteil der Stickstoff-Fixierung lag bei 24% und derjenige der Deposition bei 8%, während die Recycling- und die übrigen Dünger sowie das importierte Saatgut zusammen nur 2% ausmachten. Über den Output verliessen 51'000 t N wieder die Landwirtschaft, was einem Drittel des Inputs entsprach. Die N-Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen tierischen Produkten war mehr als vier Mal so gross wie diejenige in den pflanzlichen Nahrungsmitteln. Der N-Überschuss betrug rund 97'000 t. Bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche von 1'044'976 ha im Jahr 2018 machte dies 93 kg N/ha aus. Es muss angenommen werden, dass diese Menge der Landwirtschaft grösstenteils über die Ammoniakverflüchtigung, die Denitrifikation und die Nitratauswaschung verlorengeht, weil eine starke Anreicherung von Stickstoff im Boden ausgeschlossen werden kann.

Tabelle 3: Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 2018 (in t und in % des gesamten Inputs).

	Stickstoff		Phosphor	
	t N	%	t P	%
Input	147'890	100	14'669	100
Importierte Futtermittel	51'314	35	9'241	63
Mineraldünger	46'431	31	4'165	29
Recycling- und übrige Dünger	2'674	2	861	6
Importiertes Saatgut	301	0	49	0
Stickstoff-Fixierung der Leguminosen	34'756	24		
Deposition über die Luft	12'413	8	352	2
Output	50'832	34	9'322	64
Tierische Nahrungsmittel und andere tierische Produkte	41'900	28	8'053	55
Pflanzliche Nahrungsmittel	8'932	6	1'269	9
Überschuss	97'058	66	5'347	36

Der Stickstoffkreislauf für die schweizerische Landwirtschaft zeigt neben den verschiedenen Input- und Output-Grössen auch die landwirtschaftsinternen Stoffflüsse. Aus Abbildung 4 ist ersichtlich, dass die N-Mengen in den pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen 2018 in der gleichen Grössenordnung lagen. Über die importierten Futtermittel gelangte mehr Stickstoff in den Kreislauf, als über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte exportiert wurde. Von der gesamten Milch- und Fleischproduktion gingen über 80% 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 rund zwei Drittel. Die N-Menge in den pflanzlichen Nahrungsmitteln war relativ gering. Der grösste Teil des Stickstoffs stammte hier vom Brotgetreide. Bei diesem gelangten im langjährigen Durchschnitt jedoch nur um die 60% des Stickstoffs mit den Körnern in die menschliche Ernährung. Der andere Teil wurde verfüttert (deklassiertes Brotgetreide und Müllereiabfälle wie Kleie) oder als Saatgut verwendet. Vom Stickstoff in den Kartoffeln gelangte im Mittel ein Viertel in die Fütterung oder ins Pflanzgut. Beim Raps verliessen nur geringe N-Mengen die Landwirtschaft, weil Öl praktisch kein Protein und damit keinen Stickstoff enthält. Der Stickstoff in den Rapskörnern kommt fast vollständig über das Extraktionsschrot 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 waren mit rund 6'000 t N eher unbedeutend.

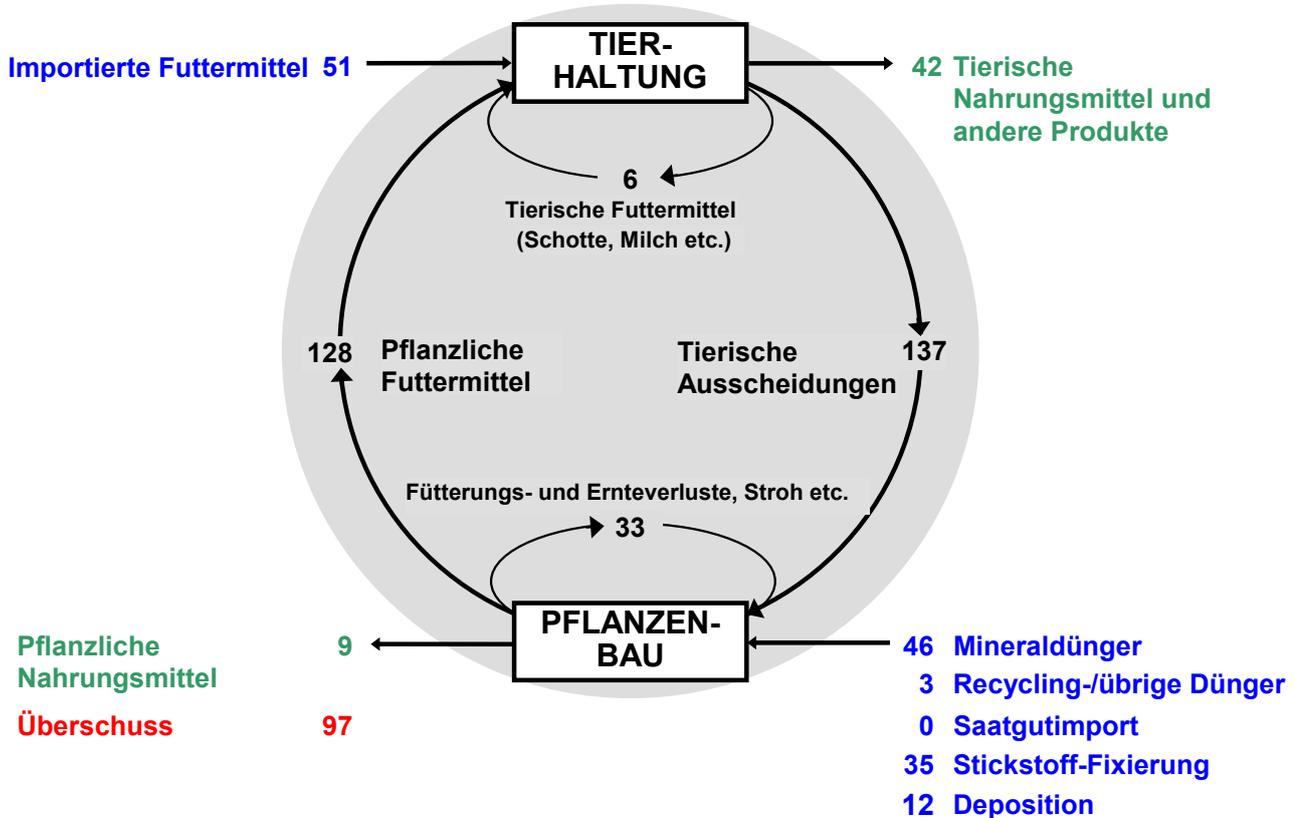


Abbildung 4: Stickstoffkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 2018 (in 1000 t N) mit den verschiedenen Input- (in blau) und Output-Grössen (in grün), dem Überschuss (in rot) und den landwirtschaftsinternen Flüssen (in schwarz).

3.2 Phosphor

Der gesamthafte P-Input in die Landwirtschaft betrug 2018 gegen 15'000 t P (Tab. 3). Wie beim Stickstoff wiesen die importierten Futtermittel mit 63% den grössten Anteil am gesamten Input auf. 29% des P-Inputs gelangten über die Mineraldünger und 6% über die Recycling- und die übrigen Dünger in den landwirtschaftlichen Kreislauf. Die über die Deposition auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche abgelagerte Menge ist im Vergleich zum Stickstoff sehr gering. Der Output entsprach mit rund 9'300 t P fast zwei Drittel des Inputs. Der Überschuss von rund 5'300 t wurde beim Phosphor zum grössten Teil im Boden angereichert. Der Rest gelangte vor allem über die Erosion und die Abschwemmung in die Gewässer. Mit 5 kg P/ha LN war der Überschuss immer noch hoch, lag nun aber weit unter dem P-Bedarf vieler landwirtschaftlichen Kulturen.

Der Phosphorkreislauf (Abb. 5) weist gewisse Ähnlichkeiten zum Stickstoffkreislauf auf: In den pflanzlichen Futtermitteln und in den tierischen Ausscheidungen zirkulierte eine Menge in der Grössenordnung von über 20'000 t P. Über die importierten Futtermittel gelangte mehr Phosphor in den Kreislauf, als über die tierischen Nahrungsmittel und die anderen tierischen Produkte weggeführt wurde. Während bei der produzierten Milch rund 60% 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.

