

Phosphorflüsse in der Schweiz 2015: Stand, Entwicklungen und Treiber

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Prof. Dr. Claudia R. Binder
MSc U-Ing. Jonas Mehr

Endbericht
November 2017

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

École Polytechnique Fédérale de Lausanne

Environmental Engineering Institute

Laboratory for Human-Environment Relations in Urban Systems (HERUS)

Bâtiment GR

CH-1015 Lausanne

Autoren

Jonas Mehr

Prof. Dr. Claudia R. Binder

Begleitung BAFU

Dr. Kaarina Schenk

Zitiervorschlag

BAFU (Hrsg.) 2017: Phosphorflüsse in der Schweiz 2015: Stand, Entwicklungen und Treiber. Bundesamt für Umwelt, Bern.

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	ii
Zusammenfassung	iii
Résumé	vi
Summary	ix
Danksagung	xii
1. Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	1
2. Methodik	2
3. Resultate	7
3.1 Hauptsystem	7
3.2 Subsystem Landwirtschaft	13
3.2.1 Subsystem Landwirtschaft Tiere	15
3.2.2 Subsystem Landwirtschaft Pflanzen	18
3.3 Subsystem Chemische Industrie	22
3.4 Subsystem Haushalt & Gewerbe	25
3.5 Subsystem Abfallwirtschaft	28
3.6 Subsystem Gewässer	34
3.7 Fazit	37
4. Treiber zukünftiger Entwicklungen der P-Flüsse	39
4.1 Szenarien	39
4.1.1 Gesunde und ausgewogene Ernährung	40
4.1.2 Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins	43
4.1.3 Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehrriech	45
4.1.4 Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%	47
4.1.5 Zusammenfassung der Szenarien	49
4.2 Weitere Trends	51
5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen	56
6. Literatur	58
Anhang 1: Detailbeschreibung der Prozesse und Flüsse	61
Anhang 2: Datenbasis der P-Flüsse	67
Anhang 3: P-Monitoring-Tool	73
Anhang 4: Szenarien	77

Abkürzungsverzeichnis

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLV	Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
BSE	Bovine spongiforme Enzephalopathie
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung
GVE	Grossvieheinheit
H&G	Haushalt & Gewerbe
KS	Klärschlamm
KSV	Klärschlammverbrennung
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
LW	Landwirtschaft
MV	Monoverbrennung
NADUF	Nationale Datenuntersuchung der Fliessgewässer
NM	Nahrungsmittel
OIE	Weltorganisation für Tiergesundheit
ÖLN	Ökologischer Leistungsnachweis
P	Phosphor
REZGUS	Rheineinzugsgebiet unterhalb der grossen Seen
SBV	Schweizerischer Bauernverband
TNP	tierische Nebenprodukte
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
VTNP	Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

Zusammenfassung

Einleitung – Phosphor (P) ist für alle Organismen ein essenzielles und nicht substituierbares Hauptnährelement. Obwohl alarmierende Studien einer baldigen P-Knappheit und Gefährdung der globalen Nahrungsmittelversorgung relativiert und neue mineralische Phosphatreserven entdeckt wurden, stellen sich insbesondere für Länder ohne eigene Phosphatreserven Fragen der geopolitischen P-Knappheit sowie der effizienten und nachhaltigen Nutzung von P. Das Wissen über die Verteilung und Dynamik der P-Flüsse stellt dabei eine bedeutende Entscheidungsgrundlage dar.

In den nächsten Jahren sind bedeutende Änderungen im Schweizer P-Haushalt zu erwarten: mit der Inkraftsetzung der neuen Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) per Anfang 2016 (mit einer 10-jährigen Übergangsfrist) wird die Rückgewinnung von P aus P-reichen Abfällen wie Klärschlamm sowie Tier- und Knochenmehl in der Schweiz auf Verordnungsstufe vorgeschrieben. Um die Umsetzung der VVEA bezüglich P zu unterstützen ist die Kenntnis der P-Flüsse, ihrer Veränderungen und ihrer Treiber unerlässlich. In einer im Jahr 2009 durchgeführten Studie wurden die P-Flüsse der Schweiz für das Jahr 2006 zum ersten Mal in einem Stoffflussanalyse-Modell in hoher Auflösung, Datenqualität und Konsistenz quantifiziert. Im Rahmen der damaligen Studie wurde darüber hinaus ein P-Monitoring-Tool entwickelt, welches die Neuberechnung der P-Flüsse und -Lager für spätere Jahre erheblich vereinfacht. Unter Verwendung dieses Tools wurden die P-Flüsse letztmals für das Jahr 2011 erhoben.

Ziel der vorliegenden Studie ist es, den Schweizer P-Haushalt für das Jahr 2015 zu bestimmen und mithilfe von Vergleichen mit den bisherigen Erhebungen der Jahre 2006 und 2011 auf Veränderungen der P-Flüsse und -Lager aufmerksam zu machen. Das P-Monitoring-Tool wurde dabei umfassend revidiert und der neuen Datenlage angepasst, was bei Vergleichen mit den bisherigen Erhebungen berücksichtigt werden muss: die direkte Vergleichbarkeit ist nicht immer gegeben. Somit erfüllt die Studie den Anspruch, den Schweizer P-Haushalt in einer vorher nicht dagewesenen Datenqualität und Konsistenz abzubilden. Um die Analyse des Schweizer P-Haushalts a) zu vereinfachen und b) leichter messbar zu machen wurde für das Gesamtsystem sowie für die Subsysteme *Landwirtschaft Pflanzen* und *Abfallwirtschaft* je ein Indikator entwickelt: die Recycling-zu-Import-Rate, die P-Effizienz Pflanzenbau sowie die Quote P-Verluste Abfallwirtschaft. Diese drei Indikatoren können auf jede neue Erhebung angewandt werden und erleichtern die Dokumentation wichtiger Verschiebungen im P-Haushalt.

Ein separates Kapitel widmet sich zudem einer Reihe von möglichen Treibern und Trends (abseits der P-Recyclingpflicht gemäss neuer VVEA), welche den Schweizer P-Haushalt verändern können, und diskutiert diese Änderungen aus Sicht des Gesamtsystems. In einem ersten Teil werden vier Szenarien für einen veränderten Umgang mit P-haltigen Materialien betrachtet und analysiert, wie sich diese quantitativ auf den Schweizer P-Haushalt auswirken:

- 1) Gesunde und ausgewogene Ernährung (genannt ‚Ernährung‘)
- 2) Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins (‚Urinseparation‘)
- 3) Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht (‚Kehricht‘)
- 4) Konsequente Verwendung von tierischen Nebenprodukten der Kategorie 3 als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10% (‚K3-TNP‘)

In einem zweiten Teil werden weitere Einflussparameter rein qualitativ betrachtet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um politische Vorstösse (Motionen), Gesetzesänderungen sowie sonstige in der Schweiz oder Europa denkbare Trends, welche einen potenziellen Einfluss auf den Schweizer P-Haushalt haben.

Resultate – Die Schweiz ist nach wie vor Netto-Importeur von P. Während die P-Importe seit 2006 auf rund 14'700 tP/a abgenommen haben, sind die P-Exporte auf rund 4'500 tP/a angestiegen: es verbleibt ein Netto-Import in der Grössenordnung von 10'000 tP/a. Rund drei Viertel aller Importe gelangen als Futtermittel (rund 6'200 tP/a, Tendenz zunehmend) und Mineraldünger (gut 4'200 tP/a, Tendenz abnehmend) in die Schweizer Landwirtschaft. Weitere bedeutende P-Mengen werden über Nahrungsmittel sowie Chemikalien und Produkte für die Chemische Industrie in die Schweiz eingeführt. Der Export findet hauptsächlich als natürlicher Gewässerabfluss ins Ausland und durch den Export von tierischen Nebenprodukten statt. Das durch den Netto-Import verursachte P-Lagerwachstum in der Schweiz findet in landwirtschaftlichen Böden (+ 456 tP/a) und, zum mit Abstand grössten Teil, in der Abfallwirtschaft (+ 9'690 tP/a) statt, wo ein bedeutender Teil des P deponiert oder im Zement eingebunden wird. Seit der Einführung des Ausbringungsverbots von Klärschlamm im Jahr 2006 gelangt P lediglich in Form von Grüngütdünger zurück in Landwirtschaft und Gärten.

Die Struktur des Schweizer P-Flusssystems blieb über das letzte Jahrzehnt im Wesentlichen stabil, einzelne Fluss- und Lagerveränderungen sind jedoch zu verzeichnen. Neben leichten Verschiebungen bei den Import- und Exportflüssen sowie einem leichten Anstieg der P-Flüsse im Konsumbereich aufgrund des Bevölkerungswachstums, ist in der Landwirtschaft eine bedeutende Veränderung im Vergleich zu den vorherigen Erhebungen zu beobachten: das P-Lagerwachstum in den landwirtschaftlichen Böden hat seit 2006, insbesondere aufgrund des effizienteren Düngerauftrags durch agrarpolitische Massnahmen und Sensibilisierung der Landwirte, um knapp 3'000 tP auf 456 tP im Jahr 2015 abgenommen.

Die Entwicklung der drei Indikatoren seit 2006 bestätigt die wesentlichen Erkenntnisse der Analyse des Schweizer P-Haushalts: während die Recycling-zu-Import-Rate seit 2006 relativ konstant bei rund 10% (exklusiv Hofdünger) blieb, hat die P-Effizienz Pflanzenbau in der gleichen Zeit um gut 8% zugenommen. Die Quote P-Verluste Abfallwirtschaft ist unverändert hoch (rund 90%), hat aufgrund der zunehmenden Relevanz der stofflichen Verwertung von biogenen Abfällen (Vergärung und Kompostierung) seit 2011 aber leicht abgenommen. Das P-Recyclingpotenzial in der Schweiz beträgt rund 13'300 tP, wovon 9'690 tP auf das P-Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft (Deponien und Zementwerke) zurückgehen. Mit der VVEA-Revision und der damiteinhergehenden P-Recycling-Pflicht aus Klärschlamm und Tier- sowie Knochenmehl wurde die gesetzliche Grundlage geschaffen, einen Teil dieses Potenzials in Zukunft zu nutzen.

Wie im Kapitel 4 dieses Berichts aufgezeigt wird, kann auch an anderen Punkten im P-Haushalt angesetzt werden, um a) P in Landwirtschaft und Gärten zurückzuführen und b) die P-Nachfrage generell zu reduzieren. Während die Szenarien ‚Urinseparation‘ und ‚Kehricht‘ eine Reduktion der Mineraldüngerimporte im Bereich von 12 bis 15% und das Szenario ‚K3-TNP‘ eine Verringerung der Futterimporte um 27% zur Folge haben, sind die Auswirkungen auf den Schweizer P-Haushalt durch ein geändertes Ernährungsverhalten mit Sicht auf das Gesamt-

system umfassender: die P-Umsätze in Hofdünger und pflanzlichem Futter in der Landwirtschaft sowie die Menge tierischer Nebenprodukte verzeichnen starke Abnahmen zwischen 2'000 und 4'500 tP/a. Die P-Menge, welche über den Nahrungsmittelkonsum im Abwasser landet, bleibt hingegen beinahe konstant. Das P-Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft und somit das P-Recyclingpotenzial durch die VVEA-Revision nimmt bei allen vier Szenarien leicht ab (zwischen 1 und 8%).

Diskussion und Ausblick – Aus Sicht einer nachhaltigen Ressourcennutzung ist das P-Management der Schweiz nicht optimal gestaltet. Das Ziel sollte in erster Linie sein, die P-Importabhängigkeit wo möglich zu reduzieren. Dies betrifft insbesondere die Futtermittel- und Mineraldüngerimporte, wobei letztere durch die inländische Rückführung von P-Flüssen aus der Abfallwirtschaft reduziert oder gar vollständig kompensiert werden könnten. Die Inkraftsetzung der neuen VVEA per Anfang 2016 ist der erste Schritt zu dieser P-Kreislaufwirtschaft. Sie setzt dort an, wo die grössten P-Rückgewinnungspotentiale liegen: in der Abfallwirtschaft mit einem Umsatz von über 14'000 tP/a und einem jährlichen P-Lagerwachstum von knapp 10'000 tP/a.

Ebenso gilt es jedoch, weitere Wege des nachhaltigen Umgangs mit P und der P-Rückführung in die Landwirtschaft zu prüfen und gegebenenfalls durch das Setzen von Anreizen, durch infrastrukturelle Anpassungen und Gesetzesregulierungen zu fördern bzw. zu ermöglichen. Gerade die menschliche Ernährung hat einen bedeutenden Einfluss auf den nationalen P-Haushalt, wobei hier empfohlen wird, diese Zusammenhänge gegebenenfalls in einer separaten Studie genauer zu analysieren. Zudem könnten gewisse P-Mengen durch Urinseparationssysteme oder durch konsequente Verwendung tierischer Nebenprodukte der Kategorie 3 als flüssiges Tierfutter bereits vor dem Gang in die Abfallwirtschaft in die Landwirtschaft zurückgeführt werden.

In einem nachhaltigen P-Management müssen die verschiedenen P-Verwertungswege gegeneinander abgewogen werden und soll dafür gesorgt werden, dass sich die verschiedenen, teils divergierenden Interessen bestmöglichst ergänzen. Im Hinblick auf das Gesamtsystem sind alle in den vier Szenarien skizzierten P-Recyclingwege prüfenswert: die menschliche Ernährung beeinflusst die P-Flüsse an der Quelle und hat einen bedeutenden Einfluss auf die P-Flüsse; das Potenzial der Urinseparation wird davon abhängen, wie gut solche Systeme in die bestehende Infrastruktur integrierbar sind; Optimierungspotenziale bei der Verwertung biogener Abfälle wurden in einer im Jahr 2016 vom BAFU in Auftrag gegebenen Studie bestätigt; bei der Verwertung tierischer Nebenprodukte der Kategorie 3 wird der Gesundheitsschutz der Bevölkerung die entscheidende Rolle spielen. Es sind bei all diesen Massnahmen demnach eine Reihe weiterer Punkte von Relevanz: ökonomische Tragbarkeit, ökologische und gesundheitliche Aspekte, gesellschaftliche und politische Akzeptanz sowie technische und logistische Umsetzbarkeit. Diese Faktoren müssen zwingend miteinbezogen werden, wenn auf politischer Ebene weitere Massnahmen für ein nachhaltiges P-Management geplant und umgesetzt werden. Dabei erlaubt eine regelmässige Aktualisierung der P-Flüsse die Beurteilung der Wirksamkeit von bereits erfolgten Massnahmen. Durch die Verwendung des P-Monitoring-Tools, welches im Rahmen der ersten Erhebung 2009 entwickelt und während der Durchführung dieser Studie überarbeitet wurde, ist eine Neuberechnung der Schweizer P-Flüsse mit relativ geringem Aufwand möglich, und sollte rund alle vier bis fünf Jahre ins Auge gefasst werden.

Résumé

Introduction – Le phosphore (P) est un élément nutritif essentiel non substituable pour tous les organismes. Bien que des études qui pronostiquaient une pénurie de P imminente avec de graves conséquences pour la sécurité alimentaire mondiale ont été relativisées et que de nouvelles réserves minérales de P ont été découvertes, le sujet reste critique surtout pour des pays sans réserve propre de P qui se posent des questions concernant la pénurie géopolitique de P ainsi que l'utilisation efficace et durable du P. Une connaissance approfondie de la distribution et des dynamiques des flux de P est essentielle dans ce contexte.

Dans les prochaines années, la composition des flux et réservoirs de P suisses est susceptible de changer profondément: La mise en œuvre début 2016 de la nouvelle ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) avec une phase transitoire de 10 ans prévoit la récupération du P des déchets à haute concentration de P, tels que les boues d'épuration et les farines animales et d'os. Afin de faciliter la mise en œuvre de l'OLED, une bonne connaissance des flux actuels de P, de leur évolution, ainsi que des facteurs d'influence est essentielle. Une étude conduite en 2009, basée sur des données de 2006, a pour la première fois quantifié les flux suisses de P grâce à un modèle d'analyse de flux de substances cohérent, à haute résolution et basé sur des données de haute qualité. Dans le cadre de cette étude, un P Monitoring Tool a également été développé afin de faciliter la quantification a posteriori des flux et stocks de P. En 2011, les flux et stocks de P ont ainsi été recalculés en utilisant cet outil.

La présente étude a pour but de calculer les flux et stocks de P suisses pour l'année 2015, et de détailler leur évolution en se basant sur les études menées en 2006 et 2011. Dans ce contexte, le P Monitoring Tool a été révisé en vue des nouvelles données. Par conséquent, la présente étude montre l'état actuel des flux et stocks suisses de P avec une qualité et une cohérence sans précédent. Afin de a) simplifier l'analyse et de b) faciliter la quantification des flux et stocks suisses de P, des indicateurs ont été développés à la fois pour le système agrégé ainsi que pour les sous-systèmes *Agriculture Végétation*, et *Gestion des Déchets*. Ces indicateurs sont le taux de recyclage en comparaison avec les importations de P, l'efficacité en P de la production végétale et le taux des pertes de P dans la gestion des déchets. Ces trois indicateurs pourront être utilisés pour toute nouvelle étude et faciliteront ainsi l'observation de l'évolution des flux et stocks de P.

Un chapitre du présent rapport traite des tendances et des facteurs d'influence (à part celles et ceux en lien avec les nouvelles directives concernant le recyclage du P comprises dans l'OLED), qui sont susceptibles d'avoir un impact sur les flux et stocks de P en Suisse, et discute leurs implications au niveau du système agrégé. Dans une première partie, quatre scénarios sur les modifications possibles de gestion des matériaux contenant du P sont développés de manière quantitative et sont discutés en vue de leurs implications sur les flux et stocks de P en Suisse. Ces scénarios sont les suivants:

- 1) Une nutrition saine et équilibrée (nommé 'nutrition')
- 2) La séparation de 20% de la quantité totale de l'urine produite en Suisse ('séparation de l'urine')

- 3) Aucun résidu de légume ou déchet de jardinage dans les déchets (,déchets‘)
- 4) Utilisation stricte des sous-produits animaux de la catégorie 3 en tant qu'aliments pour animaux avec une augmentation parallèle du matériel K3 de 10% (,K3-SPA‘)

Dans une deuxième partie, des facteurs d'influence additionnels sont discutés de manière qualitative. Ces facteurs d'influence comprennent des motions politiques, changements de la loi, ainsi que des tendances suisses et européennes qui pourraient avoir des répercussions sur les flux et stocks suisses de P.