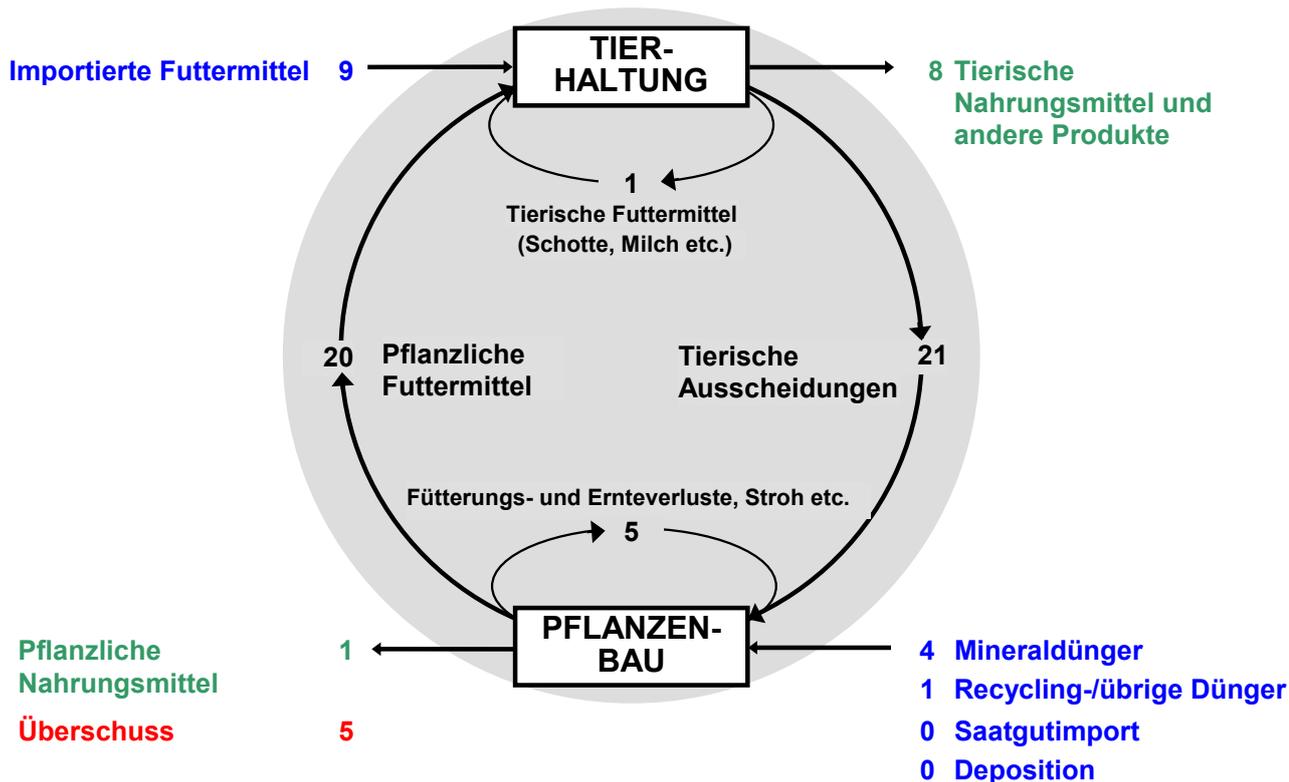


Abbildung 5: Phosphorkreislauf der schweizerischen Landwirtschaft im Jahr 2018 (in 1000 t P) mit den verschiedenen Input- (in blau) und Output-Größen (in grün), dem Überschuss (in rot) und den landwirtschaftsinternen Flüssen (in schwarz).

4 Entwicklung der Nährstoffbilanz zwischen 1975 und 2018

4.1 Stickstoff

Die importierten Futtermittel als wichtigste Input-Grösse erfuhren ab 1976 eine starke Abnahme und waren Mitte der 1990er Jahre noch halb so hoch wie 20 Jahre zuvor (Abb. 6). Einerseits nahm der gesamte Futterbedarf infolge der sinkenden Tierzahlen und den niedrigeren N-Gehalten im Schweinefutter infolge einer Reduktion des Bedarfs in den offiziellen Fütterungsempfehlungen ab. Andererseits wurde ausländisches Futtergetreide vermehrt durch inländische Produktion ersetzt. Nach 1996 nahmen jedoch die Importe von Futtermitteln, insbesondere von Sojaextraktionsschrot, wiederum so stark zu, dass sie im Jahr 2018 höher waren als 40 Jahre zuvor. Einerseits wurden mehr Legehennen und Mastpoulets gehalten und der Krafffutterbedarf der Milchkühe nahm mit den stark steigenden Milchleistungen zu. Andererseits stand den Nutztieren immer weniger im Inland produziertes Krafffutter zur Verfügung. Der Anbau von Futtergetreide wurde aus wirtschaftlichen Gründen stark reduziert. Zudem wurde in der BSE-Krise die Verfütterung von Tiermehl ab 1990 immer stärker eingeschränkt und im Jahr 2001 vollständig verboten. Seit 2011 dürfen Schweine auch nicht mehr mit Fleischsuppe gefüttert werden, so dass der Einsatz von tierischen Nebenprodukten in der Fütterung nun vollständig unterbunden ist.

Der Mineräldüngereinsatz verdoppelte sich zwischen 1975 und 1988 von 36'000 auf 69'000 t N und nahm bis 1997 wieder um 20'000 t N ab. Der Rückgang war vor allem nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen im Jahr 1993 beträchtlich. In den letzten 20 Jahren verharrte der Mineräldüngerverbrauch auf einem Niveau von rund 50'000 t N. Der Einsatz der Recycling- und der übrigen Dünger stieg bis Ende der 1990er Jahre an und nahm anschliessend infolge des Ausbringungsverbots von Klärschlamm ab. Die N-Mengen im importierten Saatgut (nicht abgebildet) waren immer sehr gering. Die biologische Stickstoff-Fixierung ist bedeutend für die Landwirtschaft; sie nahm aber in den letzten 40 Jahren infolge der Extensivierung im Futterbau um über 6'000 t N ab. Die Deposition von Stickstoff aus Quellen von ausserhalb der schweizerischen Landwirtschaft erreichte 1980 mit 22'000 t N ihren höchsten Wert. In den letzten Jahrzehnten ging sie zurück, hauptsächlich, weil die Stickoxidemissionen von Verkehr und Industrie abnahmen (FOEN 2019). Der gesamte N-Input in die Landwirtschaft stieg bis 1980 an, nahm danach bis Mitte der 1990er Jahre ab und ist seitdem relativ konstant (Abb. 7).

Beim Output fällt auf, dass die N-Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen Produkten zwischen 1975 und 1995 sehr konstant war und anschliessend kontinuierlich anstieg (Abb. 7). Zu dieser Zunahme trug wahrscheinlich die BSE-Krise am meisten bei, weil infolge des Fütterungsverbots nun beinahe sämtliche Schlachtabfälle aus der Landwirtschaft exportiert werden. Während die Milchproduktion über die gesamte Periode leicht anstieg, waren bei der Fleischproduktion unterschiedliche Tendenzen ersichtlich: Eine beträchtliche Zunahme war beim Geflügel in den letzten beiden Jahrzehnten zu verzeichnen; dagegen ging die Produktion von Rind- und Schweinefleisch leicht zurück. Der N-Export über die pflanzlichen Produkte schwankte relativ stark von Jahr zu Jahr, nahm aber insgesamt vor allem infolge der steigenden Weizenfläche und der ertragreicheren Sorten zu.