Résultats – La Suisse continue d'être un importateur net de P. Depuis 2006, les importations de P ont diminué à 14'700 tP/a, alors que les exportations ont augmenté à 4'500 tP/a. Il en résulte une importation nette de l'ordre de 10'000 tP/a. Environ trois quarts des importations sont utilisés par l'agriculture en tant qu'aliments pour animaux (env. 6'200 tP/a avec une tendance à l'augmentation), ou en tant qu'engrais minéraux (env. 4'200 tP/a avec une tendance à la diminution). Les autres principaux importateurs sont le secteur alimentaire et l'industrie chimique. L'exportation se fait principalement par l'écoulement du P dans les cours d'eau qui traversent la frontière, ainsi que par l'exportation de sous-produits animaux. La croissance nette des stocks de P en Suisse résultant de l'importation nette positive, a lieu dans les sols agricoles (+456 tP/a) et, principalement, dans la gestion des déchets (+ 9'690 tP/a) où une partie significative du P est déposé ou intégré dans du ciment. Depuis que l'épandage de boue d'épuration a été interdite en 2006, le P rentre dans l'agriculture et le jardinage uniquement sous forme d'engrais vert.

Durant la dernière décennie, les flux et stocks de P en Suisse n'ont pas subi de profond changement. Outre, les légers changements dans les importations et exportations, ainsi que l'influence de la croissance démographique sur les flux de P du secteur liés à la consommation, seuls les flux en lien avec l'agriculture ont changé de manière prononcée en comparaison avec les études précédentes: l'épandage plus efficace d'engrais, rendu possible grâce aux mesures politiques et à la sensibilisation des agriculteurs, a abouti à la diminution de la croissance des stocks de P dans les sols agricoles de 2006 à 2015 de 3000 tP à 456 tP/a.

Les tendances observées depuis 2006 pour les trois indicateurs confirment les conclusions tirées de l'analyse des flux et stocks de P en Suisse: Alors que le taux de recyclage en comparaison avec les importations de P reste relativement constant à 10% (excl. fumier), l'efficacité en P de la production végétale a augmenté de 8%. Le taux des pertes dans la gestion des déchets reste élevé à près de 90%, malgré une légère diminution depuis 2011, surtout à cause de l'utilisation matérielle des déchets biogènes (fermentation et compostage). Le potentiel de recyclage de P en Suisse est d'environ 13'300 tP, dont 9'690 tP dû à l'accroissement du stockage dans la gestion des déchets (décharges et production de ciment). La révision de l'OLED et la mise en œuvre d'une obligation de recycler le P des boues d'épuration ainsi que des farines animales et d'os posent le cadre légal nécessaire pour l'utilisation future de ce potentiel.

Le chapitre 4 du présent rapport détaille les possibilités d'intervention dans les flux et stocks de P avec pour but de a) récupérer du P pour l'agriculture et le jardinage, et b) de réduire la demande de P en général. Bien que les scénarios ,séparation de l'urine' et ,déchets' résulteraient en une réduction de l'importation d'engrais minéral de l'ordre de 12 à 15%, et le scénario

'K3-SPA' résulterait en une réduction des importations d'aliments pour animaux de l'ordre de 27%, un changement dans les pratiques alimentaires aurait un impact encore plus important sur le système agrégé. En effet, les flux totaux de P contenu dans le fumier et le fourrage ainsi que la quantité de sous-produits animaux diminueraient significativement de l'ordre de 2000 à 4'500 tP/a. Toutefois, la quantité de P qui termine dans les eaux usées à cause de la consommation alimentaire reste quasiment constante. La croissance du stockage de P dans le secteur de la gestion des déchets et donc le potentiel de recyclage P grâce à la révision de l'OLED diminue légèrement dans les quatre scénarios (entre 1 et 8%).

Discussions et perspectives – Actuellement, la gestion du P en Suisse n'est pas optimale en vue d'une gestion durable des ressources. Un objectif principal doit être la réduction de la dépendance aux importations de P. Ceci concerne principalement les importations d'aliments pour animaux et d'engrais minéraux, qui pourraient être substitués partiellement ou même entièrement avec du P récupéré grâce à une meilleure gestion des déchets. Un premier pas dans la direction d'une telle économie circulaire du P a été achevé avec la mise en œuvre de la nouvelle OLED début 2016. La nouvelle OLED cible les domaines où le potentiel de récupération est le plus haut: la gestion des déchets qui compte des flux totaux de P de l'ordre de 14'000 tP/a et la croissance annuelle du stock qui est d'environ 10'000 tP/a.

Outre les mesures susmentionnées, il s'agit d'évaluer d'autres approches à la gestion durable du P et à sa récupération pour l'agriculture, et, si elles sont jugées adéquates, de faciliter leur implémentation à travers de nouvelles incitations, innovations infrastructurelles, ou projets de loi. Les pratiques alimentaires humaines ayant une grande influence sur les flux et stocks nationaux de P, il est recommandable d'évaluer ces relations dans une étude plus approfondie. En outre, l'implémentation de systèmes de séparation de l'urine ou l'utilisation stricte des sous-produits animaux de la catégorie 3 comme aliments liquides pour animaux, avant même que le P passe par les systèmes de gestion des déchets, permettrait également de récupérer des quantités de P non négligeables pour l'agriculture. Pour une gestion durable du P, ces différentes manières d'intervenir dans le traitement du P sont à comparer en tenant compte des intérêts des différents acteurs. Il est en outre essentiel de tenir compte d'autres facteurs d'importance tels que la rentabilité, les aspects écologiques et sanitaires, la cohérence des mesures proposées avec les normes sociales et les priorités politiques, ainsi que les contraintes technologiques et logistiques. Ces facteurs sont d'une importance primordiale dans l'élaboration et l'implémentation de projets politiques pour une gestion durable du P. De plus, une mise à jour régulière des flux de P permettrait d'évaluer l'impact des mesures déjà mises en œuvre.

Summary

Introduction – Phosphorus (P) is an essential and non-substitutable main nutrient element for all organisms. Although alarming studies signaling an upcoming P shortage and thus a threat to the global food supply were put into perspective and new phosphate resources were discovered, it is vital to consider questions about geopolitical P scarcity as well as an efficient and sustainable P use, especially for countries without their own phosphate resources. Knowledge about the distribution and dynamics of national P flows is an important basis for decision making in this regard.

In the next few years, fundamental changes of the Swiss P budget are on the horizon: with the implementation of the new waste regulation (*Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen*, VVEA) in early 2016 (with a ten-year transition period), the recovery of P from P-rich wastes such as sewage sludge and meat and bone meal is now regulated by law in Switzerland. In order to support the realization of the VVEA in terms of P, knowledge of the national P flows, their temporal development as well as their drivers is vital. In a study carried out in 2009, the P flows of Switzerland (reference year: 2006) were quantified for the first time by means of a substance flow analysis model of high resolution, data quality and consistency. In the course of the study, a P monitoring tool was created, which facilitates the revaluation of the P flows and stocks. By using this tool, the Swiss P flows were last assessed for the year 2011.

This study aims to assess the Swiss P budget for the year 2015 as well as to indicate important changes of P flows and stocks by a comparison with the former analyses of the years 2006 and 2011. In this process, the P monitoring tool has been extensively revised and adapted to current data structure, which needs to be considered when comparing to former analyses: direct comparability is not always ensured. Hence, this study meets the claim of improving the consistency of the Swiss P budget. In order to a) facilitate and b) make the analysis of the Swiss P budget measurable, an indicator for each the total system as well as the two subsystems *Cultivation* and *Waste Management* was developed: the Recycling-to-Import-Rate, the P Efficiency Plant Production as well as the P Losses Waste Management. These three indicators can be used in future assessments in order to facilitate the documentation of important changes in the P budget.

An additional chapter focuses on several possible drivers and trends (apart from the P recycling according to the new VVEA), which might influence the Swiss P budget in the future, and discusses these changes from a systemic perspective. In a first section, four scenarios of an altered use of P-containing materials are considered and their quantitative impact on the Swiss P budget is analyzed:

- 1) Healthy and balanced diet (named ‚diet‘)
- 2) Separation of 20% of the total urine in Switzerland („urine separation“)
- 3) No kitchen and garden waste in the municipal solid waste („municipal solid waste“)
- 4) Consistent utilisation of category-3 animal by-products as liquid fodder with a simultaneous augmentation of category-3 material by 10% („C3-ABP“)

In a second section, further influencing factors are examined qualitatively. These factors mainly include political requests, legislative changes and other trends conceivable in Switzerland or Europe, which might all have an influence on the national P budget.

Results – Switzerland is a net importer of P. While P imports have decreased to approx. 14'700 tP/a since 2006, P exports have increased to approx. 4'500 tP/a: about 10'000 tP/a of net import remain. About three quarters of the imports are demanded by the Swiss agriculture, whereas fodder (approx. 6'200 tP/a, increasing) and mineral fertilizers (approx. 4'200 tP/a, decreasing) are the most relevant imports thereof. Further considerable amounts of P are imported through food as well as chemicals and products for the chemical industry. The exported P amounts are to a large part river outflow and exports of animal by-products. The stock increase of P in Switzerland caused by the import surpluses arises in agricultural soils (+ 456 tP/a) and, for the most part, in the waste management sector (+ 9'690 tP/a), where substantial P amounts are landfilled or bound into cement. Since the direct use of sewage sludge in agriculture has been banned in 2006, digestate fertilizers are the only P recovery option for use in agriculture and gardening.

The structure of the Swiss P flow system has essentially remained stable over the past decade, however, some flows and stocks have changed. Apart from small changes of import and export flows as well as a slight increase of P flows in the consumption sector due to population growth, there can be observed, however, a considerable change in the agriculture in comparison to the former studies: the P stock increase in agricultural soils has decreased by almost 3'000 tP/a to 456 tP/a in 2015 since 2006, mainly caused by an increased fertilizing efficiency thanks to agricultural policy measures and awareness rising among farmers.

The development of the three indicators since 2006 confirms the essential findings regarding the Swiss P budget: whereas the Recycling-to-Import-Rate has remained relatively constant at 10% (excl. farmyard manure) since 2006, the P Efficiency Plant Production has increased by more than 8% in the same time. The P Losses Waste Management remains unchanged at a high level (approx. 90%). However, it has slightly decreased since 2011 due to the growing importance of digestion processes in the processing of green waste. In Switzerland, the recycling potential of P comes to approx. 13'300 tP/a, whereof 9'690 tP/a can be associated with the stock increase in the waste management sector (landfills, cement plants). The revision of the VVEA, which regulates the P recycling out of sewage sludge as well as meat and bone meal, is the legal foundation in order to use this potential in the future.

As indicated in chapter 4 of this report, there are further possibilities to a) recover P for use in agriculture and gardening and b) to generally reduce the demand of P. While the scenarios 'urine separation' and 'municipal solid waste' entail a reduction of mineral fertilizer imports between 12 and 15%, and the scenario 'C3-ABP' entails a reduction of fodder imports of 27%, changes in the human diet lead to more fundamental changes in the Swiss P budget from a systemic perspective: the P amounts in farmyard manure and plant-based fodder in the agriculture, as well as the amount of animal by-products considerably decrease between 2'000 and 4'500 tP/a. The P amount driven by food consumption, which reaches the sewer system, however, remains almost constant. The P stock increase in the waste management sector and thus the recycling potential of P by means of the VVEA-revision slightly decreases in all of the four scenarios (between 1 and 8%).

Discussion and Outlook – From a sustainable resource use point of view, the current Swiss P management can be considerably improved. First and foremost, the goal should be to reduce the P import dependency where possible. This primarily involves imports of fodder and mineral fertilizers, which could be reduced or even be fully compensated by a domestic recovery of P for agricultural use from the waste management sector. The implementation of the VVEA in early 2016 is a first step towards such a circular economy of P. It is targeted at the location of the largest P recovery potentials: the waste management sector with P amounts of more than 14'000 tP/a and an annual P stock increase of almost 10'000 tP/a.

Besides, alternative measures of a sustainable use of P should be considered and, if possible, promoted or rather enabled through targeted incentives, infrastructure adjustments or regulations. Not least human diet patterns have a large influence on the national P budget, while it is hereby recommended to analyse these interrelations in more detail in an additional study. In addition, by urine separation systems or by consistent utilization of category-3 animal by-products as liquid fodder, certain amounts of P could be recovered for agricultural use already before they reach the waste management sector.

A sustainable P management balances the different recycling paths and should ensure that the diverse (and partly divergent) interests associated complement one another in the best possible way. With respect to the overall system, all four P recycling paths covered in the scenarios are worth considering: human diet has a fundamental impact on P flows and affects them at the source; the potential of urine separation mainly depends on how easily these systems can be integrated into current infrastructure; optimization potential with respect to biogenic waste management was confirmed in a recent study commissioned by the FOEN; the utilization of category-3 animal by-products mainly depends on health security issues. In other words, with all these measures, a couple of further important factors not touched in this study must not be neglected: economic sustainability, ecological and health aspects, social and political acceptance as well as technical and logistical feasibility. It is of great importance to include these factors in the process of planning and implementing measures for a sustainable P management. A periodic update of the Swiss P flows additionally enables the evaluation of the effectiveness of already implemented measures. Utilizing the P monitoring tool, which was developed in the first assessment in 2009 and revised in the course of this study, significantly facilitates the recalculation of the Swiss P flows. We recommend to do such a recalculation every four to five years.

Danksagung

Herzlichen Dank an Michael Jedelhauser für die Begleitung, kritische Auseinandersetzung und konstruktive Mithilfe.

Ebenfalls ein grosses Dankeschön an Franziska Meinherz und Thibaud Rossel für die Übersetzung der Zusammenfassung ins Französische.

Desweiteren danke ich Daniel Erdin, Bastian Etter, David Hiltbrunner, Michael Hügi, Petar Mandaliev, Max Maurer, Leo Morf, Kaarina Schenk, Stefan Schlumberger, Ernst Spiess, Urs Zimmerli sowie Pascal Züttel für die hilfreichen Informationen.

Jonas Mehr

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die zukünftige Versorgung mit Phosphor (P) – ein nicht-substituierbares Element und neben Stickstoff und Kali zentraler Bestandteil von Pflanzendüngung – ist in den vergangenen Jahren zunehmend in das öffentliche, politische und akademische Bewusstsein gerückt. Obwohl alarmierende Studien einer baldigen P-Knappheit und Gefährdung der globalen Nahrungsmittelversorgung (Cordell et al. 2009) relativiert und neue mineralische Phosphatreserven entdeckt wurden (Scholz und Wellmer 2013), stellen sich die Fragen der geopolitischen P-Knappheit sowie der effizienten und nachhaltigen Nutzung von P. Dementsprechend wird ein nachhaltiger Umgang mit P auf globaler, nationaler und kommunaler Ebene gefordert, wofür das Wissen über die Verteilung und Dynamik der P-Flüsse eine bedeutende Grundlage darstellt (Binder et al. 2009, Binder und Jedelhauser 2013, Jedelhauser und Binder 2015).

Mit der Inkraftsetzung der neuen Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) per Anfang 2016 wird die Rückgewinnung von P aus P-reichen Abfällen wie Klärschlamm (KS) sowie Tier- und Knochenmehl in der Schweiz auf Verordnungsstufe vorgeschrieben. Eine 10-jährige Übergangsfrist sorgt dafür, dass die verfahrenstechnischen Ansätze zur P-Rückgewinnung marktauglich gemacht werden können. Eine vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Auftrag gegebene Studie hat die absehbar marktreifen Technologien im Schweizer Kontext gesamtheitlich beurteilt (EBP 2017). Um die Umsetzung der VVEA bezüglich P zusätzlich zu unterstützen ist die Kenntnis der P-Flüsse, ihrer Veränderungen und ihrer Treiber unerlässlich. Die P-Flüsse der Schweiz wurden zum letzten Mal für das Jahr 2011 erhoben (Binder und Jedelhauser 2013). Darüber hinaus wurde ein Monitoring-Tool entwickelt, welches die Neuberechnung der Flüsse und Lager für spätere Jahre erheblich vereinfacht (Binder et al. 2009).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Schweizer P-Haushalt für das Jahr 2015 zu bestimmen und mithilfe von Vergleichen mit den bisherigen Erhebungen der Jahre 2006 und 2011 auf Veränderungen der P-Flüsse und -Lager aufmerksam zu machen. Ebenso erlaubt die Neuerhebung Rückschlüsse auf die aktuelle Datenlage und soll verbleibende Datenlücken offenlegen. Diese Systemneuberechnung und -analyse ist als wichtige Grundlage und Entscheidungshilfe im Hinblick auf die P-Rückgewinnungspflicht ab dem 1.1.2026 zu betrachten. Darüber hinaus widmet sich ein separates Kapitel einer Reihe von Treibern und Trends (abseits der P-Recyclingpflicht gemäss neuer VVEA), welche den Schweizer P-Haushalt in naher oder ferner Zukunft verändern können, und diskutiert diese Änderungen aus Sicht des Gesamtsystems.

2. Methodik

Methode:

Die Neuberechnung der P-Flüsse erfolgt mittels einer Stoffflussanalyse (Baccini & Brunner 1991, Baccini & Bader 1996, Brunner & Rechberger 2004), einer Methode zur „Erfassung, Beschreibung und Interpretation von Stoffwechselprozessen“ (Baccini & Bader 1996:44). Basierend auf Gesetzen der Massen- und Energieerhaltung dient sie der Quantifizierung von Stoff- und Energieumsätzen für einen definierten Raum (Systemgrenzen) in einer definierten Zeitperiode. Für die Berechnung der P-Flüsse wurde die Software STAN 2.5 verwendet (TU Wien 2015).

Systemgrenzen:

Geografische Systemgrenze ist die Schweizer Landesgrenze. Zu- und Abflüsse aus dem System werden als Import- bzw. Exportflüsse ausgewiesen. Als Untersuchungsjahr für die Aktualisierung der P-Flüsse wurde das Jahr 2015 gewählt, da hierfür zum Zeitpunkt der Analyse der Grossteil der Daten verfügbar war. Einzig die Daten zu tierischer und pflanzlicher Nahrung sowie Futtermittel konnten für das Jahr 2015 nicht erhoben werden, da noch keine aktuellen Statistiken vorlagen. In diesen Fällen wurde auf Daten aus dem Jahr 2014 zurückgegriffen.

Struktur:

Die Durchführung der Stoffflussanalyse orientiert sich eng an der Analyse aus dem Jahr 2009 (Binder et al. 2009) und der Aktualisierung aus dem Jahr 2013 (Binder und Jedelhauser 2013). Das Hauptsystem umfasst die Prozesse *Landwirtschaft Tiere*, *Landwirtschaft Pflanzen*, *Chemische Industrie*, *Haushalt & Gewerbe*, *Abfallwirtschaft* und *Gewässer*. Diese Prozesse stellen wiederum eigene Subsysteme mit subsysteminternen Prozessen dar, die in Kapitel 3 hinsichtlich ihrer veränderten P-Flüsse genauer betrachtet werden. Zusätzlich folgt in Kapitel 4 eine Analyse ausgewählter Treiber und Trends, welche den Schweizer P-Haushalt in Zukunft beeinflussen können (siehe auch „Treiber der P-Flüsse“).

Indikatoren:

Für das Gesamtsystem sowie für die Subsysteme *Landwirtschaft Pflanzen* und *Abfallwirtschaft* wurde in dieser Studie je ein Indikator entwickelt, welcher jeweils als zusätzlicher Systembeschreiber fungiert und die Analyse des P-Haushalts vereinfachen soll:

- **Recycling-zu-Import-Rate** (Gesamtsystem): der Anteil des inländisch wiederverwerteten P an den totalen P-Importen ins Gesamtsystem Schweiz.
- **P-Effizienz Pflanzenbau** (Landwirtschaft Pflanzen): Futter- und Nahrungsmittelerträge aus dem Pflanzenanbau im Verhältnis zum P-Input durch Pflanzendüngung.
- **Quote P-Verluste Abfallwirtschaft** (Abfallwirtschaft): die in Deponien und Zementwerken sowie in Exporten und im Abfluss der ARA verlorenen P-Mengen im Verhältnis zum gesamten P-Input in die Abfallwirtschaft.

Datenlage:

Im Zuge des Updates wurden keine eigenen Daten erhoben, sondern ausschliesslich bereits vorhandene Daten (neu-)gesammelt. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass sich die Datenqualität im Vergleich zum ersten Update 2011 erheblich verbessert hat, insbesondere in den Bereichen Landwirtschaft und Gewässer. Trotzdem bestehen weiterhin einige Datenlücken, besonders die Prozesse *Chemische Industrie* und *Abfallwirtschaft* betreffend. Aufgrund teilweise unterschiedlicher Datengrundlagen der aktuellen Erhebung im Vergleich zu den Erhebungen der Jahre 2006 und 2011 sind einige P-Flussänderungen mit gewisser Vorsicht zu betrachten. Im Folgenden wird versucht, bestmöglich auf solche modell- und datenbasierten Änderungen der P-Flüsse aufmerksam zu machen.

P-Monitoring-Tool:

Im Zuge der Erarbeitung der ersten Stoffflussanalyse im Jahr 2009 wurde ein Monitoring-Tool mit dem Ziel entwickelt, eine Aktualisierung der P-Flüsse für die Schweiz zu vereinfachen (Binder et al. 2009). Das Tool ermöglicht die Eingabe von 60 need-to-have-Daten und 56 nice-to-have-Daten – vorwiegend aus den Prozessen *Landwirtschaft Tiere*, *Landwirtschaft Pflanzen* und *Abfallwirtschaft*. Die need- und nice-to-have-Flüsse wurden hinsichtlich ihrer zeitlichen Variabilität, Wichtigkeit, periodischen Datenverfügbarkeit und ihrer Resilienz gegenüber voraussichtlichen Massnahmen kategorisiert. Im Rahmen der aktuellen Aktualisierung der P-Flüsse wurde das P-Monitoring-Tool überarbeitet und der neuen Datenlage angepasst. Insbesondere in den *Statistischen Erhebungen und Schätzungen* des Schweizerischen Bauernverbandes (SBV) haben sich seit 2006 einige Kategorien geändert. Daraus resultieren neu 57 need-to-have- und 68 nice-to-have-Daten. Eine Auflistung der need-to-have- sowie nice-to-have Daten inklusive Quellenangabe ist im Anhang 3 aufgeführt (für alle weiteren Informationen siehe Binder et al. (2009), Kapitel 5).

Für eine umfassende Neuberechnung der P-Flüsse ist die Aktualisierung der need-to-have-Daten elementar. Für die vorliegende Analyse wurden alle need-to-have-Daten für das Jahr 2015 sowie im Falle der tierischen und pflanzlichen Nahrung und der Futtermittel für das Jahr 2014 neu erfasst. Die Aktualisierung der nice-to-have-Daten ist für die Neuberechnung der P-Flüsse zwar nicht zwingend notwendig, dennoch konnten 64 der 68 Daten ermittelt werden. Bei Nichteingabe, d.h. wenn keine Daten für das Jahr 2015 oder 2014 eruiert werden konnten, wurde mit den Werten von 2011 bzw. 2006 gerechnet.

Um die P-Flüsse mit dem P-Monitoring-Tool neuzuberechnen sind folgende fünf Schritte nötig:

- 1) Eingabe aller need-to-have- und, falls möglich, der nice-to-have-Daten im Monitoring-Tool in Microsoft Excel;
- 2) Generierung eines STAN-Input Files im Monitoring-Tool (ebenfalls in Excel);
- 3) Kopieren der generierten Werte in die Software STAN 2.5;
- 4) Gegebenenfalls: Anpassung von Lagerwerten und Transferkoeffizienten in STAN 2.5;
- 5) Neuberechnung der P-Flüsse in STAN 2.5.

P-Flusssystem:

Abbildung 1 zeigt das P-Flusssystem der Schweiz. Der Prozess *Landwirtschaft Tiere* beinhaltet alle Prozesse, die für die Produktion und Bereitstellung von tierischen Nahrungsmitteln notwendig sind. Zum Prozess *Landwirtschaft Pflanzen* gehört einerseits die Produktion und Bereitstellung pflanzlicher Nahrungsmittel, andererseits ist darin auch die Holz- und Papierwirtschaft beinhaltet. Die *Chemische Industrie* importiert und verarbeitet Reinigungsprodukte sowie Chemikalien. Der Prozess *Haushalt & Gewerbe* beinhaltet sämtliche Prozesse, welche mit dem Konsum von Nahrungsmitteln, Reinigungsprodukten sowie holz- und papierhaltigen Produkten verbunden sind. Zusätzlich ist der private Gartenbau Teil des Prozesses. Die *Abfallwirtschaft* umfasst schliesslich die Entsorgung und Aufbereitung aller flüssigen und festen Abfälle in der Schweiz, während im Prozess *Gewässer* alle Oberflächengewässer zusammengefasst sind.

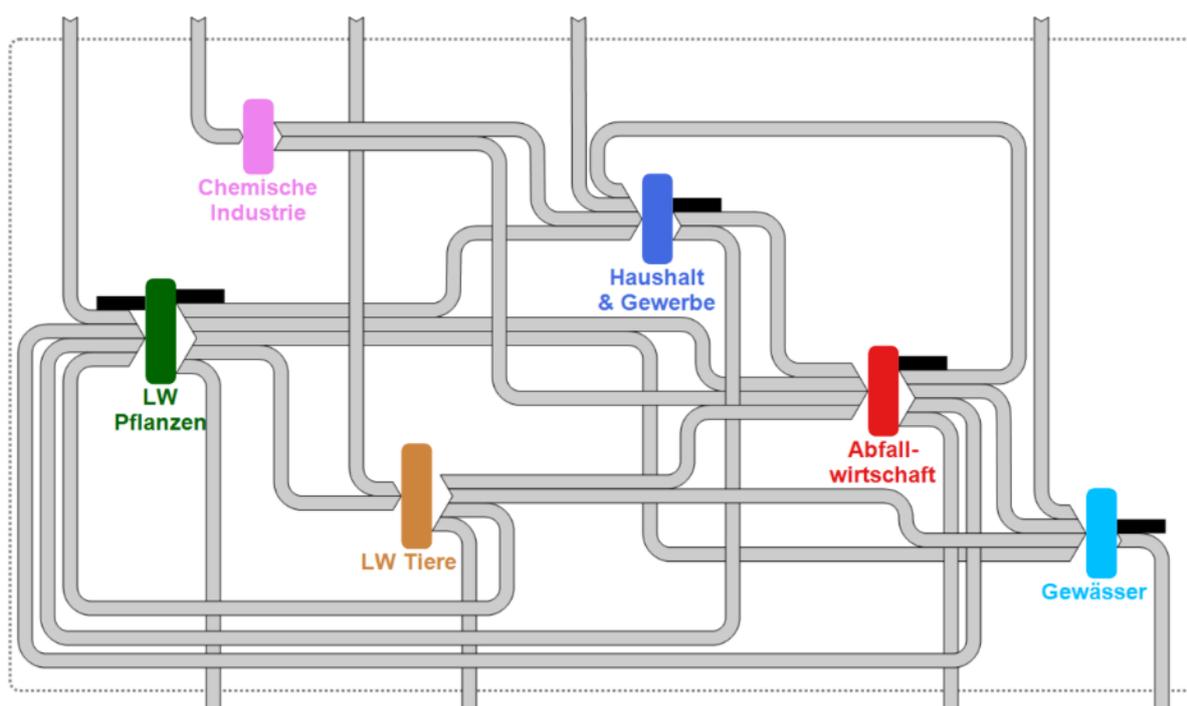


Abbildung 1: Übersicht des P-Flusssystems (Flüsse in grau, Lager in schwarz).

Die Anpassung des P-Monitoring-Tools an die neue Datenlage brachte einige Änderungen zentraler Prozesse und Flüsse des P-Flusssystems mit sich, welche im Folgenden kurz aufgezählt werden. Dazu gehören Prozesse und Flüsse, welche sich seit dem letzten Update in ihrer Definition oder Datengrundlage wesentlich geändert haben, sowie neu hinzugefügte Flüsse. Detaillierte Einzelbeschreibungen der betroffenen Prozesse und Flüsse befinden sich im Anhang 1.

- Der Prozess *Gewässer* wurde aufgrund einer Publikation von Agroscope (Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015), sowie Hydrodaten der Nationalen Datenuntersuchung der Fliessgewässer (NADUF) für das Jahr 2015 neu berechnet. Die P-Bilanz umfasst neu zusätzlich diffuse P-Einträge (d.h. Oberflächenabfluss und Erosion) aus nicht landwirtschaftlichen Flächen, sowie die Sedimentation von partikulärem P in Seen. Der natürliche Abfluss ins Ausland wurde aufgrund jährlicher Abfluss- und P-Konzentrations-

Durchschnittswerte der Flüsse Rhein, Rhone, Ticino, Inn und Doubs (Jahre 2012-2015) neu berechnet.

- Die Flüsse *Lebendtiere Exp.* und *Lebendtiere Imp.* wurden neu aufgrund der Aussenhandelsdaten des SBV (SBV 2016) berechnet. In den vorherigen Erhebungen waren es jeweils lediglich grobe Abschätzungen. Im Gegensatz zu den Jahren 2006 und 2011 resultiert für das Jahr 2015 ein Netto-P-Export.
- Ein nicht zu vernachlässigender Anteil tierischer Nebenprodukte (TNP) wird in der Schweiz vergärt (BAFU pers. Komm., BLV pers. Komm.). Dieser Anteil wurde in dieser Studie zum ersten Mal grob abgeschätzt und im Fluss *TNP in Vergärung* zusammengefasst.
- Der Fluss *KVA-Flugasche* wurde aufgrund neuer Daten differenziert betrachtet: der Grossteil der Flugasche wird sauer gewaschen und zusammen mit der Schlacke in Deponien des Typs D¹ abgelagert (*KVA-Flugasche saure Wäsche*), der Rest wird verfestigt und landet auf Deponien des Typs C (*KVA-Flugasche verfestigt*).

Treiber der P-Flüsse:

In einem separaten Kapitel werden im Hinblick auf mögliche Veränderungen des zukünftigen Schweizer P-Haushalts verschiedene Treiber und Trends diskutiert. Dabei wurden insgesamt vier Szenarien ausgearbeitet:

- 1) Gesunde und ausgewogene Ernährung
- 2) Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins
- 3) Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehrrecht
- 4) Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%

Die in den einzelnen Szenarien getroffenen Annahmen sind im Anhang 4 aufgelistet. Pro Szenario wurde ein Sankey-Diagramm (Erklärung siehe unten) erstellt, wo die direkt und in unmittelbarer Folge indirekt betroffenen Flüsse rot hervorgehoben sind. Zudem sind in eckigen Klammern jeweils die absoluten und relativen Änderungen der betroffenen P-Flüsse im Vergleich zum Status quo ausgewiesen. Alle weiteren Flüsse sind grau gefärbt.

Darstellung:

Die Darstellung der Resultate in diesem Bericht umfasst Sankey-Diagramme, Tabellen und Balkendiagramme. Zur Lesehilfe werden die wichtigsten Punkte hier kurz erläutert.

Sankey-Diagramme sind Flussdiagramme, bei welchen die Pfeilbreite proportional zur Flussgrösse ist. Neu wurden die Diagramme für diese Studie mit der Software e!sankey (IFU Hamburg 2016) erstellt. Sämtliche Diagramme beziehen sich dabei auf P-Flüsse (alle Werte der Flüsse und Lager nach erfolgter Ausgleichsrechnung).

Abbildung 2 veranschaulicht einen Ausschnitt eines Sankey-Diagramms. Die Flussrichtung ist stets von links nach rechts: Inputflüsse (inkl. Importe) erreichen den jeweiligen Prozess von der linken Seite, und Outputflüsse (inkl. Exporte) verlassen ihn auf der rechten Seite. Import-

¹ Seit dem 1. Januar 2016 ist die neue VVEA in Kraft. Sie kennt neu deren fünf (A-E), statt drei (Inertstoff-, Reststoff- und Reaktordeponie) Deponietypen.

und Exportflüsse des Gesamtsystems sind grau gefärbt. Lageränderungen sind als schwarze Balken beim jeweiligen Prozess dargestellt: Lagerabnahmen auf der Inputseite und Lagerzuwachs auf der Outputseite. Zur besseren Abgrenzung zu Flüssen sind die Lageränderungen kursiv beschriftet.

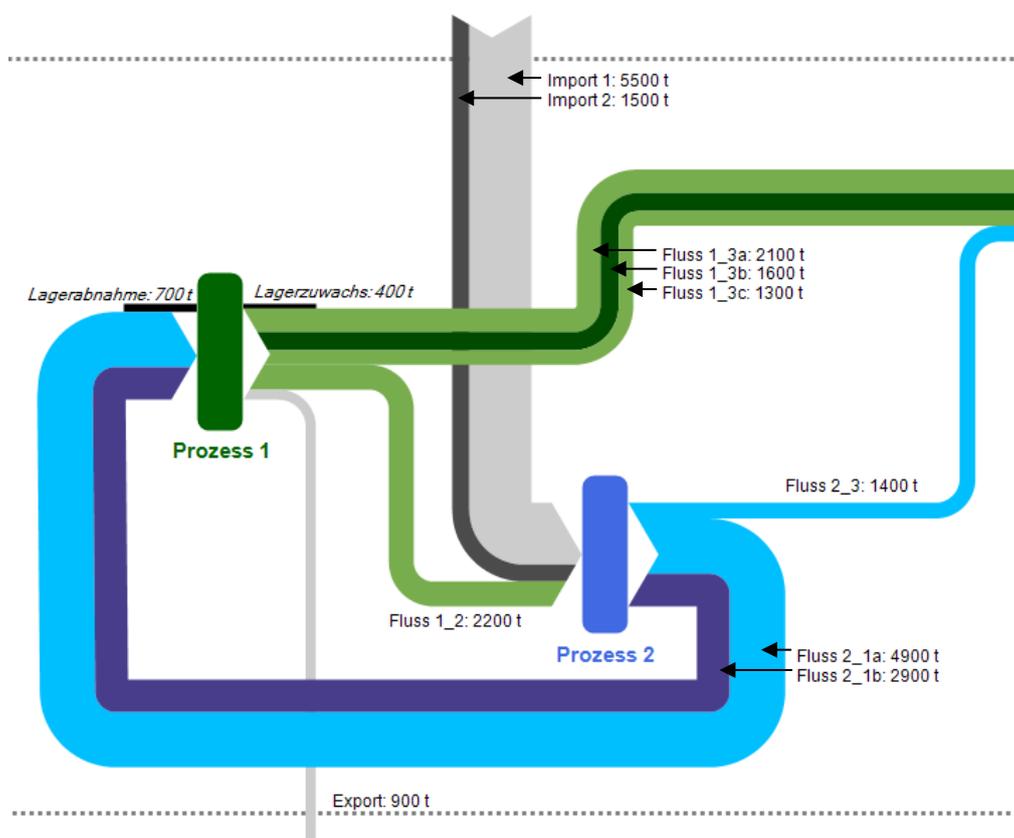


Abbildung 2: Darstellungsform der Sankey-Diagramme. Prozesse (hier *Prozess 1* und *Prozess 2*), Flüsse (Flussrichtung von links nach rechts; Beschriftung schwarz) und Lager (Lagerabnahme auf der Input-, Lagerzuwachs auf der Outputseite des Prozesses; Beschriftung schwarz kursiv). Im- und Exporte sind jeweils grau dargestellt.

Die Tabellen enthalten die P-Flüsse des Jahres 2015 sowie absolute und relative Änderungen im Vergleich zum Jahr 2006. Sie bedürfen keiner weiteren Erklärung. Im Anhang 2 sind darüberhinaus die Güterflüsse und P-Konzentrationen aller P-Flüsse (wo erhoben) inklusive Datenquellen aufgelistet.

Balkendiagramme veranschaulichen Änderungen einiger zentraler P-Flüsse über die drei Erhebungen 2006, 2011 und 2015. Sie sollen wichtige Trends für das Gesamtsystem sowie einige Subsysteme aufzeigen. Dabei wurde für das Gesamtsystem sowie für die Subsysteme *Landwirtschaft Pflanzen* und *Abfallwirtschaft* je ein Indikator entwickelt, welcher die Analyse und Bewertung des Systems bzw. der Subsysteme unterstützt (siehe „Indikatoren“).