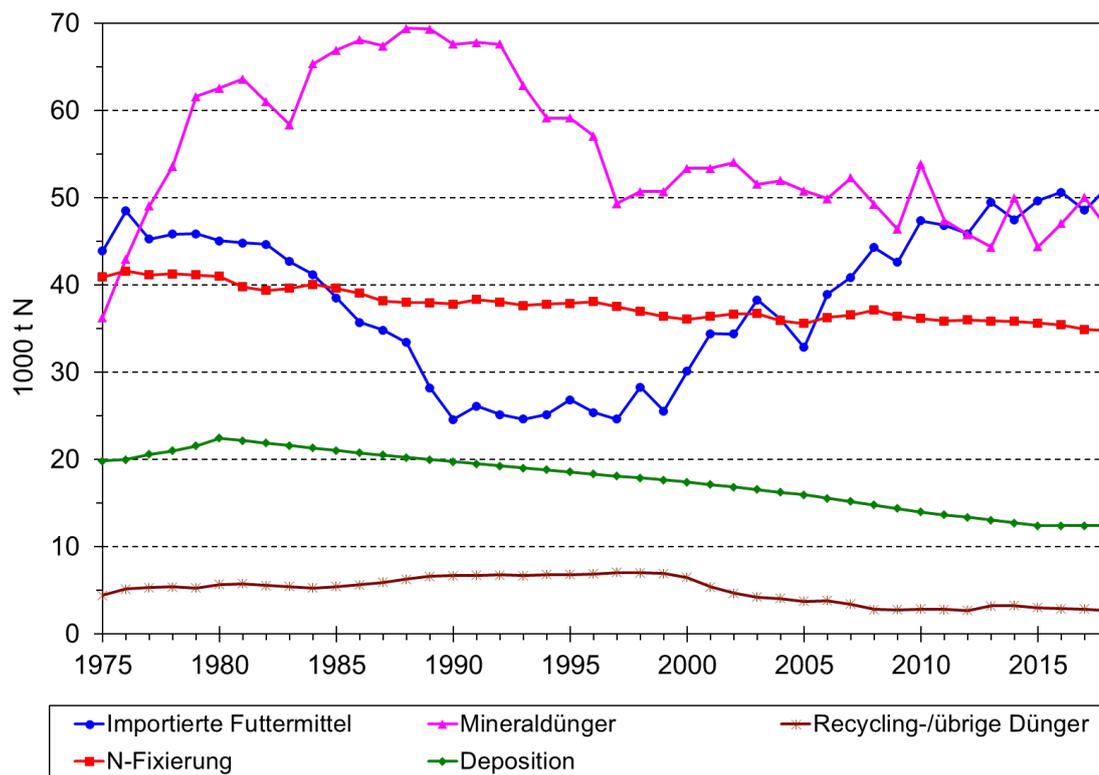


Abbildung 6: Stickstoffmengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975 und 2018.

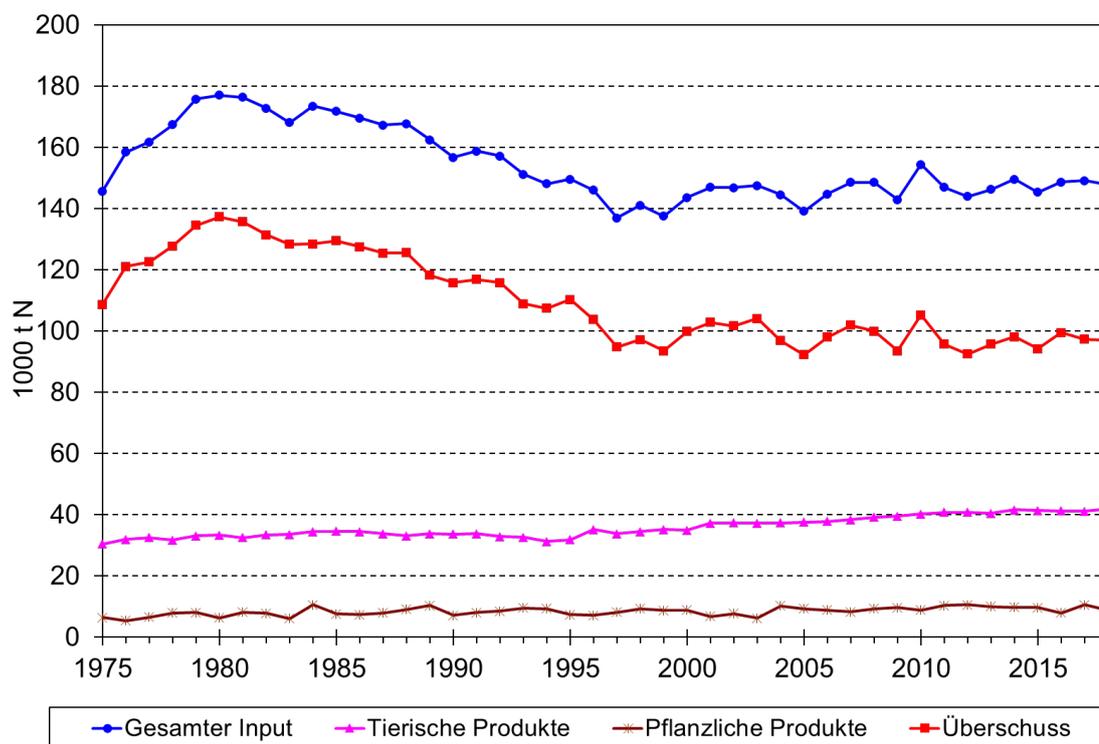


Abbildung 7: Stickstoffmengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) sowie im Überschuss zwischen 1975 und 2018.

Der N-Überschuss stieg in den ersten fünf Jahren der untersuchten Periode stark an, erreichte 1980 mit rund 137'000 t N seinen Höhepunkt und nahm anschliessend bis Ende der 1990er Jahre kontinuierlich ab (Abb. 7). Seitdem verharrt er auf einem Niveau von um die 100'000 t N. 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 recht konstant.

4.2 Phosphor

Die importierten Futtermittel nahmen bis Mitte der 1990er Jahre um über 4000 t P ab und stiegen dann bis 2018 fast wieder so stark an (Abb. 8). Der Mineraldüngerverbrauch ging nach 1980 sehr deutlich zurück, wobei die Abnahme in den 1990er Jahren überdurchschnittlich hoch war. In den letzten zehn Jahren war der Verbrauch konstant. 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. Im Vergleich zu Stickstoff liegen bei Phosphor die Werte für die Deposition auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche auf einem tiefen Niveau. Der gesamte P-Input in die Landwirtschaft stieg bis 1980 und ging nachher danach bis zum Jahr 2000 zurück (Abb. 9).

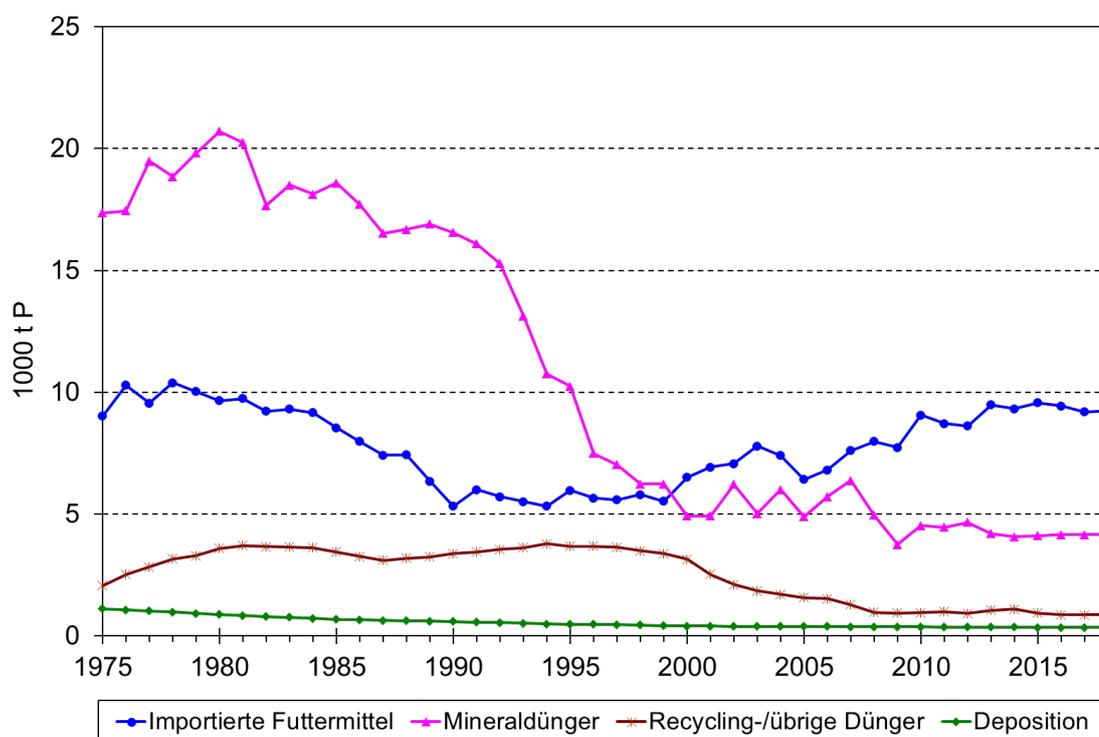


Abbildung 8: Phosphormengen in den einzelnen Input-Grössen zwischen 1975 und 2018.

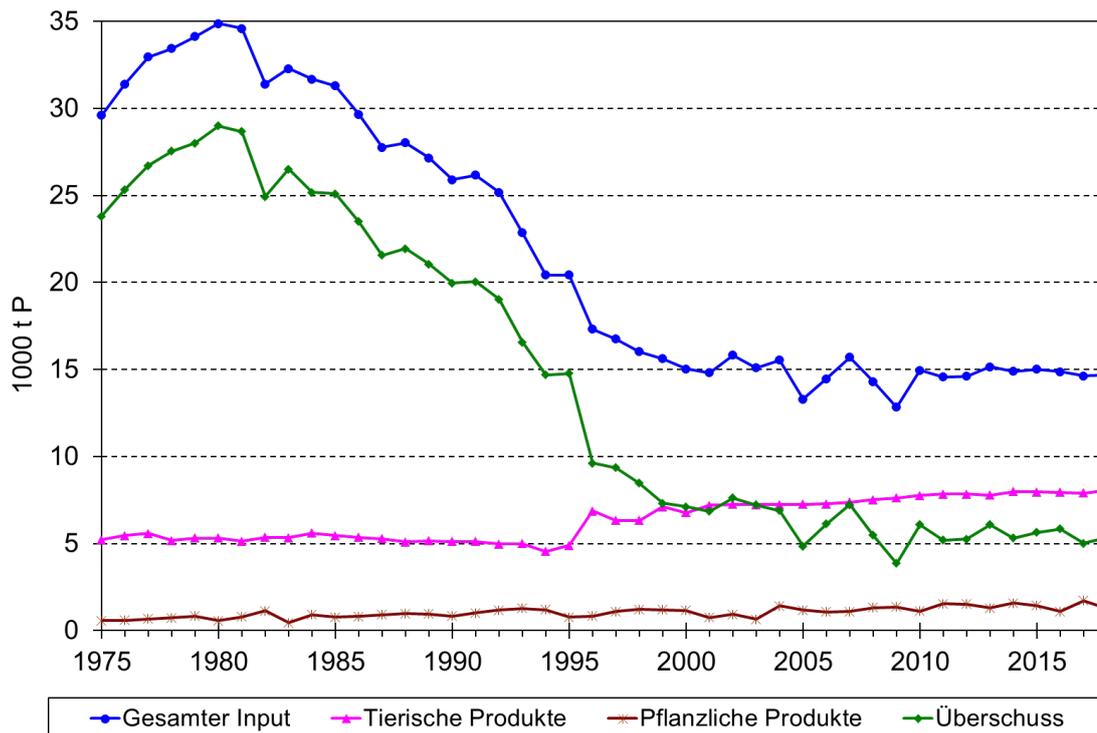


Abbildung 9: Phosphormengen im gesamten Input, in den einzelnen Output-Grössen (tierische Nahrungsmittel und andere Produkte sowie pflanzliche Nahrungsmittel) sowie im Überschuss zwischen 1975 und 2018.

Beim Output wurde wie für Stickstoff festgestellt, dass die Menge in den tierischen Nahrungsmitteln und den anderen tierischen Produkten zwischen 1975 und 1995 recht konstant war (Abb. 9). 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 Überschuss stieg bis 1980 auf 29'000 t P an, nahm dann bis 2005 stark ab und liegt seither im Bereich von 5'000 t P. Die Reduktion des Überschusses war besonders in den ersten Jahren nach der Einführung der ökologischen Direktzahlungen (1993-96) sehr hoch.

5 Aussagekraft der Nährstoffbilanz

Mit der landwirtschaftlichen Input-Output-Bilanz wird abgeschätzt, wie hoch der Nährstoff-Input in ein System (Nation, Region, Betrieb, Schlag etc.) im Vergleich zum Nährstoff-Output ist. Der Output umfasst die Nährstoffmenge in den aus der Landwirtschaft weggeführten Produkten. Die **Verluste**, welche zum Teil unvermeidbar sind, sind im Bilanzsaldo enthalten (Abb. 10a+b) und treten nicht nur in jedem landwirtschaftlichen Produktionssystem auf, sondern auch in natürlichen Ökosystemen. Während bei Phosphor diese Verluste im Verhältnis zum Nährstoffbedarf der Kulturen gering sind, können sie bei Stickstoff beträchtlich sein, insbesondere beim Einsatz von organischen Düngern (v.a. Hofdünger und Kompost) sowie auf der Weide. Organische Dünger weisen selbst bei optimalem Einsatz eine geringere N-Wirkung im Vergleich zu den Mineraldüngern auf. Auf der Weide ist der Anteil der mit tierischen Exkrementen bedeckten Fläche klein. In den Kot- und Harnstellen übersteigt der Nährstoffanfall jedoch den Pflanzenbedarf um ein Vielfaches und führt bei Stickstoff zu hohen Verlusten und bei Phosphor zu lokalen Anreicherungen. Das geringere N-Mineraldüngeräquivalent der organischen Dünger und die hohen N-Verluste auf der Weide kommen auch in den hohen Abzügen in der Suisse-Bilanz zum Ausdruck. Aus diesen Gründen ist bei der Input-Output-Bilanz - im Gegensatz zur Suisse-Bilanz - in den meisten Fällen nicht eine vollständig ausgeglichene Bilanz anzustreben (Richner *et al.* 2015).

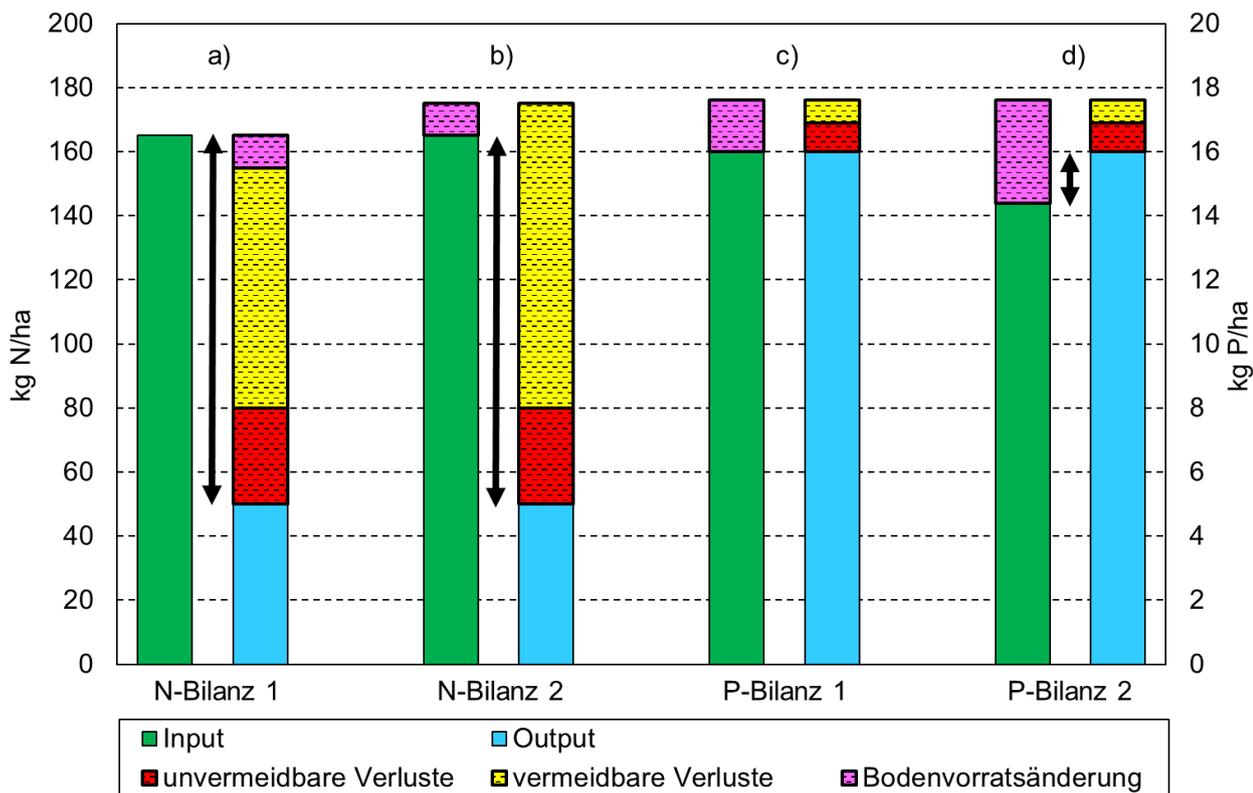


Abbildung 10: Fiktive Beispiele für Nährstoffbilanzen: a) N-Bilanz 1 - positive Bilanz mit der Aufteilung des Bilanzsaldos auf unvermeidbare und vermeidbare Verluste sowie Bodenvorratsänderung (Humusaufbau); b) N-Bilanz 2 - positive Bilanz, bei der die gesamten Verluste den Überschuss übersteigen, weil es zu einem Humusabbau kommt; c) P-Bilanz 1 - ausgeglichene Bilanz mit Abnahme des Bodenvorrats; d) P-Bilanz 2 - negativer Bilanzsaldo (= Defizit), bei dem die Abnahme des Bodenvorrats grösser ist als die gesamten Verluste. Die Pfeile zeigen die Höhe des Bilanzsaldos. Bei der Bodenvorratsänderung ist eine Zunahme auf der Output- und eine Abnahme auf der Inputseite aufgeführt.