3. Resultate

Grundsätzlich sind die Resultate der Fluss- und Lagerwerteberechnung vor dem Hintergrund einer wachsenden Bevölkerungszahl in der Schweiz zu betrachten. Zwischen 2006 und 2015 ist die Bevölkerung um knapp 820'000 auf 8'327'126 gestiegen, was einem Zuwachs von knapp 11% entspricht (BFS 2016). Insbesondere Veränderungen der P-Flüsse in und aus den Prozessen *Haushalt & Gewerbe* und *Abfallwirtschaft* gehen zum Teil auf diese Entwicklung zurück. Im Anhang 2 befinden sich die Datenquellen aller erhobenen Daten (P-Flüsse, Güterflüsse, P-Konzentrationen).

3.1 Hauptsystem

Die Schweiz ist nach wie vor Netto-Importeur von P in der Grössenordnung von ca. 10'000 tP/a, d.h. das P-Lager innerhalb des Gesamtsystems Schweiz wächst jährlich um diese Menge an². Gegenüber dem Jahr 2006 konnten die Netto-Importe von P um knapp 2'000 tP/a (-11%) gesenkt werden. Dies ist insbesondere auf die Reduktion der Mineraldüngerimporte um knapp 1'700 tP/a, sowie die Reduktion der Netto-Importe tierischer (-187 tP/a) und pflanzlicher (-339 tP/a) Nahrungsmittel (NM) zurückzuführen, welche jedoch durch die gleichzeitige Zunahme der Netto-Importe von Futter (+607 tP/a) in Teilen kompensiert wird. Nach wie vor werden etwa 90% der Importe der Landwirtschaft und 10% der chemischen Industrie zugeführt.

Die grössten P-Flüsse im Hauptsystem (rund 25'000 tP/a) zirkulieren zwischen den beiden landwirtschaftlichen Prozessen *Landwirtschaft Tiere* und *Landwirtschaft Pflanzen*. Sie bilden wie auch im Jahr 2006 einen zu >90% geschlossenen Kreislauf. Die beiden Prozesse decken ihre P-Nachfrage – neben dem genannten Kreislauf – im Wesentlichen durch die Importe von Mineraldünger und Tierfutter. Damit sind sie auch die P-Hauptimporteure des Systems.

Mit ca. 3'600 tP/a gelangt ein beträchtlicher Teil aus dem Prozess *Landwirtschaft Tiere* in Form von TNP d.h. insbesondere Schlachtabfälle, direkt und ungenutzt in die *Abfallwirtschaft*, was einem Anstieg von etwa 21% gegenüber dem Jahr 2006 entspricht.

Der Prozess *Haushalt & Gewerbe* kann als Durchlaufprozess betrachtet werden, da >95% der P-Inputs direkt nach der Nutzung als P-Output in die *Abfallwirtschaft* gelangen.

In der *Abfallwirtschaft* werden etwa 14'700 tP/a umgesetzt, was einem Anstieg um gut 1'200 tP/a (+9%) gegenüber dem Jahr 2006 entspricht und vor allem auf das Bevölkerungswachstum zurückzuführen ist. Knapp 10% des P's in der anfallenden Abfallmenge wird in Form von Grüngütdünger für Landwirtschaft und Gartenbau wiederverwertet, was im Vergleich zu 2006 eine Abnahme von 0.4 Prozentpunkten bedeutet. Der Rest (ca. 4'500 tP/a) des Prozesses *Abfallwirtschaft*, der weder wiederverwertet noch deponiert wird, geht in Form von Abfluss in *Gewässer* sowie als Export von Flugasche, KS und TNP verloren. Die TNP-Exporte haben dabei im Vergleich zu 2006 um knapp 1'000 tP/a (+61%) zugenommen.

Der Prozess *Abfallwirtschaft* weist mit 9'690 tP/a das grösste Lagerwachstum auf. Der Prozess *Landwirtschaft Pflanzen* wuchs im Jahr 2006 noch um ca. 3'500 tP/a an, verzeichnete im Jahr

² Diffuse Einträge in die Gewässer aus nicht landwirtschaftlichen Flächen wurden der Einfachheit halber im Importfluss *Diffuse Einträge nicht-LW* zusammengefasst, sind aber faktisch keine P-Importe. Sie werden aus diesem Grund bei Import/Export Betrachtungen nicht mitberücksichtigt.

2015 jedoch nur noch eine Zunahme um ca. 130 tP/a. Diese deutliche Verringerung des Lagerwachstums in den landwirtschaftlichen Böden ist eine Folge der verbesserten P-Effizienz in der Landwirtschaft, insbesondere aufgrund des reduzierten Düngerauftrags.

Als Indikator für das Gesamtsystem wurde die **Recycling-zu-Import-Rate** gewählt, d.h. der Anteil des inländisch durch KS, Grüngütdünger und Futtersuppenaufbereitung wiederverwerteten P an den totalen P-Importen ins Gesamtsystem Schweiz (siehe Abbildung 3). Die P-Importe nehmen seit 2006 kontinuierlich leicht ab, die rezyklierte P-Menge ist hingegen in etwa konstant geblieben. Während im Jahr 2006 noch letzte KS-Mengen auf die Felder gebracht wurden ist dieser Fluss seither aufgrund des KS-Ausbringungsverbots nicht mehr vorhanden. Dieser Wegfall wurde in der Zwischenzeit durch leicht erhöhte Mengen an Grüngütdünger aus Kompostierung und Vergärung teilkompensiert. Die P-Mengen in der Futtersuppe bleiben seit 2006 vernachlässigbar gering.

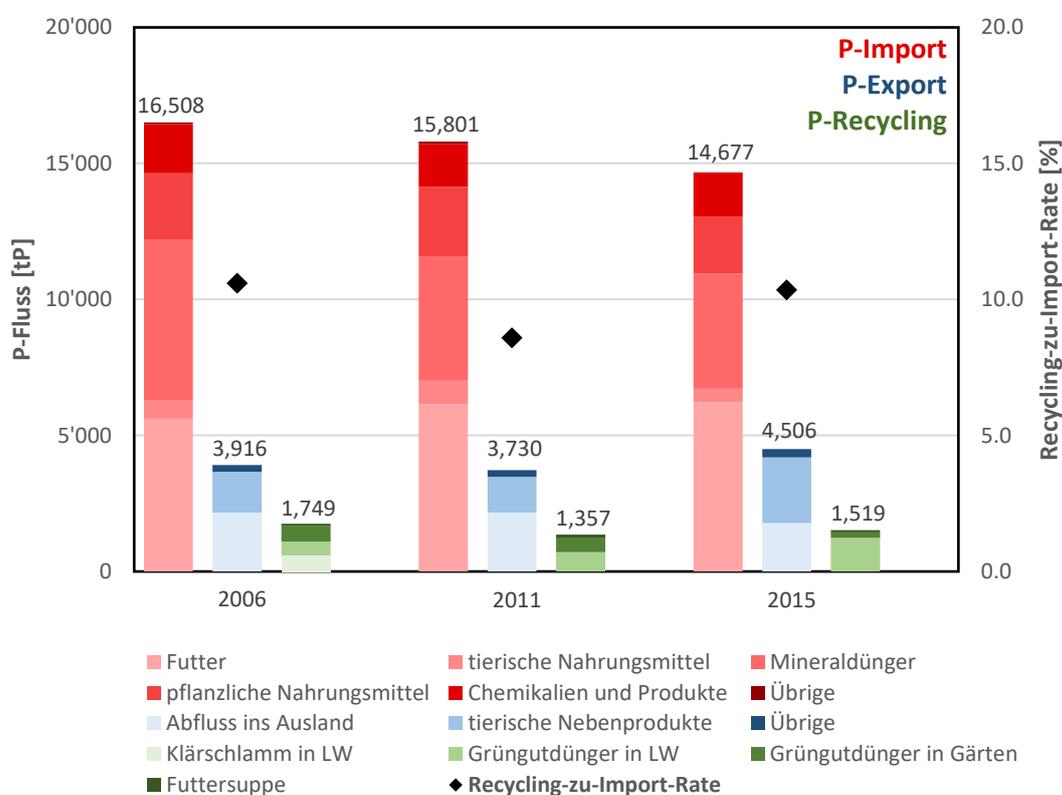


Abbildung 3: P-Importe, P-Exporte und rezykliertes P des Gesamtsystems (Balken, linke y-Achse) sowie Recycling-zu-Import-Rate (Rhomben, rechte y-Achse). Die Recycling-zu-Import-Rate ist der Anteil des inländisch wiederverwerteten P an den totalen P-Importen ins System.

Die Recycling-zu-Import-Rate im Jahr 2015 beträgt 10.35% (+1.76 Prozentpunkte im Vergleich zu 2011). Der Schweizer P-Haushalt ist somit nach wie vor von einem grossen P-Lagerwachstum in der *Abfallwirtschaft* geprägt. Ein Teil dieses P-Recyclingpotentials soll spätestens gemäss VVEA nach dem Ende der zehnjährigen Übergangsfrist am 1. Januar 2026 genutzt werden.

Durch die veränderte Datenlage und -struktur einiger Flüsse im Rahmen dieser Erhebung sind gewisse Änderungen der P-Flüsse im Vergleich zu den Studien der Jahre 2006 und 2011 in

gewissem Ausmass modell- oder datenbasiert. Tabelle 1 listet die grössten absoluten und relativen Änderungen des Hauptsystems und differenziert die Haupttreiber der Veränderung.

Tabelle 1: Grösste absolute und relative Flussänderungen des Hauptsystems zwischen 2006 und 2015 inklusive Haupttreiber der Änderung.

Flussname	Änderung 2006-2015		Haupttreiber
	in t	in %	
Grösste absolute Änderungen			
Hofdünger	-6'032	-20.53	Datenlage ¹ , Flussmodell ² , Nährstoffanfall
pflanzliches Futter	-4'385	-14.83	Datenlage, Flussmodell, Grundfutterverzehr
Mineraldünger Imp.	-1'657	-28.15	Gesetzliche Anreize (u.A. ÖLN ³)
tierische NM	1'395	39.99	Bevölkerungswachstum, Pro-Kopf-Nachfrage
TNP Exp.	913	60.66	Datenlage, Bevölkerungswachstum
Grösste relative Änderungen			
Grüngütdünger in LW	739	148.39	Trend hin zu Vergärung, Datenlage
pflanzliche Abfälle	134	147.25	Datenlage
Grüngütdünger in Gärten	-394	-66.55	Trend hin zu Vergärung, Datenlage
TNP Exp.	913	60.66	Datenlage, Bevölkerungswachstum
Abwasser Industrie	-333	-42.37	grosse Unsicherheit des Flusses

¹ neue Datenquelle, Änderung der Unsicherheit, bessere Kenntnis des Flussinhalts

² neues Flussbild, Änderung von Transferkoeffizienten

³ Ökologischer Leistungsnachweis (BLW 1997)

Fazit

Im Wesentlichen ist das P-System Schweiz über das letzte Jahrzehnt **stabil** geblieben. Hauptcharakteristika des P-Haushalts im Jahr 2015 sind:

- Die Schweiz ist **Netto-Importeur von P**. Die bedeutendsten P-Importe gelangen in die Landwirtschaft: Futter (Tendenz steigend), Mineraldünger und pflanzliche Nahrungsmittel (Tendenz jeweils sinkend).
- Die **grössten P-Flüsse** befinden sich **in der Landwirtschaft**. Dabei bilden die Flüsse *Hofdünger* und *pflanzliches Futter* einen beinahe geschlossenen Kreislauf. Der grösste Teil gelangt über *pflanzliche* und *tierische NM* in den Konsum, ein nicht zu vernachlässigender Anteil gelangt als *TNP* und *pflanzliche Abfälle* direkt in die Abfallwirtschaft.
- Der Indikator **Recycling-zu-Import-Rate** ist **mit gut 10% gering**. Der überwiegende P-Anteil gelangt in Schlacken, Flugaschen oder Tiermehl auf Deponien und in Zementwerke. Mit der Inkraftsetzung der neuen VVEA per Anfang 2016 wurde der Grundstein gelegt, um die P-Kreislaufwirtschaft in Richtung P-Recycling voranzutreiben. Aus diesem Grund sind spätestens nach der 10-jährigen Übergangsfrist grosse Änderungen der P-Flüsse in der *Abfallwirtschaft* zu erwarten.

Obwohl das System im Wesentlichen stabil geblieben ist, gibt es (abgesehen von der Inkraftsetzung der neuen VVEA und dem damiteinhergehenden P-Recycling) eine Reihe von Faktoren und Treibern, welche den Schweizer P-Haushalt über kurz oder lang verändern können. Auf diese Treiber wird in Kapitel 4 dieses Berichts vertieft eingegangen.

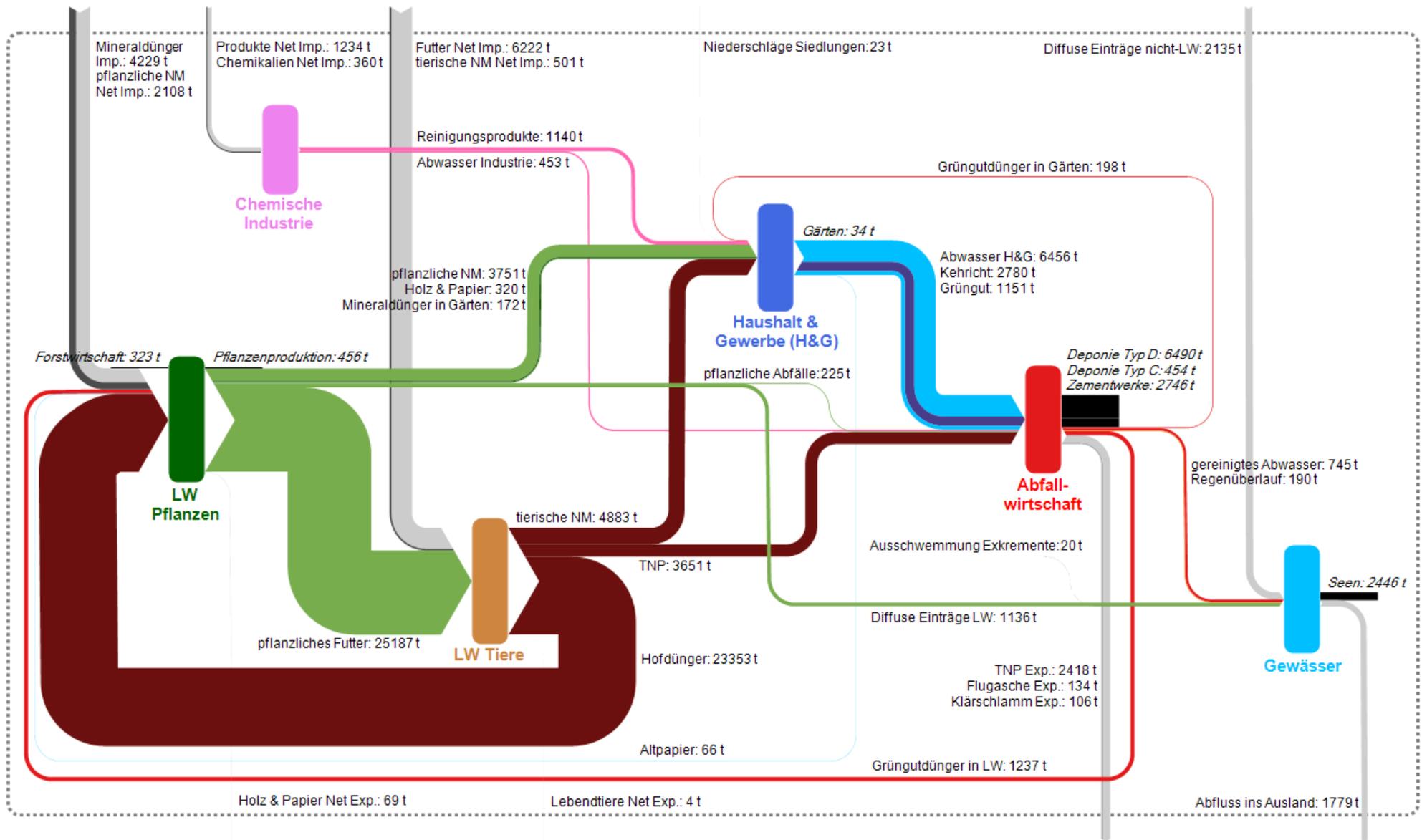


Abbildung 4: P-Haushalt der Schweiz (2015): Hauptsystem. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 2: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Hauptsystem.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
	Landw. Tiere	Futter Net Imp.	5'615	+/-	628	6'222	+/-	691	607	10.81
		Lebendtiere Net Imp.	33	+/-	4	0	+/-	0	-33	-100.00
		tierische NM Net Imp.	688	+/-	172	501	+/-	56	-187	-27.18
	Landw. Pflanzen	Mineraldünger Imp.	5'886	+/-	59	4'229	+/-	127	-1'657	-28.15
		pflanzliche NM Net Imp.	2'447	+/-	238	2'108	+/-	173	-339	-13.85
	Chem. Industrie	Chemikalien Net Imp.	360	+/-	0	360	+/-	180	0	0.00
		Produkte Net Imp.	1'456	+/-	338	1'234	+/-	392	-222	-15.25
	Haushalt & Gewerbe	Niederschlag Siedlungen	23	+/-	8	23	+/-	8	0	0.00
	Gewässer	Diffuse Einträge nicht-LW	0	+/-	0	2'135	+/-	365	2'135	-
		Summe	16'508			16'812				
Output										
	Landw. Tiere	Lebendtiere Net Exp.	0	+/-	0	4	+/-	0	4	-
	Landw. Pflanzen	Holz & Papier Net Exp.	66	+/-	9	69	+/-	11	3	4.55
	Abfallwirtschaft	Flugasche Exp.	185	+/-	185	134	+/-	8	-51	-27.57
		TNP Exp.	1'505	+/-	248	2'418	+/-	397	913	60.66
		KS Exp.	0	+/-	0	106	+/-	21	106	-
	Gewässer	Abfluss ins Ausland	2'160	+/-	106	1'779	+/-	247	-381	-17.64
		Summe	3'916			4'506				
Systeminterne Flüsse										
Landw. Tiere	Landw. Pflanzen	Hofdünger	29'385	+/-	1'401	23'353	+/-	2'497	-6'032	-20.53
	Haushalt & Gewerbe	tierische NM	3'488	+/-	295	4'883	+/-	297	1'395	39.99
	Abfallwirtschaft	TNP	3'015	+/-	298	3'651	+/-	393	636	21.09
	Gewässer	Ausschwem. Exkrememente	20	+/-	10	20	+/-	10	0	0.00
Landw. Pflanzen	Landw. Tiere	pflanzliches Futter	29'572	+/-	1'556	25'187	+/-	2'501	-4'385	-14.83
	Haushalt & Gewerbe	Mineraldünger in Gärten	180	+/-	24	172	+/-	23	-8	-4.44
	Haushalt & Gewerbe	pflanzliche NM	4'016	+/-	253	3'751	+/-	227	-265	-6.60
	Haushalt & Gewerbe	Holz & Papier ¹	337	+/-	53	320	+/-	60	-17	-5.04
	Abfallwirtschaft	pflanzliche Abfälle	91	+/-	13	225	+/-	31	134	147.25
	Gewässer	Diffuse Einträge LW	1'071	+/-	238	1'136	+/-	168	65	6.07