Der Nährstoffvorrat im Boden wird bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt. Ein **mit Phosphor angereicherter Boden** bleibt auch bei ausgeglichener Bilanz über lange Zeit überversorgt, denn die Bodenanalysen müssen nach den Vorgaben des Ökologischen Leistungsnachweises nicht für die Bemessung der Düngergaben berücksichtigt werden. Abschätzungen aufgrund der Differenz zwischen dem P-Überschuss der Input-Output-Bilanz und der von Hürdler *et al.* (2015) mit dem Stoffflussmodell MODIFFUS berechneten P-Einträge in die Gewässer deuten darauf hin, dass sich die Landwirtschaftsböden in der Schweiz zwischen 1975 und 2016 um über 500 kg P/ha angereichert

haben (Spiess 2019; Spiess und Zimmermann 2019). Diese Menge würde theoretisch ausreichen, um den Output aus der Landwirtschaft während einiger Jahrzehnte auszugleichen. Im Weiteren trägt der über die Jahre im Boden akkumulierte Phosphor bedeutend mehr zu den P-Verlusten in die Gewässer bei als die im aktuellen Jahr mit den Düngern ausgebrachte P-Menge (Eurostat 2013, Stoll *et al.* 2019).

Ein Boden ist bei einer ausgeglichenen P-Bilanz nicht im Gleichgewicht, weil die trotzdem entstehenden P-Verluste zu einer **Abnahme des Bodenvorrats** führen (Abb. 10c). Bei einer negativen P-Bilanz, bei welcher der Output den Input übersteigt, nimmt der Bodenvorrat noch stärker ab (Abb. 10d). Bei Stickstoff treten infolge der hohen N-Verluste selten ausgeglichene oder sogar negative Bilanzen auf. Trotzdem kann es auch hier - insbesondere auf organischen Ackerböden - zu einer Abnahme des Bodenvorrats kommen, wenn mehr Humus mineralisiert als gebildet wird (Abb. 10b). Dies führt zu einer verminderten Bodenfruchtbarkeit. Eine Abnahme des Bodenvorrats kann am eindrücklichsten auf ungedüngten Parzellen von Langzeitversuchen beobachtet werden. In zwei Versuchen mit einem Klee gras-Anteil von rund einem Drittel in der Fruchtfolge wurden auf den ungedüngten Parzellen im Mittel von 14 Jahren 127 bzw. 174 kg N/ha und 17 bzw. 24 kg P/ha mit den weggeführten Ernteprodukten entzogen (Demo-Versuch in Zürich-Reckenholz, Hausherr *et al.* 2007; DOK-Versuch in Therwil BL, Spiess *et al.* 1993). Bei Stickstoff dürfte der Pflanzenentzug den Eintrag über die Deposition und die Stickstoff-Fixierung der Leguminosen bei weitem überstiegen haben. Bei Phosphor war der einzige Input, die P-Deposition, unbedeutend.

Die Aussagekraft des Nährstoffüberschusses als Indikator für mögliche aktuelle und zukünftige Verluste aus der Landwirtschaft in die Umwelt muss aus den folgenden Gründen relativiert werden: Der Saldo einer Nährstoffbilanz setzt sich aus der **Bodenvorratsänderung** und den **Verlusten über verschiedene Pfade** zusammen. Er unterscheidet bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt nicht zwischen schädlichen (NH₃, N₂O, NO₃, alle P-Formen, Humusschwund), neutralen (N₂) und wünschbaren (Humusaufbau) Nährstoffflüssen. Bei Stickstoff ist die Änderung der Humusmenge im Boden normalerweise so gering, dass die gesamten Verluste fast gleich hoch sind wie der Bilanzüberschuss (Braun *et al.* 1994). Dagegen ist bei Phosphor die Bodenanreicherung meist viel grösser als die Verluste in die Gewässer (Hürdler *et al.* 2015; Spiess 2019). In der schweizerischen Landwirtschaft konnte der P-Überschuss in den letzten Jahrzehnten zwar stark reduziert werden (auf rund 5'000 t P im Jahr 2018), er ist aber immer noch wesentlich höher als die P-Einträge in die Gewässer (rund 1'200 t P im Jahr 2010; Hürdler *et al.* 2015). Im Weiteren wirkt sich bei Stickstoff eine Reduktion des Überschusses durch eine verminderte Zufuhr von Dünge- und Futtermitteln direkter auf die Reduktion der Verluste aus als bei Phosphor. Eine Verminderung der Futtermittelimporte kann zu einer Senkung des Tierbestands und damit des Hofdüngeranfalls führen, was mit kleineren Ammoniakverlusten im Stall, während der Lagerung und auf dem Feld verbunden ist. Eine Reduktion des Düngereinsatzes ist nicht nur mit weniger Ammoniakverflüchtigung, sondern auch mit geringeren Denitrifikations- und Nitratverlusten verbunden. Beträchtliche N-Verluste aus der Landwirtschaft können jedoch auch bei geringem N-Input auftreten. Bei Phosphor führt zwar eine verminderte Düngung ebenfalls zu etwas geringeren Verlusten, die gesamten Verluste in die Gewässer hängen aber bedeutend stärker von den P-Vorräten im Boden ab als von der im aktuellen Jahr ausgebrachten Düngermenge. Die Düngung wirkt sich allerdings auch indirekt über den im Boden angereicherten Phosphor auf die Verluste in die Gewässer aus. Dieser Prozess ist jedoch erst über lange Zeiträume betrachtet von grösserer Bedeutung. Bei Betrachtung von einzelnen oder wenigen Jahren kann insbesondere bei Phosphor nicht vom Saldo der Nährstoffbilanz auf die Höhe der gesamten Verluste geschlossen werden.

Bei der Evaluation von agrarpolitischen Zielen ist somit zu beachten, dass der Nährstoffüberschuss der Landwirtschaft gemäss dem DSPiR-Modell (BAFU 2020) ein Indikator für die treibenden Kräfte (D = Driving forces) ist und damit nur indirekt und über längere Perioden betrachtet ein Indikator für die Umweltbelastung (P = Pressures) - die Verluste in die Luft und die Gewässer.

6 Literaturverzeichnis

- Agricura, 2020. Agricura Plattform - Tätigkeitsbericht. Bern, diverse Jahrgänge.
- agristat, 2019a. Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Schweizerischer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge.
- agristat, 2019b. AGRISTAT – statistisches Monatsheft. Schweizerischer Bauernverband, Brugg, diverse Jahrgänge.
- agristat, 2020. Schriftliche Mitteilungen von S. Giuliani, Schweizerischer Bauernverband, Brugg.
- Agroscope, 2020. Schweizerische Futtermitteldatenbank feedbase. www.feedbase.ch [02.10.2020].
- 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 [12.11.2020].
- BAFU, 2020. Definition «Ursachen, Belastungen, Zustand, Auswirkungen, Massnahmen» (DPSIR). Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/zustand/definition--ursachen--belastungen--zustand--auswirkungen--massna.html [12.11.2020].
- BLV, 2019. Schweizer Nährwertdatenbank V6.1. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV), Bern. www.naehrwertdaten.ch/de/ [12.11.2020].
- Boller B.C. and Nösberger J., 1987. Symbiotically fixed nitrogen from field-grown white and red clover mixed with ryegrasses at low levels of ¹⁵N-fertilisation. *Plant Soil* 104, 219-226.
- Boller B.C., 1988. Biologische Stickstoff-Fixierung von Weiss- und Rotklee unter Feldbedingungen. *Landwirtschaft Schweiz* 1, 251-253.
- Boltshauer M., Bracher A., Böhlen M., Cafagna F. und Taliun A., 2012. Die Schweizerische Futtermitteldatenbank www.feedbase.ch. *Agrarforschung Schweiz* 3, 112-114.
- 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.
- Bundesgütegemeinschaft Bodenverbesserung e.V., 1995. Datenblätter zur Charakterisierung von Rest- und Abfallstoffen. Mannheim.
- Der Bundesrat, 2020. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik ab 2022 (AP22+) vom 12. Februar 2020. www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/agrarpolitik/ap22plus.html [16.10.2020].
- EKL, 2007. Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern. 141 pp.
- Elmadfa I., Aign W., Muskat E., Fritsche D. und Cremer H.-D., 1988. Die grosse GU Nährwert-Tabelle. 2. Auflage. Gräfe und Unzer, München. 79 pp.
- EMEP, 2019. The Emissions Database. European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP). www.ceip.at/webdab-emission-database [12.11.2020].
- Eurostat, 2013. Nutrient Budgets – Methodology and Handbook. Version 1.02. Eurostat and OECD, Luxembourg. https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2393397/2518760/Nutrient_Budgets_Handbook_%28CPSA_AE_109%29_corrected3.pdf/4a3647de-da73-4d23-b94b-e2b23844dc31 [02.10.2020].
- EZV, 2020. Swiss-Impex. Eidgenössische Zollverwaltung (EZV), Bern. www.gate.ezv.admin.ch/swissimpex/ [13.10.2020].
- 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.
- Fritsch F., 2019. Nährstoffvergleich für landwirtschaftliche Betriebe. Dienstleistungszentren Ländlicher Raum (DLR), Rheinland-Pfalz. [www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/2b15207b49578bb3c1257f8b002cfa93/\\$FILE/Formular%20N%C3%A4hrstoffvergleich%20RLP%2002%202019.pdf](http://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/0/2b15207b49578bb3c1257f8b002cfa93/$FILE/Formular%20N%C3%A4hrstoffvergleich%20RLP%2002%202019.pdf) [03.11.2020].
- Furrer O.J., 1975. Die Phosphor-Belastung der Gewässer durch die Landwirtschaft. *Mitt. Eidg. Anst. forst. Versuchswesen* 51, 267-283.