Chem. Industrie	Haushalt & Gewerbe	Reinigungsprodukte	1'031	+/-	33	1'140	+/-	37	109	10.57
	Abfallwirtschaft	Abwasser Industrie	786	+/-	338	453	+/-	348	-333	-42.37
Haushalt & Gewerbe	Landw. Pflanzen	Altpapier	69	+/-	7	66	+/-	6	-3	-4.35
	Abfallwirtschaft	Abwasser H&G	6'097	+/-	230	6'456	+/-	335	359	5.89
	Abfallwirtschaft	Kehricht	2'503	+/-	240	2'780	+/-	265	277	11.07
	Abfallwirtschaft	Grüngut	998	+/-	92	1'151	+/-	58	153	15.33
Abfallwirtschaft	Landw. Pflanzen	KS in LW	594	+/-	112	0	+/-	0	-594	-100.00
	Landw. Pflanzen	Grüngutdünger in LW	498	+/-	165	1'237	+/-	50	739	148.39
	Haushalt & Gewerbe	Grüngutdünger in Gärten	592	+/-	140	198	+/-	10	-394	-66.55
	Gewässer	Abfluss ARA ²	1'069	+/-	324	934	+/-	174	-135	-12.63

P-Lageränderungen (Prozesse)

		Lageränderung (t)					
		2006			2015		
Landwirtschaft Tiere		0	+/-	0	0	+/-	0
Landwirtschaft Pflanzen		3'546	+/-	801	133	+/-	885
Haushalt & Gewerbe		0	+/-	0	34	+/-	41
Abfallwirtschaft		9'046	+/-	488	9'690	+/-	781
Gewässer		0	+/-	0	2'446	+/-	389

¹ im Fluss *Holz & Papier* sind die Flüsse *Energieholz*, *Holzgüter* und *Papier* zusammengefasst

² im Fluss *Abfluss ARA* sind die Flüsse *gereinigtes Abwasser* und *Regenüberlauf* zusammengefasst

3.2 Subsystem Landwirtschaft

Die Landwirtschaft besteht aus den beiden Subsystemen *Landwirtschaft Tiere* und *Landwirtschaft Pflanzen*, wird hier aber zunächst als *ein* Subsystem betrachtet. Teil der Landwirtschaft ist nicht nur die Landwirtschaft per se, sondern (wie bereits in den Erhebungen 2006 und 2011) auch die Nahrungsmittelverarbeitungs-, Papier- und Holzindustrie.

Die Landwirtschaft beherbergt die grössten P-Flüsse der Schweiz. Hofdünger, welcher auf die Felder gebracht wird (23'353 tP/a), sowie Tierfutter aus dem einheimischen Pflanzenbau (25'187 tP/a) bilden als grösste Flüsse des Systems einen nahezu geschlossenen Kreislauf, welcher durch Futter- und Mineraldüngerimporte ergänzt wird.

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der P-Flüsse in und aus der Landwirtschaft seit der ersten Erhebung im Jahr 2006. Während der P-Input trotz zunehmender Futterimporte stetig abgenommen hat, stieg der P-Output in der gleichen Zeit an. Verantwortlich für diese Verschiebung ist das P-Lagerwachstum in den landwirtschaftlichen Böden, welches seit 2006 von 3'380 tP/a auf gut 450 tP/a abgenommen hat. Mit anderen Worten: die P-Bilanz in der Landwirtschaft ist in den letzten Jahren deutlich ausgeglichener geworden. In diesem Kontext spielt der Ökologische Leistungsausweis (ÖLN), welcher als Anforderung für Direktzahlungen u.A. eine ausgeglichene Düngerbilanz vorschreibt (BLW 1997), eine entscheidende Rolle (siehe Kapitel *Landwirtschaft Pflanzen*).

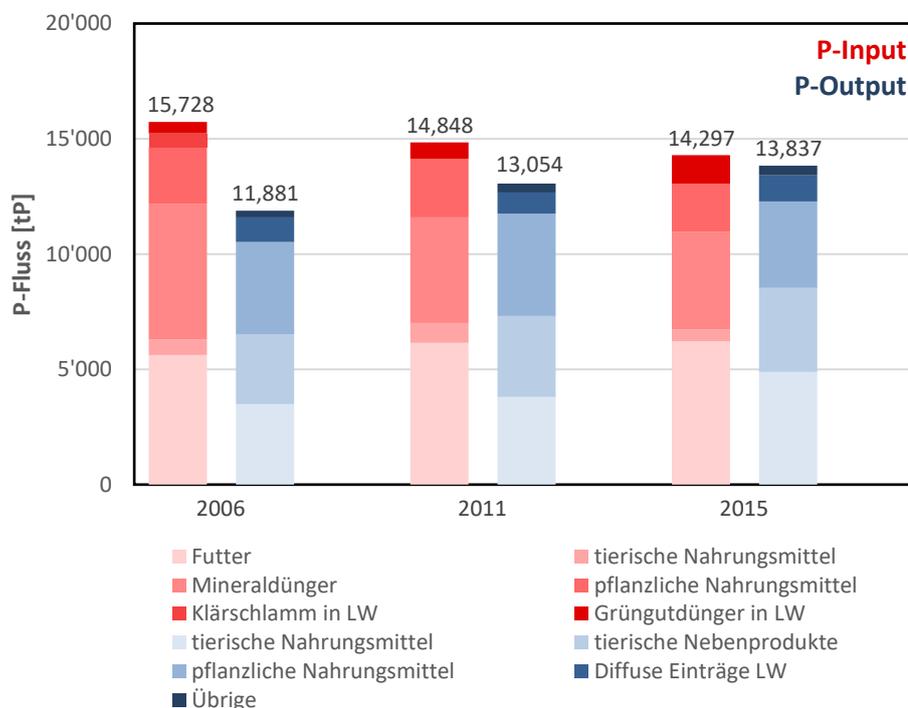


Abbildung 5: P-Flüsse in und aus der Landwirtschaft. Die tierischen und pflanzlichen NM-Importe werden im P-Flusssystem über die Landwirtschaft geführt und sind hier deshalb als Inputflüsse ausgewiesen. Nicht dazugerechnet sind die Holz- und Papierflüsse.

Analog zum Gesamtsystem listet Tabelle 3 die grössten absoluten und relativen Änderungen des Subsystems Landwirtschaft und differenziert die Haupttreiber der Veränderung.

Tabelle 3: Grösste absolute und relative Flussänderungen des Subsystems Landwirtschaft zwischen 2006 und 2015 inklusive Haupttreiber der Änderung.

Flussname	Änderung 2006-2015		Haupttreiber
	in t	in %	
Grösste absolute Änderungen			
Hofdünger	-6'032	-20.53	Datenlage ¹ , Flussmodell ² , Nährstoffanfall
pflanzliches Futter	-4'385	-14.83	Datenlage, Flussmodell, Grundfutterverzehr
Lager Pflanzenproduktion	-2'924	-86.51	Gesetzliche Anreize (u.A. ÖLN)
Schlachttiere	1'725	55.39	Bevölkerungswachstum, Pro-Kopf-Nachfrage
Mineraldünger Imp.	-1'657	-28.15	Gesetzliche Anreize (u.A. ÖLN)
Grösste relative Änderungen			
Schlachttiere Exp.	32	160.00	Datenlage
Grüngutdünger in LW	739	148.39	Trend hin zu Vergärung, Datenlage
pflanzliche Abfälle	134	147.25	Datenlage
Lager Pflanzenproduktion	-2'924	-86.51	Gesetzliche Anreize (u.A. ÖLN)
tierische NM Inland	1'581	56.46	Bevölkerungswachstum, Pro-Kopf-Nachfrage

¹ neue Datenquelle, Änderung der Unsicherheit, bessere Kenntnis des Flussinhalts

² neues Flussbild, Änderung von Transferkoeffizienten

Ebenfalls Teil des Subsystems Landwirtschaft ist die Holz- und Papierwirtschaft, welche aus P-Sicht jedoch eine untergeordnete Rolle spielt.

Ein Fazit zum P-Haushalt in der Schweizer Landwirtschaft ist in den Unterkapiteln zu den Subsystemen *Landwirtschaft Tiere* und *Landwirtschaft Pflanzen* aufgeführt.

3.2.1 Subsystem Landwirtschaft Tiere

Zentrale Prozesse im Subsystem *Landwirtschaft Tiere* sind die *Tierproduktion* und die *Verarbeitung tierischer Nahrungsmittel*. Dominant ist der Austausch mit nahezu ausgeglichener P-Bilanz zwischen den Subsystemen *Landwirtschaft Tiere* und *Landwirtschaft Pflanzen* durch die Flüsse Hofdünger und pflanzliches Futter. Beide Flüsse weisen für das Jahr 2015 eine deutliche Abnahme von rund 4'000 – 6'000 tP/a (ca. 15-20%) gegenüber dem Jahr 2006 auf. Obwohl ein veränderter Grundfutterverzehr und Nährstoffanfall gewisser Tierkategorien dazu beitragen kann, ist diese Abnahme in erster Linie modell- und datenbasiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass die neu berechneten Flussmengen der Realität näher kommen als die Werte aus den ersten beiden Erhebungen 2006 und 2011.³

Die *Tierproduktion* erhält 80% ihres P-Inputs durch pflanzliches Futter aus dem Prozess *Landwirtschaft Pflanzen*, während der Rest durch Futterimporte gedeckt wird. Letztere tragen somit um etwa 5% mehr zum gesamten Prozess-Input bei als noch im Jahr 2006.

Die Produktion tierischer Nahrungsmittel steht im Zeichen des Bevölkerungswachstums. Sowohl die Produktion von Milch & Eiern (+18%) als auch die geschlachteten Tiere (+55%) haben seit 2006 zugenommen. Auch diese Änderungen sind mit gewisser Vorsicht zu geniessen, da sich wichtige Datenquellen auf diese Erhebung hin geändert haben.⁴ Gleiches gilt für die TNP, welche seit 2006 um 21% zugenommen haben.⁵

Gut 73% des gesamten P-Inputs verlassen das Subsystem wiederum als Hofdünger. Die restlichen ca. 8'500 tP/a entfallen zu etwa 57% (2006: 54%) auf tierische Nahrungsmittel und 43% (2006: 46%) auf TNP.

Von untergeordneter Rolle sind die Importe und Exporte von Lebewesen, jedoch sollte hier erwähnt werden, dass im Jahr 2015 der P-Export erstmals überwiegt, hauptsächlich aufgrund von deutlich zugenommenen Geflügelexporten (Net-Export von 4 tP/a).

Fazit

Trotz der grossen Menge Futter aus der schweizerischen *Pflanzenproduktion* sind die Importmengen mit 6'222 tP/a hinsichtlich der P-Fracht gegenüber 2006 um 607 tP/a angewachsen: **der Anteil von importiertem Futter am gesamten Prozess-Input stieg seit 2006 um knapp 5% auf knapp 20% an.**

Fundamentale Änderungen der P-Flüsse sind im letzten Jahrzehnt keine zu verzeichnen, die Entwicklung steht im Zeichen des Bevölkerungswachstums: die P-Flüsse der Produktion tierischer Nahrungsmittel nahmen zu. Allerdings **stieg die jährliche Pro-Kopf Zufuhr von P durch tierische Nahrungsmittel** in dieser Zeit von 0.46 kgP auf **0.59 kgP an.**

³ Die Hofdüngermenge wird seit einigen Jahren aufgrund des Viehbestandes gemäss Betriebsstrukturerhebung und des Nährstoffanfalls pro Tier nach Angaben der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) berechnet. Dabei werden die GVE-Faktoren und der Nährstoffanfall pro Tier bei Bedarf angepasst. Die Berechnung des Flusses pflanzliches Futter in der Erhebung 2011 ging grösstenteils auf Werte des Jahres 2006 zurück und wurde für diese Erhebung der neuen Datenstruktur des SBV angepasst.

⁴ Milch & Eier wurden für diese Erhebung erstmals direkt aus Daten des SBV berechnet. Inlandproduktion, Ein- und Ausfuhr tierischer Nahrungsmittel wurden neu aufgrund der Nahrungsmittelversorgungsdaten des SBV berechnet.

⁵ Die TNP wurden aufgrund neu erhobener Daten der Centravo Holding AG, sowie persönlichen Gesprächen mit Herrn Züttel (Centravo) sowie Herrn Zimmerli (BLV) abgeschätzt.

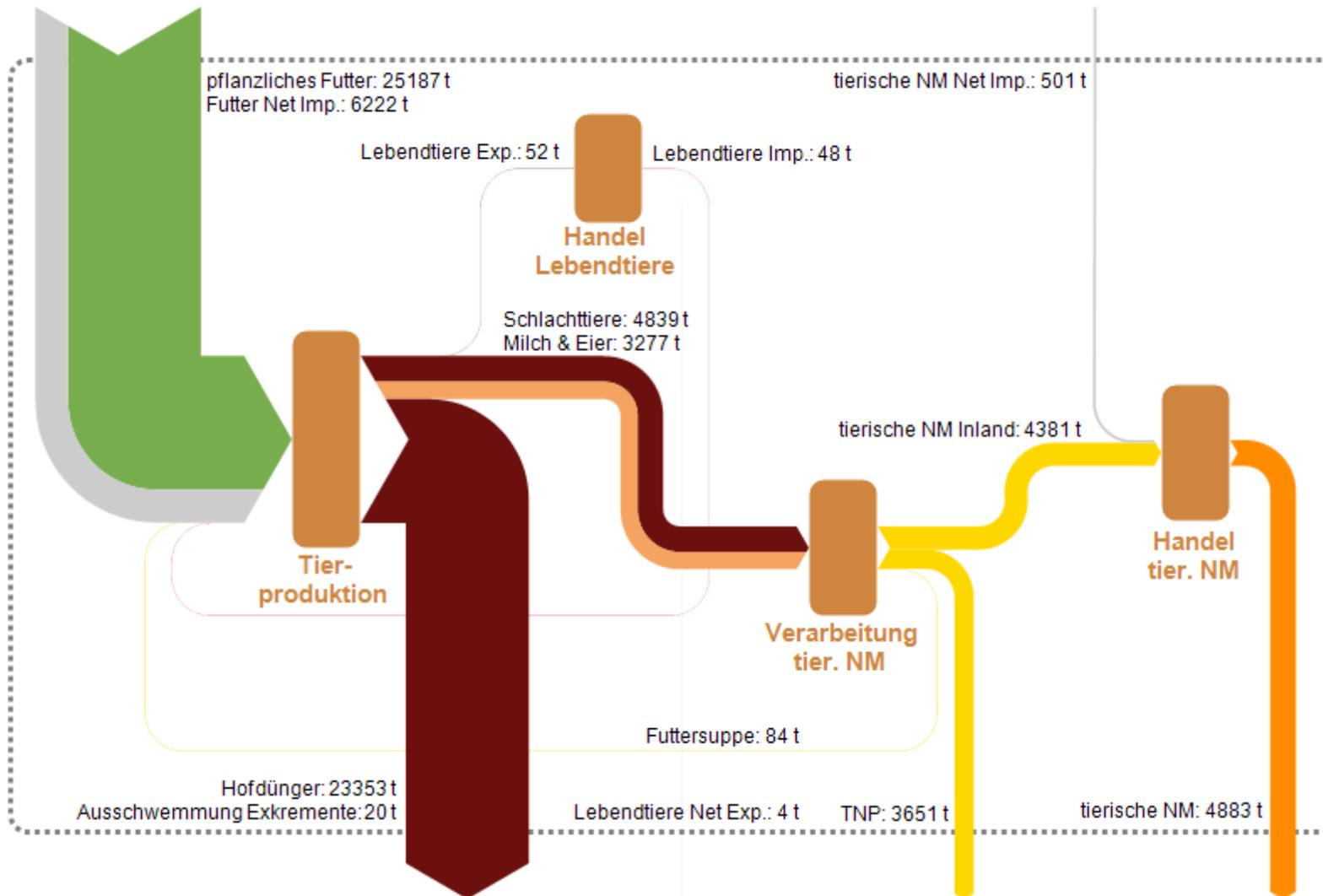


Abbildung 6: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem *Landwirtschaft Tiere*. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 4: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem *Landwirtschaft Tiere*.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
	Tierproduktion	Futter Net Imp.	5'615	+/-	628	6'222	+/-	691	607	10.81
	Handel Lebendtiere	Lebendtiere Net Imp.	33	+/-	4	0	+/-	0	-33	-100.00
	Handel tierische NM	tierische NM Net Imp.	688	+/-	172	501	+/-	56	-187	-27.18
Landw. Pflanzen	Tierproduktion	pflanzliches Futter	29'572	+/-	1'556	25'187	+/-	2'501	-4'385	-14.83
Output										
Handel Lebendtiere		Lebendtiere Net Exp.	0	+/-	0	4	+/-	0	4	-
Tierproduktion	Landw. Tiere	Hofdünger	29'385	+/-	1'401	23'353	+/-	2'497	-6'032	-20.53
Handel tierische NM	Haushalt & Gewerbe	tierische NM	3'488	+/-	295	4'883	+/-	297	1'395	39.99
Verarbeitung tier. NM	Abfallwirtschaft	TNP	3'015	+/-	298	3'651	+/-	393	636	21.09
Tierproduktion	Gewässer	Ausschwem. Exkremete	20	+/-	10	20	+/-	10	0	0.00
Systeminterne Flüsse										
Tierproduktion	Handel Lebendtiere	Lebendtiere Exp.	20	+/-	1	52	+/-	4	32	160.00
Tierproduktion	Verarbeitung tier. NM	Schlachttiere	3'114	+/-	430	4'839	+/-	411	1'725	55.39
Tierproduktion	Verarbeitung tier. NM	Milch & Eier	2'766	+/-	310	3'277	+/-	318	511	18.47
Handel Lebendtiere	Tierproduktion	Lebendtiere Imp.	54	+/-	4	48	+/-	4	-6	-11.11
Verarbeitung tier. NM	Tierproduktion	Futtersuppe	65	+/-	23	84	+/-	21	19	29.23
Verarbeitung tier. NM	Handel tier. NM	tierische NM Inland	2'800	+/-	289	4'381	+/-	298	1'581	56.46
Keine Lager										

3.2.2 Subsystem Landwirtschaft Pflanzen

Das Subsystem *Landwirtschaft Pflanzen* ist in den Produktionsstrang Nahrungsmittel und den Produktionsstrang Holz/Zellstoff strukturiert. Zentraler Prozess des Produktionsstrangs Nahrungsmittel ist die *Pflanzenproduktion*. Wie im Subsystem *Landwirtschaft Tiere* ist der P-Austausch mit nahezu ausgeglichener P-Bilanz zwischen den Subsystemen *Landwirtschaft Pflanzen* und *Landwirtschaft Tiere* durch die Flüsse pflanzliches Futter und Hofdünger dominant. Dabei deckt der Hofdünger ca. 81% (2006: ca. 82%) des gesamten P-Inputs in die *Pflanzenproduktion* ab. Die restlichen knapp 20% gelangen über Mineraldüngerimporte (15%) sowie Grüngütdünger (4%) in die Landwirtschaft.