- Gisiger L, 1957. Versuch einer bilanzmässigen Betrachtung der schweizerischen Düngewirtschaft. *Mitt. Schweiz Landw.* 5, 138-145
- Granli T. and Bockman O.C., 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norw. J. Agric. Sci.* Supplement 12, 7-128.
- GRUD, 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD). *Agrarforschung Schweiz* 8 (6), Spezialpublikation, 276 pp.
- Gutser R., Ebertseder T. und Holz F., 2008. Reicht das Fachrecht für die Umsetzung der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie aus? *Agrarspectrum* 41, 39-60.
- Hasler A. und Hofer H., 1979. Düngungslehre. Verlag Wirz, Aarau. 107 pp.
- Hausherr R.M., Brack E. und Flisch R., 2007. Auswirkungen suboptimaler Düngung auf Ackerkulturen. *Agrarforschung* 14, 400-405.
- Hürdler J., Prasuhn V. und Spiess E., 2015. Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz - MODIFFUS 3.0. Bericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Agroscope INH, Zürich, 117 pp.
- identitas, 2020. Tierverkehrsdatenbank. www.identitas.ch/produkte/tierverkehrsdatenbank-tvd [03.11.2020].
- 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.
- Menzi H. und Gantner U., 1987. Entwicklung der Milchleistung aus dem Grundfutter im schweizerischen Tal- und Berggebiet zwischen 1966 und 1985. *Schweiz. Landw. Fo.* 26, 209-221.
- Menzi H. und Thomet P., 1985. Milchproduktion aus dem Grundfutter in drei verschiedenen Graswirtschaftsregionen der Schweiz. *Schweiz. landw. Monatshefte* 63, 105-115.
- OECD and Eurostat, 2007. Gross Nitrogen Balances - Handbook. www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/40820234.pdf [03.11.2020]
- 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. <https://www.ospar.org/convention/agreements/page12> [02.11.2020].
- PARCOM, 1988. PARCOM Recommendation 88/2 on the Reduction in Inputs of Nutrients to the Paris Convention Area. www.ospar.org/convention/agreements/page14 [02.11.2020].
- Richner W., Bosshard C. und Spiess E., 2015. Forschungsauftrag «Folgearbeiten des Mandats zur Überprüfung der Methode Suisse-Bilanz»: Schlussbericht. Agroscope, Zürich-Reckenholz, 39 pp. www.blw.admin.ch/blw/de/home/services/publikationen/berichte.html [02.11.2020].
- 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. 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.
- Schleiss K., 2017. Erhebung Schweizer Daten zu Mengen in der Kompostierung. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Bern, Schlussbericht, 13 pp.
- Spiess E., 1989. Schätzung der schweizerischen Nährstoffbilanz für 1985. Schriftenreihe der FAC Liebefeld Nr. 4, 61 pp.
- Spiess E., 1999. Nährstoffbilanz der schweizerischen Landwirtschaft für die Jahre 1975 bis 1995. Schriftenreihe der FAL Nr. 28, 46 pp.
- Spiess E., 2011. Nitrogen, phosphorus and potassium balances and cycles of Swiss agriculture from 1975 to 2008. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 91, 351-365.

- Spiess E., 2019. Large soil phosphorus accumulation due to nutrient surpluses in Swiss agriculture. Proc. of International Phosphorus Workshop 9, ETH Zurich, www.researchgate.net/publication/335632051_Large_soil_phosphorus_accumulation_due_to_nutrient_surpluses_in_Swiss_agriculture [02.11.2020].
- Spiess E., Stauffer W., Niggli U. und Besson J.-M., 1993. DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-dynamisch, organisch-biologisch und konventionell: 4. Aufwand und Ertrag: Nährstoffbilanzen, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. *Schweiz. Landw. Fo.* 32, 565-579.
- Spiess E. und Zimmermann M., 2019. Landwirtschaftliche Phosphorbilanzen. In: Agrarbericht 2018. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern. www.2018.agrarbericht.ch [02.10.2020].
- Stoll S., von Arb C., Jörg C., Kopp S. und Prasuhn V., 2019. Evaluation der stark zur Phosphorbelastung des Baldeggersees beitragenden Flächen. Agroscope, Zürich-Reckenholz, 149 pp.
- van Eerd M.M. and Fong P.K.N., 1998. The monitoring of nitrogen surpluses from agriculture. *Environ. Pollut.* 102 (S1), 227-233.