Als Indikator für die Bewertung der Landwirtschaft fungiert die **P-Effizienz Pflanzenbau**, d.h. Futter- und Nahrungsmittelerträge aus dem Pflanzenanbau im Verhältnis zum P-Input durch Pflanzendüngung (siehe Abbildung 7).

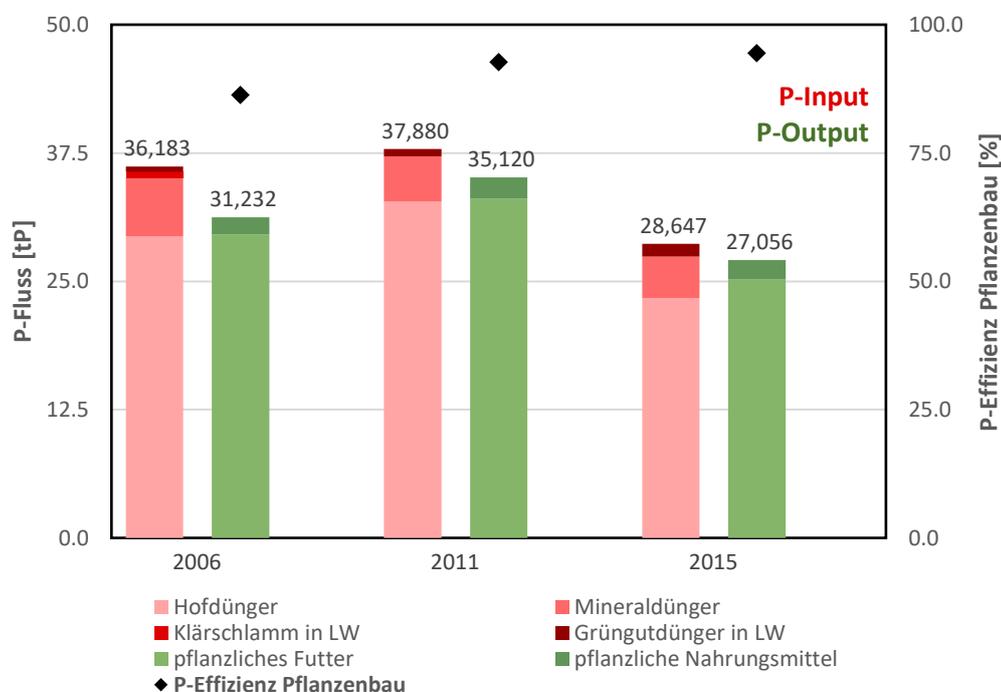


Abbildung 7: P-Input- und Output-Flüsse des Prozesses *Pflanzenproduktion* (Balken, linke y-Achse) sowie damit verbundene P-Effizienz Pflanzenbau (Rhomben, rechte y-Achse). Die P-Effizienz Pflanzenbau ist das Verhältnis zwischen den Futter- und Nahrungsmittelerträgen und dem P-Input durch Pflanzendüngung.

Die P-Effizienz Pflanzenbau hat sich seit 2006 von rund 86% auf über 94% erhöht. Dies ist auf folgende Faktoren zurückzuführen:

- Die Mineraldüngerimporte konnten seit 2006 um gut 1'650 tP/a (-28%) auf 4'229 tP/a reduziert werden. Ein starker Anreiz für eine bewusster und effizientere Düngung war der 1997 eingeführte ÖLN, welcher als Anforderung für Direktzahlungen u.A. eine ausgeglichene N- und P-Bilanz vorschreibt (BLW 1997) und bei vielen Landwirten eine Bewusstseinsbildung und Produktionsoptimierung ausgelöst hat.

- Die P-Überschüsse der inländischen Futterproduktion im Vergleich zum ausgebrachten Hofdünger haben seit 2006 zugenommen (2006: 187 tP/a, 2015: 1'834 tP/a). Wie bereits im Kapitel *Landwirtschaft Tiere* erwähnt hat sich bei diesen beiden Flüssen die Datengrundlage im Vergleich zu den Erhebungen in den Jahren 2006 und 2011 verbessert. Es ist demnach denkbar, dass das P-Lagerwachstum in landwirtschaftlichen Böden in den bisherigen Erhebungen leicht überschätzt wurde.

Die Folge ist ein stark reduziertes P-Lagerwachstum in landwirtschaftlichen Böden auf noch knapp 460 tP im Jahr 2015. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die übermässige P-Anreicherung in den Böden der Schweizer Landwirtschaft in den letzten Jahren gestoppt werden konnte. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass diese gesamtschweizerische Analyse keine Rückschlüsse auf regionale Unterschiede geben kann. Es ist also prinzipiell möglich, dass bei einigen Betrieben gar eine Nutzung der in den vergangenen Jahrzehnten durch Überdüngung aufgebauten P-Lager in landwirtschaftlichen Böden zu beobachten ist (Lagerabnahme), während P-intensivere Betriebe mit intensiver Tierhaltung auch heute noch für signifikante P-Überschüsse verantwortlich sind (mehr dazu im Kapitel 4.2).

Die P-Menge in den konsumierten pflanzlichen Nahrungsmitteln sank seit 2006 trotz Bevölkerungswachstum um 265 tP/a auf 3'751 tP/a, was in erster Linie auf einen geringeren Pro-Kopf-Konsum zurückgeführt werden kann. Etwa 59% (2006: ca. 60%) davon gehen auf importierte NM und ca. 41% (2006: ca. 40%) auf Produkte aus der inländischen Produktion zurück.

Neben dem pflanzlichen Futter verlassen etwa 5'670 tP/a (2006: 5'700 tP/a) das Subsystem, davon ca. 66% (2006: 70%) in Form von pflanzlichen Nahrungsmitteln zur schweizerischen Nahrungsmittelversorgung. Die restlichen Abflüsse des Subsystems verteilen sich auf die Flüsse Diffuse Einträge LW (20%), Produkte aus der *Forstwirtschaft* (10%) sowie die pflanzlichen Abfälle aus der *Verarbeitung pflanzlicher Nahrungsmittel* (4%).

Der Produktionsstrang Holz/Zellulose spielt aus P-Sicht eine untergeordnete Rolle. Deswegen wurden die Daten dieser Flüsse im Rahmen dieser Erhebung nicht neu gesammelt.

Fazit

Trotz der grossen Menge an Hofdünger aus der schweizerischen *Tierproduktion* werden nach wie vor bedeutende P-Mengen (gut 4'200 tP/a) als Mineraldünger importiert. Jedoch konnte sowohl die absolute P-Menge des Flusses als auch der Anteil **importierten Mineraldüngers** am gesamten P-Input in die *Pflanzenproduktion* (ca. 15%) gegenüber 2006 (ca. 5'900 tP/a; ca. 16%) **reduziert** werden.

Die *Abfallwirtschaft* trug im Jahr 2006 mit Grüngütdünger und KS als Dünger ca. 3% zum gesamten P-Input in die *Landwirtschaft Pflanzen* bei. Dieser Anteil stieg leicht an auf 4%: zwar wird inzwischen kein KS mehr wiederverwendet, allerdings stieg die rückgeführte P-Menge in Grüngütdünger um fast 150% an.

Der Indikator **P-Effizienz Pflanzenbau** verzeichnet seit 2006 eine stetige Zunahme, was sich bei der **P-Lageränderung in den landwirtschaftlichen Böden** zeigt: der Prozess *Pflanzenproduktion* verzeichnete im Jahr 2015 ein **Lagerwachstum von nur noch etwa 460 tP/a** gegenüber knapp 3'400 tP im Jahr 2006.

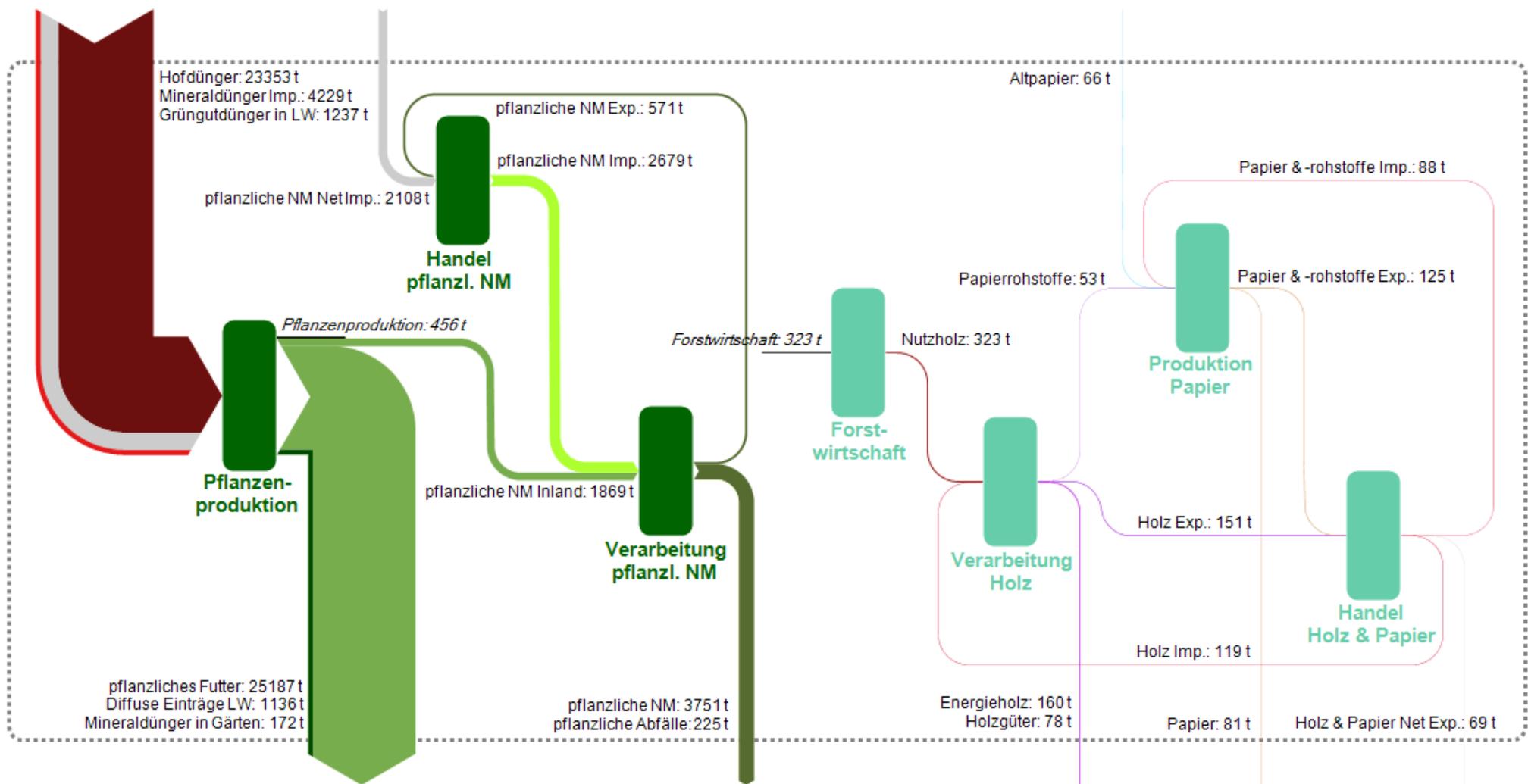


Abbildung 8: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem *Landwirtschaft Pflanzen*. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 5: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem *Landwirtschaft Pflanzen*.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015		
			2006			2015			in t	in %	
Input											
	Pflanzenproduktion	Mineraldünger Imp.	5'886	+/-	59	4'229	+/-	127	-1'657	-28.15	
	Handel pflanzl. NM	pflanzliche NM Net Imp.	2'447	+/-	238	2'108	+/-	173	-339	-13.85	
Landw. Tiere	Pflanzenproduktion	Hofdünger	29'385	+/-	1'401	23'353	+/-	2'497	-6'032	-20.53	
Haushalt & Gewerbe	Produktion Papier	Altpapier	69	+/-	7	66	+/-	6	-3	-4.35	
Abfallwirtschaft	Pflanzenproduktion	KS in LW	594	+/-	112	0	+/-	0	-594	-100.00	
Abfallwirtschaft	Pflanzenproduktion	Grüngutdünger in LW	498	+/-	165	1'237	+/-	50	739	148.39	
Output											
Handel Holz & Papier		Holz & Papier Net Exp.	66	+/-	9	69	+/-	11	3	4.55	
Pflanzenproduktion	Landw. Tiere	pflanzliches Futter	29'572	+/-	1'556	25'187	+/-	2'501	-4'385	-14.83	
Pflanzenproduktion	Haushalt & Gewerbe	Mineraldünger in Gärten	180	+/-	24	172	+/-	23	-8	-4.44	
Verarb. pflanzl. NM	Haushalt & Gewerbe	pflanzliche NM	4'016	+/-	253	3'751	+/-	227	-265	-6.60	
Verarbeitung Holz	Haushalt & Gewerbe	Holzgüter	71	+/-	27	78	+/-	33	7	9.86	
Verarbeitung Holz	Haushalt & Gewerbe	Energieholz	158	+/-	17	160	+/-	21	2	1.27	
Produktion Papier	Haushalt & Gewerbe	Papier	107	+/-	9	81	+/-	6	-26	-24.30	
Verarb. pflanzl. NM	Abfallwirtschaft	pflanzliche Abfälle	91	+/-	13	225	+/-	31	134	147.25	
Pflanzenproduktion	Gewässer	Diffuse Einträge LW	1'071	+/-	238	1'136	+/-	168	65	6.07	
Systeminterne Flüsse											
Pflanzenproduktion	Verarb. pflanzl. NM	pflanzliche NM Inland	1'660	+/-	250	1'869	+/-	190	209	12.59	
Handel pflanzl. NM	Verarb. pflanzl. NM	pflanzliche NM Imp.	2'923	+/-	240	2'679	+/-	177	-244	-8.35	
Verarb. pflanzl. NM	Handel pflanzl. NM	pflanzliche NM Exp.	476	+/-	51	571	+/-	63	95	19.96	
Forstwirtschaft	Verarbeitung Holz	Nutzholz	334	+/-	30	323	+/-	36	-11	-3.29	
Handel Holz & Papier	Verarbeitung Holz	Holz Imp.	114	+/-	14	119	+/-	18	5	4.39	
Verarbeitung Holz	Produktion Papier	Papier & -rohstoffe Imp.	96	+/-	10	88	+/-	14	-8	-8.33	
Verarbeitung Holz	Handel Holz & Papier	Holz Exp.	162	+/-	16	151	+/-	19	-11	-6.79	
Verarbeitung Holz	Produktion Papier	Papierrohstoffe	57	+/-	6	53	+/-	9	-4	-7.02	
Produktion Papier	Handel Holz & Papier	Papier & -rohstoffe Exp.	114	+/-	10	125	+/-	14	11	9.65	
P-Lageränderungen (Prozesse)											
						Lageränderung (t)					
						2006		2015			
Pflanzenproduktion						3'380	+/-	801	456	+/-	848
Forstwirtschaft						- 334	+/-	30	- 323	+/-	36

3.3 Subsystem Chemische Industrie

Das Subsystem *Chemische Industrie* ist ein Durchlaufprozess mit P-Umsätzen in der Größenordnung von etwa 1'600 tP/a. Gemessen am Import des Hauptsystems machen die P-Importe in die *Chemische Industrie* ca. 10% aus, die übrigen P-Importe werden durch die Landwirtschaft dominiert. Die Hauptanwendungen von P als Wirkstoff in der chemischen Industrie sind Geschirrspülmittel und Reinigungsmittel für die Industrie.

Das Subsystem ist von einer lückenhaften Datenlage geprägt. Sämtliche Flussberechnungen basieren auf groben Hochrechnungen und gehen auf das Jahr 2006 zurück. Seit dem 1986 eingeführten Phosphatverbot in Textilwaschmitteln ist der Prozess jedoch von untergeordneter Bedeutung für den Schweizer P-Haushalt. Ein Phosphatverbot für Geschirrspülmittel wurde mehrfach mittels Motion gefordert (zuletzt am 26.09.2011 von John-Calame Francine), jedoch jeweils abgelehnt mit der Hauptbegründung, die Auswirkung auf das P-System sei marginal und ein Verbot somit unverhältnismässig. Um die Schweizer Gesetzgebung in Einklang mit dem EU-Recht zu bringen, gilt seit dem 1. Januar 2017 nach einer fünfjährigen Übergangsfrist trotzdem ein faktisches Phosphatverbot für Geschirrspülmittel, die im Haushalt verwendet werden (< 0.3 Gramm Gesamtphosphor in der Standarddosierung; ChemRRV 2017). Die Auswirkungen dieser Gesetzesänderung auf den Schweizer P-Haushalt sind in dieser Erhebung noch nicht sichtbar (siehe auch Kapitel 4.2).

Fazit

Bezogen auf den P-Umsatz in der Schweiz ist der Prozess *Chemische Industrie* **von untergeordneter Bedeutung**. Die Datenlage blieb seit 2006 praktisch identisch, somit sind Änderungen der P-Flüsse vorwiegend auf Ausgleichsrechnungen in STAN zurückzuführen. Im Zuge der nächsten Erhebung wäre es dennoch angebracht, neue Daten zu erheben, um den Einfluss des faktischen Phosphatverbots in Geschirrspülmitteln ab dem 1. Januar 2017 auf den Schweizer P-Haushalt quantifizieren zu können.

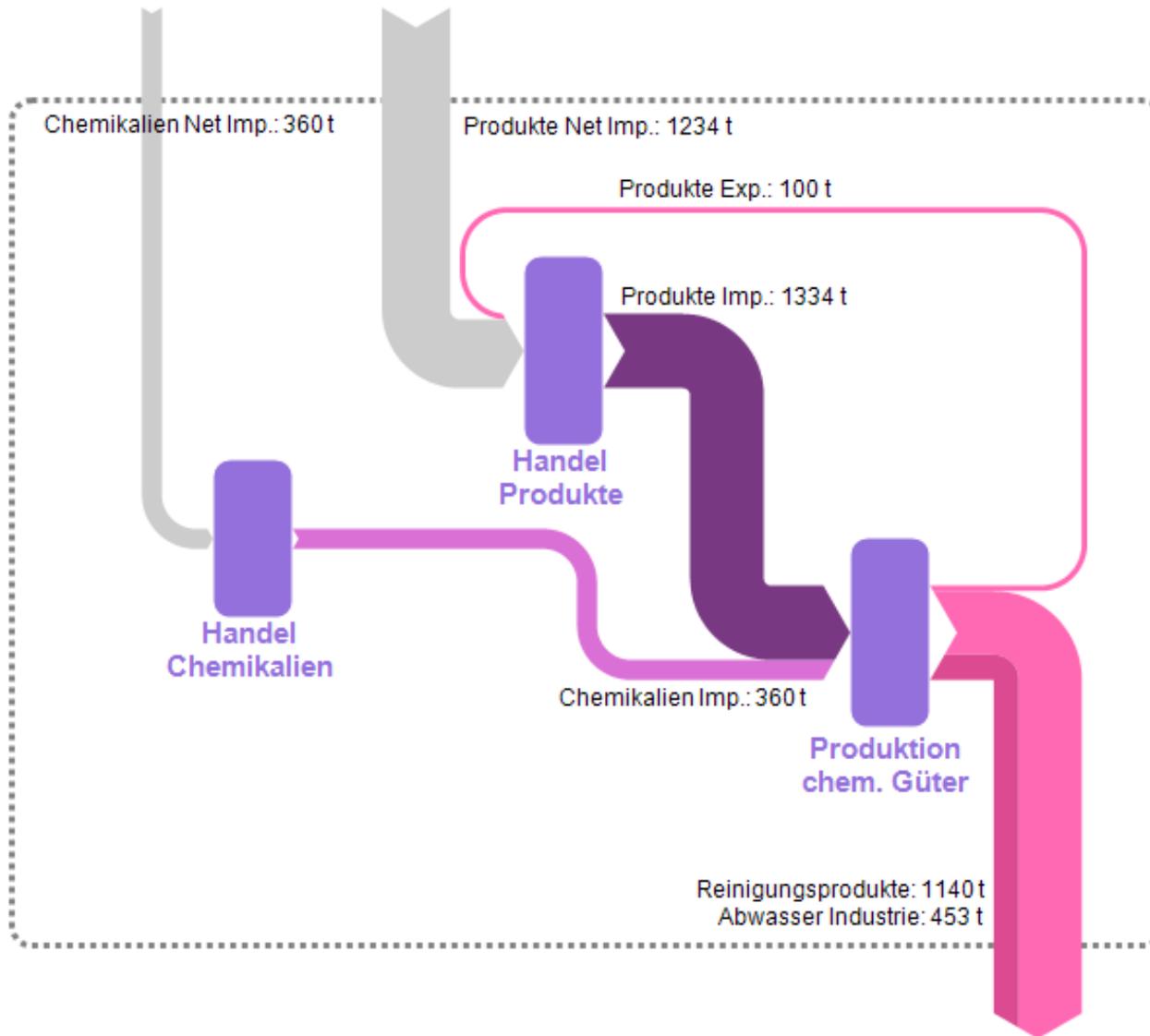


Abbildung 9: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem *Chemische Industrie*. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 6: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem *Chemische Industrie*.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
	Handel Chemikalien	Chemikalien Net Imp.	360	+/-	0	360	+/-	180	0	0.00
	Handel Produkte	Produkte Net Imp.	1'456	+/-	338	1'234	+/-	392	-222	-15.25
Output										
Produktion chem. Güter	Haushalt & Gewerbe	Reinigungsprodukte	1'031	+/-	33	1'140	+/-	37	109	10.57
Produktion chem. Güter	Abfallwirtschaft	Abwasser Industrie	786	+/-	338	453	+/-	348	-333	-42.37
Systeminterne Flüsse										
Produktion chem. Güter	Produktion chem. Güter	Chemikalien Exp.	0	+/-	0	0	+/-	0	0	0.00
Produktion chem. Güter	Handel Produkte	Produkte Exp.	100	+/-	0	100	+/-	50	0	0.00
Handel Chemikalien	Produktion chem. Güter	Chemikalien Imp.	360	+/-	0	360	+/-	180	0	0.00
Handel Produkte	Produktion chem. Güter	Produkte Imp.	1'556	+/-	338	1'331	+/-	364	-225	-14.46
Keine Lager										

3.4 Subsystem Haushalt & Gewerbe

Im Subsystem *Haushalt & Gewerbe* dominiert der Metabolismus des Menschen den Umsatz von P mit dem Konsum von tierischen und pflanzlichen Nahrungsmitteln. Auf der Output-Seite stellt das Siedlungsabwasser mit ca. 6'450 tP/a (2006: 6'100 tP/a) den grössten P-Fluss dar. Abfälle aus dem Prozess *Siedlung & Haushalte* (Kehricht und Grüngut⁶) bilden mit gut 3'900 tP/a (2006: 3'500 tP/a) den zweiten relevanten Output-Fluss. Dominanter Treiber des steigenden P-Umsatzes ist das Bevölkerungswachstum.

Die P-Herkunft im Siedlungsabwasser blieb über das letzte Jahrzehnt unverändert: 80–85% stammen von menschlichen Ausscheidungen, der grössere Teil davon vom Urin (etwa zwei Drittel), 15–20% von Reinigungsmitteln.

Beim P-Umsatz in den *Gärten* haben sich seit 2006 leichte Verschiebungen ergeben: als Dünger werden in den *Gärten* 45% Grüngutdünger eingesetzt (2006: 67%); der Anteil Mineraldünger stieg auf 38% (2006: 20%). Aschen der *Energiegewinnung* und kompostierte Küchenabfälle tragen zusammen die restlichen 17% bei. Im Gegensatz zu 2006 kann in den *Gärten* 2015 ein kleines P-Lagerwachstum von 33 tP/a beobachtet werden⁷.

Der P-Umsatz in den Prozessen *Papierkonsum* und *Energiegewinnung aus Holz* beträgt weniger als 3% des Umsatzes des gesamten Subsystems und ist damit von untergeordneter Bedeutung.

Fazit

Das Subsystem *Haushalt & Gewerbe* ist ein **Durchlaufprozess** mit einem Input von knapp 10'500 tP/a, was einem Anstieg um etwa 800 tP/a (+8%) gegenüber 2006 entspricht. Die **Verteilung der Input-Flüsse** ist **weitgehend unverändert**: rund 80% sind Nahrungsmittel, 11% Reinigungsmittel, 4-8% Dünger und rund 3% Holz/Papier. Die konsumierten Güter gelangen in Form von unterschiedlichen Abfallstoffen in den Prozess *Abfallwirtschaft*.

Für das Subsystem *Haushalt & Gewerbe* sind die Nahrungsmittel bzw. die Exkremente des Menschen nach wie vor von zentraler Bedeutung, da mehr als die Hälfte des P-Outputs darin gebunden ist. Bei den Nahrungsmitteln zeigen sich seit 2006 leicht veränderte Konsummuster: während die tierische Nahrung überproportional zum Bevölkerungswachstum zugenommen hat, ist der Pro-Kopf-Konsum pflanzlicher NM rückläufig. Weiterhin findet sich mehr als ein Viertel des P-Outputs des Subsystems im Kehricht. Gegenüber 2006 verzeichnen diese Flüsse einen **Anstieg der P-Menge** von 4-15%, was **im Bereich des Bevölkerungswachstums von 11%** liegt; ihr Anteil am gesamten P-Umsatz des Subsystems ist unverändert.

⁶ Der Einfachheit halber wird „Grüngut“ in diesem Bericht als Sammelbegriff für den im Anhang 1 beschriebenen Anteil biogener Abfälle pflanzlicher Herkunft verwendet.

⁷ In den ersten beiden Erhebungen gab es kein Lager «Garten». In dieser Studie wurde im Modell erstmals ein Lager «Garten» hinzugefügt, da angenommen werden kann, dass in den Böden der Gärten ein geringes P-Lagerwachstum stattfindet. Das Lagerwachstum wurde bei 0±50 tP/a festgesetzt, die 33 tP/a sind demnach auf die Ausgleichsrechnungen in STAN zurückzuführen.

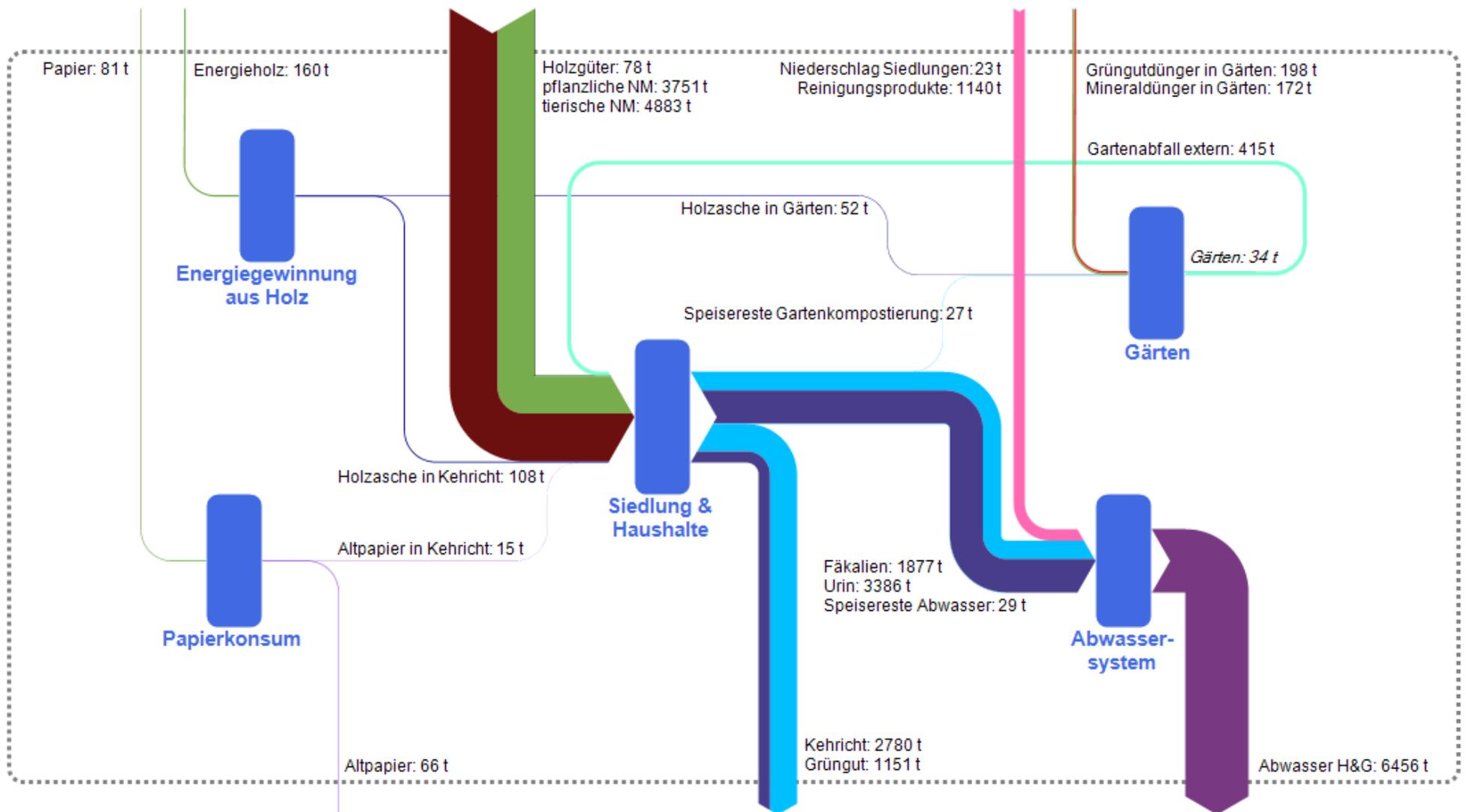


Abbildung 10: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem *Haushalt & Gewerbe (H&G)*. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 7: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem *Haushalt & Gewerbe (H&G)*.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
	Abwassersystem	Niederschlag Siedlungen	23	+/-	8	23	+/-	8	0	0.00
Landw. Tiere	Siedlung & Haushalt	tierische NM	3'488	+/-	295	4'882	+/-	297	1'394	39.97
Landw. Pflanzen	Gärten	Mineraldünger in Gärten	180	+/-	24	172	+/-	23	-8	-4.44
Landw. Pflanzen	Siedlung & Haushalt	pflanzliche NM	4'016	+/-	253	3'751	+/-	227	-265	-6.60
Landw. Pflanzen	Siedlung & Haushalt	Holzgüter	71	+/-	27	78	+/-	33	7	9.86
Landw. Pflanzen	Energiegewinn. Holz	Energieholz	158	+/-	17	160	+/-	21	2	1.27
Landw. Pflanzen	Papierkonsum	Papier	107	+/-	9	81	+/-	6	-26	-24.30
Chem. Industrie	Abwassersystem	Reinigungsprodukte	1'031	+/-	33	1'140	+/-	37	109	10.57
Abfallwirtschaft	Gärten	Grüngutdünger in Gärten	592	+/-	140	198	+/-	10	-394	-66.55
Output										
Papierkonsum	Landw. Pflanzen	Altpapier	69	+/-	7	66	+/-	6	-3	-4.35
Abwassersystem	Abfallwirtschaft	Abwasser H&G	6'097	+/-	230	6'456	+/-	335	359	5.89
Siedlung & Haushalte	Abfallwirtschaft	Kehricht	2'503	+/-	240	2'780	+/-	265	277	11.07
Siedlung & Haushalte	Abfallwirtschaft	Grüngut	998	+/-	92	1'151	+/-	58	153	15.33
Subsysteminterne Flüsse										
Siedlung & Haushalte	Gärten	Speisereste Gartenkomp.	27	+/-	13	27	+/-	14	0	0.00
Siedlung & Haushalte	Abwassersystem	Fäkalien	1'759	+/-	127	1'877	+/-	254	118	6.71
Siedlung & Haushalte	Abwassersystem	Urin	3'257	+/-	207	3'386	+/-	350	129	3.96
Siedlung & Haushalte	Abwassersystem	Speisereste Abwasser	27	+/-	13	29	+/-	15	2	7.41
Papierkonsum	Siedlung & Haushalte	Altpapier in Kehricht	38	+/-	10	15	+/-	2	-23	-60.53
Energiegewinn. Holz	Siedlung & Haushalte	Holzasche in Kehricht	67	+/-	52	108	+/-	44	41	61.19
Energiegewinn. Holz	Gärten	Holzasche in Gärten	91	+/-	52	52	+/-	41	-39	-42.86
Gärten	Siedlung & Haushalte	Gartenabfall extern	890	+/-	128	415	+/-	38	-475	-53.37
P-Lageränderungen (Prozesse)						Lageränderung (t)				
						2006			2015	
Gärten						0	+/-	0	34	+/- 41

3.5 Subsystem Abfallwirtschaft

Das Subsystem *Abfallwirtschaft* ist mit einem Bilanzüberschuss von ca. 9'700 tP/a (2006: 9'000 tP/a) weiterhin die grösste P-Senke im System Schweiz (Netto-Input ca. 14'700 tP/a, Netto-Output ca. 5'000 tP/a). Die Input-Zusammensetzung blieb seit 2006 konstant: gut 70% stammen aus dem Prozess *Haushalt & Gewerbe* (Flüsse *Abwasser H&G, Kehrlicht, Grüngut*), ca. 25% (2006: 22%) erreichen die Abfallwirtschaft als TNP.

Als Indikator für die Bewertung des Subsystems *Abfallwirtschaft* wurde die **Quote P-Verluste Abfallwirtschaft** gewählt, d.h. die in Deponien (Typ C und D⁸) und Zementwerken sowie in Exporten und im Abfluss der ARAs verlorenen P-Mengen im Verhältnis zum gesamten P-Input in die Abfallwirtschaft (siehe Abbildung 11). Diese Quote hat sich über die letzten zehn Jahre nicht gross verändert: auch im Jahr 2015 werden gut 90% aller P-Mengen, welche in der Abfallwirtschaft landen, der Rückführung entzogen. Knappe drei Viertel davon landen in Deponien und Zementwerken.