7 Anhang

Tabelle A1: Berechnung der Nährstoffmengen in den in die Schweiz importierten Futtermitteln für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Weizen	249'793	18,43	3,26	4'603	815	3	4	4	wie Futterweizen
Roggen	146	15,72	3,36	2	0	3	4	4	
Gerste	28'161	16,60	3,59	468	101	3	4	4	
Hafer	26'513	16,03	3,18	425	84	3	4	4	
Körnermais	115'895	13,20	2,84	1'530	329	3	4	4	
Sorghum	245	15,91	3,08	4	1	3	4	4	
Triticale	33	16,81	3,63	1	0	3	4	4	
Andere Getreide	661	17,05	3,35	11	2	3	4	4	wie Rispenhirse
Reis (Bruch-)	60'099	12,80	2,09	769	125	3	4	4	
Reis	2'150	12,80	2,09	28	4	3	4	4	wie Bruchreis
Weizenkleie	42'384	24,90	13,00	1'055	551	3	4	4	
Weizenmehl	4'872	24,87	3,86	121	19	3	4	4	wie Weizenfuttermehl hell
Maismehl	2'127	16,33	4,49	35	10	3	4	4	wie Maisfuttermehl
Mühlennachprodukte von Gerste	3'664	23,84	9,62	87	35	3	4	4	
Mühlennachprodukte von Hafer	15'831	23,84	9,62	377	152	3	4	4	b)
Getreidekeime	1'641	47,11	11,13	77	18	3	4	4	wie Weizenkeime
Übrige Mühlennachprodukte	62	23,84	9,62	1	1	3	4	4	b)
Paniermehl	2'123	20,45	1,97	43	4	3	4	4	
Abfälle aus Samenproduktion	1	22,00	3,06	0	0	3	9	9	wie Grassamen
Eiweisserbsen	10'581	29,85	4,37	316	46	3	4	4	
Ackerbohnen	483	41,20	6,27	20	3	3	4	4	
Andere Hülsenfrüchte	28	51,17	5,09	1	0	3	4	4	wie Lupinen, süss weiss
Johannisbrot	1'545	8,06	0,80	12	1	3	4	4	
Kakaoschalen	5'461	26,63	3,48	145	19	3	4	4	
Kaffeeschalen und -häutchen	0	18,80	0,69	0	0	3	4	4	wie Kaffeeextraktionsabfälle
Garnelenschalen	0	2,07	0,30	0	0	3	4	4	wie Muschelschalen
Raps	2'387	32,28	7,21	77	17	3	4	4	wie Rapssamen 00-Typ
Sonnenblumen	6'677	27,06	5,23	181	35	3	4	4	
Soja	10'516	56,99	6,14	599	65	3	4	4	
Leinsamen	6'867	32,95	5,55	226	38	3	4	4	
Baumwoll-, Erdnussamen usw.	94	33,28	6,26	3	1	3	4	4	wie Baumwollsam.,
Rapsextraktionsschrot	54'009	53,94	11,66	2'913	630	3	4	4	
Sonnenblumenextraktionsschrot	18'097	46,78	10,87	847	197	3	4	4	
Sojaextraktionsschrot	262'803	72,46	6,62	19'044	1'739	3	4	4	
Leinextraktionsschrot	407	47,18	8,55	19	3	3	4	4	
Sesamextraktionsschrot	0	72,46	6,62	0	0	3	4	4	wie Sojaextraktionsschrot
Andere Ölkuchen	153	43,78	9,63	7	1	3	4	4	wie Baumwollextrak.schrot
Fischmehl und Aminosäuren	6'362	106,76	21,32	679	136	3	4	4	c)
Fette und Öle von Seetiere	353	0,00	0,00	0	0	3	4	4	wie Mischfett
Fette und Öle von Landtiere	7'865	0,00	0,00	0	0	3	4	4	wie Schweinefett
Pflanzliche Fette und Öle	5'055	0,00	0,00	0	0	3	4	4	wie Sonnenblumenöl
Abfälle von Ölen und Fetten	21'354	0,00	0,00	0	0	3	4	4	wie Mischfett
Biertreber, trocken	48'145	36,78	6,63	1'771	319	3	4	4	
Futterhefe	2'256	78,34	14,36	177	32	3	4	4	
Gluten	56'141	127,18	2,48	7'140	139	3	4	4	wie Weizenkleber
Kartoffelprotein	3'221	117,65	3,66	379	12	3	4	4	
Abfälle (Stärke, Leime, Inulin)	13'201	0,27	0,60	4	8	3	4	4	wie Kartoffelstärke
Kartoffelschalabfälle	856	2,64	0,44	2	0	3	4	4	
Zucker	8'674	0,00	0,20	0	2	3	4	4	
Melasse, von Zuckerrüben	799	15,53	0,14	12	0	3	4	4	
Melasse, von Zuckerrohr	368	15,53	0,14	6	0	3	4	4	wie Zuckerrübenmelasse
Zuckerrübenschnitzel, trocken	22'460	12,84	0,74	288	17	3	4	4	
Abfälle Kaffee-/Schokoladeprod.	250	18,80	0,69	5	0	3	4	4	wie Kaffeeextraktionsabfälle
Abfälle Teigwarenproduktion	1'767	24,35	1,71	43	3	3	4	4	
Anderes Obst (Schalenfrüchte)	97	0,61	0,12	0	0	3	4	4	wie Äpfel

Trester, trocken	1'226	7,17	1,12	9	1	3	4	4	wie Apfeltrester
Andere Futtermittel	32'690	3,31	0,56	108	18	3	4	4	wie Kartoffeln
Heu und Emd	264'507	16,61	3,24	4'395	857	3	4	4	
Luzerne	10'986	24,30	1,97	267	22	3	4	4	wie Luzernemehl
Maisnebenprodukte	15'904	7,57	1,71	120	27	3	4	4	wie Maiskolbensilage
Zuckerrüben	2'046	2,10	0,38	4	1	3	4	4	
Futterrüben	11'392	2,36	0,31	27	4	3	4	4	
Zichorienwurzeln	12	2,39	0,44	0	0	3	4	4	
Stroh	371'299	4,93	0,79	1'830	294	8	4	4	wie Weizenstroh
Futterphosphate				0	2'300	13	13	13	
Total				51'314	9'241				

Tabelle A2: Berechnung der Nährstoffmengen in den tierischen Nahrungsmitteln und anderen tierischen Produkten für 2018.

Produkt ^{a)}	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{b)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Milch von gemolkenen Kühen	3'944'663	5,50	1,00	21'696	3'945	1	11	11	
Milch von Mutterkühen	376'362	5,50	1,00	2'070	376	1, 13	11	11	
Rindvieh: Kühe	108'202	25,00	6,00	2'705	649	1, 13	11	11	wie Tierkörper Milchkuh
Rindvieh: Kalb	47'245	24,00	5,90	1'134	279	1, 13	11	11	wie Tierkörper Kalb
Rindvieh: Mastvieh	154'993	28,00	7,00	4'340	1'085	1, 13	11	11	wie Tierkörper Mastmuni
Schafe	11'845	22,00	6,00	261	71	1, 13	11	11	wie Tierkörper Schaf
Ziegen	1'078	21,00	5,30	23	6	1, 13	11	11	wie Tierkörper Ziege
Schweine	304'829	26,00	5,40	7'926	1'646	1, 13	11	11	wie Schwein, Mastzunahme
Geflügel	147'612	29,00	5,80	4'281	856	1, 13	11	11	wie Tierkörper Geflügel
Eier	53'546	18,00	1,80	964	96	1	11	11	
Total				45'398	9'009				

a) ohne die in die Para-Landwirtschaft exportierten Hofdünger

b) Quellenangabe: siehe Tab. A11

Tabelle A3: Berechnung der Nährstoffmengen in den tierischen Futtermitteln für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Milch von gemolkenen Kühen	452'400	5,50	1,00	2'488	452	1	11	11	
Milch von Mutterkühen	376'362	5,50	1,00	2'070	376	13	11	11	
Molke	1'120'000	1,24	0,44	1'386	489	3	4	4	
Mager- und Buttermilch	6'000	4,89	0,92	29	6	3	4	4	wie Magermilch
Magermilchpulver	4'618	55,43	10,07	256	47	3	4	4	
Molkepulver	3'068	20,19	6,74	62	21	3	4	4	
Buttermilchpulver	200	46,65	9,06	9	2	3	4	4	
Fette	11'500	0,00	0,00	0	0	3	4	4	wie Mischfett RS-65
Total				6'301	1'392				

a) Quellenangabe: siehe Tab. A11

Tabelle A4: Berechnung der Nährstoffmengen in den tierischen Nahrungsmitteln für 2018.

	t N	t P
+ Tierische Nahrungs- und Futtermittel und andere tierische Produkte ^{a)}	45'398	9'009
- Tierische Futtermittel	6'301	1'392
+ In die Para-Landwirtschaft exportierte Hofdünger	2'803	436
= Tierische Nahrungsmittel und andere tierische Produkte	41'900	8'053

a) ohne die in die Para-Landwirtschaft exportierten Hofdünger

Tabelle A5: Berechnung der Nährstoffmengen im importierten Saatgut für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Getreidesaatgut	2'334	21,68	3,37	51	8	2	4	4	wie Brotweizen, Körner
Kartoffelsaatgut	5'192	2,30	0,66	12	3	2	11	11	
Grassamen	8'202	22,00	3,06	180	25	2	9	9	wie Grassamen
anderes Saatgut	1'783	32,28	7,21	58	13	2	4	4	wie Raps
Total	17'511			301	49				

a) Quellenangabe: siehe Tab. A11

Tabelle A6: Berechnung der Nährstoffmengen in den pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Wiesenfutter	4'187'940	23,57	3,50	98'700	14'638	13	13	13	b)
Silomais	811'042	12,24	2,16	9'927	1'748	13	4	4	b), c)
Weizen	474'123	21,68	3,37	10'279	1'599	1	4	4	wie Brotweizen
Roggen	10'112	15,72	3,36	159	34	1	4	4	
Dinkel, Mischel	21'980	19,03	3,71	418	82	1	4	4	mit Spelzen
Gerste, Mischel	182'068	16,60	3,59	3'023	653	1	4	4	d)
Hafer	8'256	16,03	3,18	132	26	1	4	4	mit Spelzen
Triticale	47'342	16,81	3,63	796	172	1	4	4	
Körnermais	134'834	13,20	2,84	1'780	383	1	4	4	
Kartoffeln	447'000	3,31	0,56	1'480	249	1	4	4	
Zuckerrüben	1'263'462	2,10	0,38	2'650	477	1	4	4	
Zuckerrübenköpfe und -laub	666'827	3,14	0,35	2'091	233	11	4	4	mit Köpfe, grün
Rübenwascherde	23'832	2,00	0,55	48	13	13	12	10	
Futterrüben	40'000	2,36	0,31	94	12	1	4	4	ohne Blätter
Futterrübenköpfe und -laub	14'629	3,50	0,30	51	4	11	11	11	
Eiweisserbsen	12'479	29,85	4,37	373	55	1	4	4	
Raps	77'478	32,28	7,21	2'501	558	1	4	4	
Sonnenblumen	16'513	27,06	5,23	447	86	1	4	4	e)
Soja	3'740	56,99	6,14	213	23	1	4	4	
Gemüse	406'049	2,56	0,37	1'039	150	1	7	7	f)
Obst	388'505	0,61	0,12	236	45	1	4	4	wie Äpfel
Trauben	140'742	1,12	0,19	158	27	1	5	5	
andere pflanzliche Produkte	10'448	80,00	25,00	836	261	13	13	13	
Total				137'430	21'529				

a) Quellenangabe: siehe Tab. A11

b) Menge in t TS und Nährstoffgehalte in g/kg TS

c) wie Maissilage (Teigreife, Kolbenanteil 55 %)

d) wie Gerste (Körner mittel, 62 - 69 kg/hl)

e) wie Sonnenblumen (> 24 % RF, nicht entschält)

f) Mittel von Gartenbohnen, Karotten und Kopfsalat

Tabelle A7: Berechnung der Nährstoffmengen in den pflanzlichen Futtermitteln für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Wiesenfutter	4'187'940	23,57	3,50	98'700	14'638	13	13	13	b)
Silomais	811'042	12,24	2,16	9'927	1'748	13	4	4	b), c)
Weizen	98'522	21,68	3,37	2'136	332	3	4	4	wie Brotweizen
Roggen	2'225	15,72	3,36	35	7	3	4	4	
Dinkel	4'215	19,03	3,71	80	16	3	4	4	mit Spelzen
Gerste	196'245	16,60	3,59	3'258	704	3	4	4	d)
Hafer	9'767	16,03	3,18	157	31	3	4	4	mit Spelzen
Triticale	47'368	16,81	3,63	796	172	3	4	4	mit Spelzen
Körnermais	139'109	13,20	2,84	1'836	395	3	4	4	
Futterkartoffeln	76'984	3,31	0,56	255	43	1	4	4	
Soja	1'637	56,99	6,14	93	10	3	4	4	
Sojaextraktionsschrot	1'842	72,46	6,62	133	12	3	4	4	e)
Rapsextraktionsschrot	44'950	55,01	11,97	2'473	538	3	4	4	f)
Sonnenblumenextraktionsschrot	8'637	46,78	10,87	404	94	3	4	4	g)
Zuckerrübenschnitzel, trocken	24'250	12,84	0,74	311	18	3	4	4	
Zuckerrübenschnitzel, frisch	318'588	3,83	0,21	1'221	67	3	4	4	
Melasse	38'475	15,53	0,14	597	5	3	4	4	
Zuckerrübenköpfe und -laub	666'827	3,14	0,35	2'091	233	11	4	4	mit Köpfe, grün
Futterrüben	40'000	2,36	0,31	94	12	3	4	4	ohne Blätter
Futterrübenköpfe und -laub	14'629	3,50	0,30	51	4	11	11	11	
Weizenkleie	68'926	24,90	13,00	1'716	896	3	4	4	
Weizenmehl	13'356	24,87	3,86	332	52	3	4	4	wie Weizenfuttermehl hell
Lupinen	469	51,17	5,09	24	2	3	4	4	wie Lupinen, süss weiss
Eiweisserbsen	12'683	29,85	4,37	379	55	3	4	4	
Trockengemüse	2'614	41,20	6,27	108	16	3	4	4	wie Ackerbohnen
Gemüseabfälle	10'615	46,00	3,49	488	37	3	6	6	
Früchte	3'774	0,61	0,12	2	0	3	4	4	wie Äpfel
Fruchtabfälle feucht	17'006	1,99	0,31	34	5	3	4	4	wie Apfeltrester
Fruchtabfälle trocken	4'042	7,17	1,12	29	5	3	4	4	wie Apfeltrester getrocknet
Bäckereiabfälle	9'065	17,44	1,31	158	12	3	4	4	
Zichorienwurzeln	7'809	2,39	0,44	19	3	3	4	4	frisch
Total				127'939	20'166				

- a) Quellenangabe: siehe Tab. A11
- b) Menge in t TS und Nährstoffgehalte in g/kg TS
- c) wie Maissilage (Teigreife, Kolbenanteil 55 %)
- d) wie Gerste (Körner mittel, 62 - 69 kg/hl)
- e) wie Sojaextraktionsschrot, 1.3 - 2.5 % RL, nicht entschält
- f) wie Rapsextraktionsschrot, 00-Typ 1.3 - 2.5 % RL
- g) wie Sonnenblumenextraktionsschrot (teilentschält)

Tabelle A8: Berechnung der Nährstoffmengen im inländischen Saatgut für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Brotgetreidesaatgut	17'238	21,68	3,37	374	58	1	4	4	wie Brotweizen
Futtergetreidesaatgut	6'762	16,60	3,59	112	24	1	4	4	b)
Kartoffelsaatgut	22'004	3,31	0,56	73	12	1	4	4	wie Kartoffeln
Total				559	95				

- a) Quellenangabe: siehe Tab. A11
- b) wie Gerste (Körner mittel, 62 - 69 kg/hl)

Tabelle A9: Berechnung der Nährstoffmengen in den pflanzlichen Nahrungsmitteln für 2018.

	t N	t P
+ Pflanzliche Nahrungs- und Futtermittel sowie inländisches Saatgut	137'430	21'529
- Pflanzliche Futtermittel	127'939	20'166
- Inländisches Saatgut	559	95
= Pflanzliche Nahrungsmittel	8'932	1'269

Tabelle A10: Berechnung der Nährstoffmengen in den Fütterungsverlusten und im Stroh für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Fütterungsverluste: Wiesen	220'418	23,57	3,50	5'195	770	13	13	13	b)
Fütterungsverluste: Silomais	42'686	12,24	2,16	522	92	13	4	4	b), c)
Weizenstroh	553'144	4,93	0,79	2'726	438	11	4	4	
Roggenstroh	12'870	4,22	0,88	54	11	11	4	4	
Dinkelstroh	34'191	5,00	1,10	171	38	11	11	11	
Gerstenstroh	182'068	4,65	0,76	846	139	11	4	4	
Haferstroh	10'508	4,51	1,23	47	13	11	4	4	
Triticalestroh	59'178	3,30	0,60	195	36	11	11	11	
Rapsstroh	199'229	7,00	0,90	1'395	179	11	11	11	
Total				11'152	1'716				

a) Quellenangabe: siehe Tab. A11

b) Menge in t TS und Nährstoffgehalte in g/kg TS

c) wie Maissilage (Teigreife, Kolbenanteil 55 %)

Tabelle A11: Berechnung der Nährstoffmengen in den Ernteverlusten und den Ernterückständen für 2018.

Produkt	Menge t FS	Nährstoffgehalt		Nährstoffmenge		Quelle ^{a)}			Bemerkungen
		g N/kg	g P/kg	t N	t P	Menge	N	P	
Ernteverluste: Wiesen	777'945	23,57	3,50	18'334	2'719	13	13	13	b)
Ernteverluste: Silomais	17'423	12,24	2,16	213	38	13	4	4	b), c)
Maisstroh	148'317	7,23	1,20	1'072	178	11	4	4	
Kartoffelkraut	198'667	1,40	0,20	278	40	11	11	11	
Erbсенstroh	15'599	20,00	3,30	312	51	11	11	11	wie Eiweisserbsenstroh
Sonnenblumenstroh	33'026	9,00	1,20	297	40	11	11	11	
Sojabohnenstroh	3'740	35,00	5,10	131	19	11	11	11	
Gemüse: Ernterückstände	7'015	46,00	3,49	323	25	13	5	5	
Total				20'960	3'109				

a) Quellen:

- 1 agristat 2019a
- 2 agristat 2019b
- 3 agristat 2020
- 4 Agroscope 2020
- 5 BLV 2019
- 6 Bundesgütegemeinschaft Bodenverbesserung e.V. 1995
- 7 Elmadfa *et al.* 1988
- 8 EZV 2020
- 9 Fritsch 2019
- 10 Furrer 1975
- 11 GRUD 2017
- 12 Hasler und Hofer 1979
- 13 eigene Berechnung

b) Menge in t TS und Nährstoffgehalte in g/kg TS

c) wie Maissilage (Teigreife, Kolbenanteil 55 %)