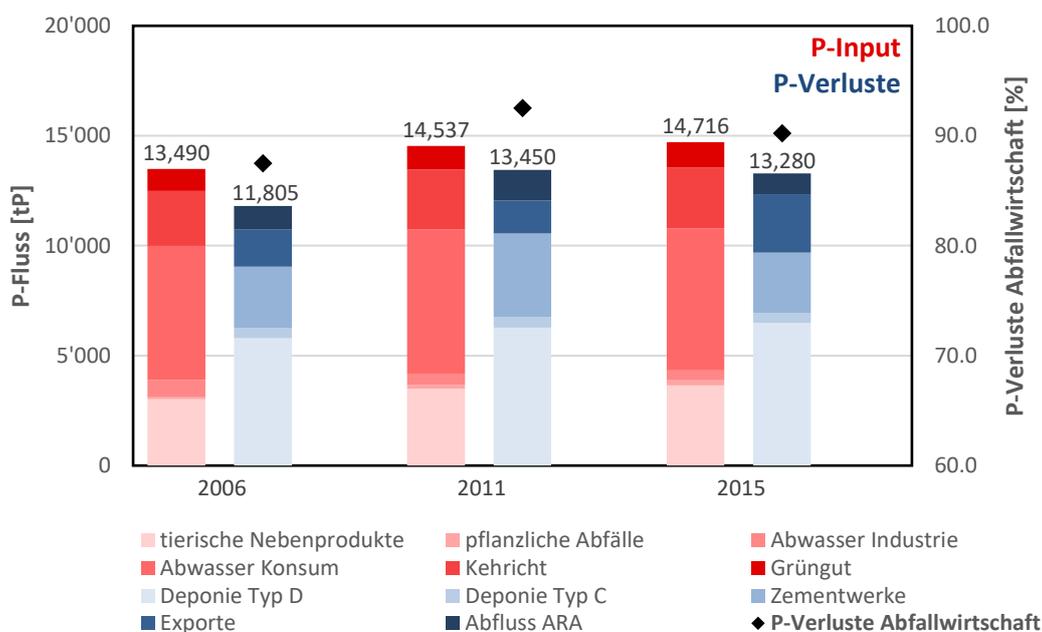


Abbildung 11: P-Input in die Abfallwirtschaft und P-Verluste (Balken, linke y-Achse) sowie damit verbundene Quote P-Verluste Abfallwirtschaft (Rhomben, rechte y-Achse). Die P-Verluste Abfallwirtschaft sind die in Deponien und Zementwerken sowie in Exporten und im Abfluss der ARAs verlorenen P-Mengen im Verhältnis zum gesamten P-Input in die Abfallwirtschaft.

Seit der letzten Erhebung 2011 gab es in der Abfallwirtschaft drei Haupt-Flussverschiebungen:

- Beim KS ist eine Verschiebung hin zur Monoverbrennung (MV) zu beobachten. Hauptgrund ist die Eröffnung des KSV Werdhölzli in Zürich, wo seit Mitte 2015 der gesamte im Kanton Zürich anfallende KS (rund 15'000 t/a) zentral verwertet wird.
- Im Jahr 2015 ist der P-Fluss exportierter TNP deutlich angestiegen. Dies hat zum einen damit zu tun, dass die Kenntnisse über die TNP-Verwertungswege generell gestiegen

⁸ Seit dem 1. Januar 2016 ist die neue VVEA in Kraft. Sie kennt neu deren fünf (A-E), statt drei (Inertstoff-, Reststoff- und Reaktordeponie) Deponietypen.

sind, andererseits fiel im Jahr 2015 mengen- und anteilmässig mehr Kategorie-3 (K3)-Material⁹ an, welches zu einem Grossteil exportiert wird. Die P-Menge des Kategorie-1-Materials, welches in Zementwerken landet, hat hingegen leicht abgenommen.

- War in den Jahren 2006 und 2011 die Kompostierung der dominante Verwertungsweg biogener Abfälle (je rund 85%), hat die Vergärung (mit anschliessender Rückführung der Gärreste) in der Zwischenzeit deutlich an Bedeutung gewonnen: Kompostierung und Vergärung setzen nun je rund 50% der P-Menge biogener Abfälle um.

Weit grössere Verschiebungen bezüglich der Verwertung von KS und TNP sind allerdings in den nächsten zehn Jahren während der Übergangsfrist zur P-Recyclingspflicht der neu inkraftgetretenen VVEA und danach zu erwarten. Im Moment werden auf kantonaler Ebene Lösungen erarbeitet, denkbar sind verschiedene P-Recyclingverfahren (siehe u.A. EBP 2017).

Erstmals wurden in dieser Erhebung die P-Mengen in TNP, welche in der Schweiz vergärt werden, grob abgeschätzt: mit 58 tP/a sind sie jedoch vernachlässigbar. Aufgrund der Datenlage kann aber davon ausgegangen werden, dass die Menge (noch) unterschätzt wird, insbesondere die in Faultürmen der ARAs co-vergärten P-Mengen könnten für den Schweizer P-Haushalt relevant sein (BAFU, pers. Komm.).

Aufgrund des Rückführungsverbot von KS stellen Grüngutdünger in Landwirtschaft und Gärten mit zusammen gut 1'400 tP/a (2006: ca. 1'100 tP/a) die einzige direkte Wiederverwertung aus der Abfallwirtschaft dar. Die P-Verluste in die Gewässer betragen ca. 900 tP/a (2006: ca. 1'100 tP/a).

Analog zum Gesamtsystem listet Tabelle 8 die grössten absoluten und relativen Änderungen des Subsystems Abfallwirtschaft und differenziert die Haupttreiber der Veränderung.

Tabelle 8: Grösste absolute und relative Flussänderungen des Subsystems Abfallwirtschaft zwischen 2006 und 2015 inklusive Haupttreiber der Änderung.

Flussname	Änderung 2006-2015		Haupttreiber
	in t	in %	
Grösste absolute Änderungen			
TNP Exp.	913	60.66	Datenlage ¹ , Bevölkerungswachstum
Grüngutdünger in LW	739	148.39	Trend hin zu Vergärung, Datenlage
KS in MV ²	712	28.40	VVEA, Inbetriebnahme KSV Werdhölzli
TNP	636	21.09	Datenlage, Bevölkerungswachstum
biog. Abfälle Vergärung	522	314.46	Trend hin zu Vergärung
Grösste relative Änderungen			
Presswasser ³	181	402.22	Trend hin zu Vergärung
Grüngutdünger in LW	739	148.39	Trend hin zu Vergärung, Datenlage
pflanzliche Abfälle	134	147.25	Datenlage
KVA-Flugasche verfestigt	-290	-71.25	Flussmodell ⁴
Grüngutdünger in Gärten	-394	-66.55	Trend hin zu Vergärung, Datenlage

¹ neue Datenquelle, Änderung der Unsicherheit, bessere Kenntnis des Flussinhalts

² stellvertretend für alle weiteren MV-Flüsse

³ stellvertretend für alle weiteren Vergärungs-Flüsse

⁴ neues Flussbild, Änderung von Transferkoeffizienten

⁹ Gemäss der Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP) werden TNP in 3 Risikokategorien eingeteilt: Kategorie-1 (K1) = hohes Risiko; Kategorie-2 (K2) = mittleres Risiko; Kategorie-3 (K3) = tiefes Risiko.

Fazit

Das Gesamtpotential zum P-Recycling in der *Abfallwirtschaft* (entspricht dem Gesamt-Input in das Subsystem) ist mit ca. 14'700 tP/a (2006: 13'500 tP/a) sehr gross, wird jedoch mit ca. 1'400 tP/a (2006: 1'700 tP/a) in der Schweiz nur in äusserst eingeschränkter Masse genutzt. Zusätzlich werden ca. 2'650 tP/a (2006: 1'500 tP/a) TNP und KS zur Aufbereitung ins Ausland exportiert. Die gegenwärtig **in Deponien und Zementwerken gelagerten bzw. verlorenen P-Mengen** betragen demnach etwa **9'700 tP/a** (ca. 66%) Hinzu kommen ca. 930 tP/a im Abfluss der ARAs.

Das mengenmässig grösste ungenutzte P-Potential in der *Abfallwirtschaft* ist in der Wiederaufbereitung und -verwendung des KS zu finden. Im Jahr 2015 wurden ca. **3'200 tP/a** (2006: ca. 2500 tP/a) **in Klärschlamm-Monoverbrennungsanlagen (KS-MV) verbrannt** und anschliessend deponiert.

Der Indikator **Quote P-Verluste Abfallwirtschaft** ist **im letzten Jahrzehnt konstant geblieben**. Seit dem im Jahr 2006 eingeführten Ausbringungsverbot von KS sind in der Schweiz keine neuen bedeutenden P-Recyclingpfade entstanden. Die P-Menge in Grüngutdünger hat im Vergleich zum Jahr 2011 zwar deutlich zugenommen, aber auf lange Sicht ist die Bedeutung dieses Pfades beschränkt.

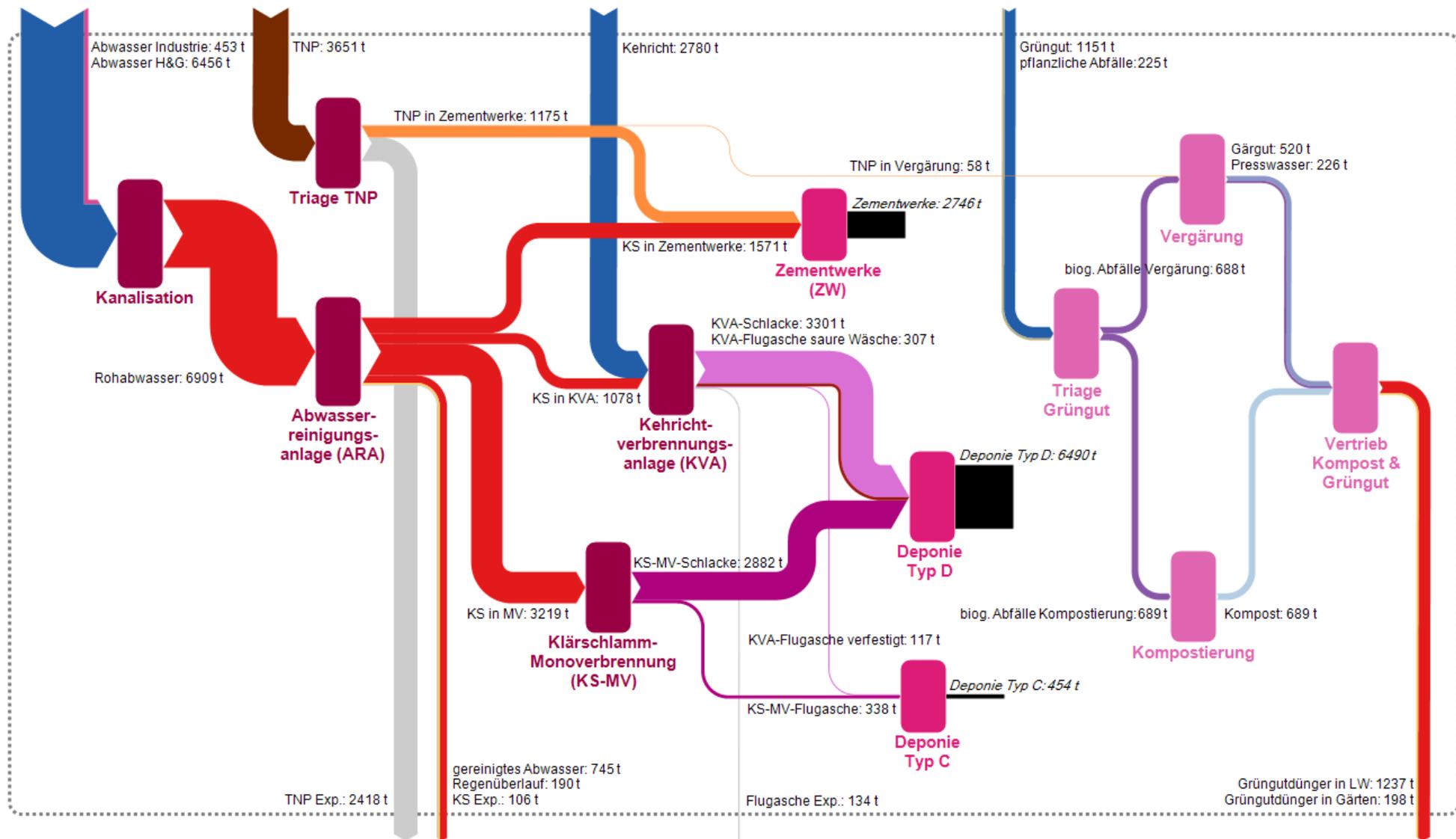


Abbildung 12: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem *Abfallwirtschaft*. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 9: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem *Abfallwirtschaft*.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
Landw. Tiere	Triage TNP	TNP	3'015	+/-	298	3'651	+/-	393	636	21.09
Landw. Pflanzen	Triage Grüngut	pflanzliche Abfälle	91	+/-	13	225	+/-	31	134	147.25
Chem. Industrie	Kanalisation	Abwasser Industrie	786	+/-	338	453	+/-	348	-333	-42.37
Haushalt & Gewerbe	Kanalisation	Abwasser H&G	6'097	+/-	230	6'456	+/-	335	359	5.89
Haushalt & Gewerbe	KVA	Kehricht	2'503	+/-	240	2'780	+/-	265	277	11.07
Haushalt & Gewerbe	Triage Grüngut	Grüngut	998	+/-	92	1'151	+/-	58	153	15.33
Output										
Triage TNP		TNP Exp.	1'505	+/-	248	2'418	+/-	397	913	60.66
ARA	Landw. Pflanzen	KS in LW	594	+/-	112	0	+/-	0	-594	-100.00
Vertr. Komp. & Gärgut	Landw. Pflanzen	Grüngutdünger in LW	498	+/-	165	1'237	+/-	50	739	148.39
Vertr. Komp. & Gärgut	Haushalt & Gewerbe	Grüngutdünger in Gärten	592	+/-	140	198	+/-	38	-394	-66.55
ARA		KS Exp.	0	+/-	0	106	+/-	21	106	-
ARA	Gewässer	Abfluss ARA	1'069	+/-	324	934	+/-	174	-135	-12.63
Deponie Typ C		Flugasche Exp.	185	+/-	185	134	+/-	8	-51	-27.57
Subsysteminterne Flüsse										
Kompostierung	Vertr. Komp. & Gärgut	Kompost	923	+/-	92	689	+/-	60	-234	-25.35
Vergärung	Vertr. Komp. & Gärgut	Gärgut	122	+/-	57	520	+/-	68	398	326.23
Vergärung	Vertr. Komp. & Gärgut	Presswasser	45	+/-	62	226	+/-	32	181	402.22
KVA	Deponie Typ D	KVA-Schlacke	3'536	+/-	275	3'301	+/-	272	-235	-6.65
KVA	Deponie Typ D	KVA-Flugasche saure Wäsche	0	+/-	0	307	+/-	18	307	-
KVA	Deponie Typ C	KVA-Flugasche verfestigt	407	+/-	13	117	+/-	7	-290	-71.25
Kanalisation	ARA	Rohabwasser	6'882	+/-	356	6'909	+/-	375	27	0.39
ARA	KVA	KS in KVA	1'440	+/-	230	1'078	+/-	178	-362	-25.14
ARA	KS-MV	KS in MV	2'507	+/-	234	3'219	+/-	284	712	28.40
ARA	Zementwerke	KS in Zementwerke	1'272	+/-	244	1'571	+/-	264	299	23.51
KS-MV	Deponie Typ D	KS-MV-Schlacke	2'256	+/-	205	2'882	+/-	249	626	27.75
KS-MV	Deponie Typ C	KS-MV-Flugasche	251	+/-	96	338	+/-	122	87	34.66
Triage TNP	Zementwerke	TNP in Zementwerke	1'510	+/-	249	1'175	+/-	170	-335	-22.19
Triage TNP	Vergärung	TNP in Vergärung	0	+/-	0	58	+/-	30	58	-

Triage Grüngut	Kompostierung	biog. Abfälle Kompostierung	923	+/-	92	689	+/-	60	-234	-25.35	
Triage Grüngut	Vergärung	biog. Abfälle Vergärung	166	+/-	23	688	+/-	59	522	314.46	
P-Lageränderungen (Prozesse)						Lageränderung (t)					
						2006			2015		
Deponie Typ D (ehemals Reaktordeponie)						5'792	+/-	328	6'489	+/-	345
Deponie Typ C (ehemals Reststoffdeponie)						473	+/-	209	454	+/-	123
Zementwerke						2'781	+/-	348	2'745	+/-	313

3.6 Subsystem Gewässer

Im Subsystem *Gewässer* wird der diffus in Wasser gelöste P gesammelt. Aufgrund einer neuen Publikation von agroscope (Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015) wurden in dieser Studie erstmals sämtliche P-Einträge in die Gewässer erhoben.

Der P-Eintrag in die aquatischen Systeme der Schweiz beträgt gut 4'200 tP/a, wobei die diffusen Einträge ca. 3'300 tP/a (78%) und die punktuellen Einträge (gereinigtes Abwasser und Regenüberlauf) gut 900 tP/a (22%) betragen. Zu den diffusen P-Einträgen gehören Einträge aus landwirtschaftlichen Flächen (1'136 tP/a) und alle übrigen diffusen Einträge. Erstere wurden in den letzten Erhebungen jeweils durch den Fluss *Oberflächenabfluss und Erosion* abgebildet. Letztere sind im Fluss *Diffuse Einträge nicht-LW* zusammengefasst, welcher der Einfachheit halber als Import-Fluss des Gesamtsystems ausgewiesen ist (2'135 tP/a).

Das P-Lagerwachstum in Schweizer *Seen* beträgt knapp 2'500 tP/a und betrifft insbesondere Stauseen in den Alpen, welche als grosse Speicher von diffus eingetragenen partikulärem P wirken. Der grösste Teil davon ist für die Nährstoffproblematik nicht von Bedeutung, da P lediglich in gelöster Form eutrophierungswirksam ist. Aus der Sicht eines nachhaltigen P-Managements ist auf dem Seegrund abgelagerter P von untergeordneter Bedeutung.

Während die Einträge durch die *Landwirtschaft* seit 2006 leicht zugenommen haben (+6%), haben diejenigen durch die *Abfallwirtschaft* abgenommen (-13%). Dass die diffusen Einträge aus der Landwirtschaft trotz deutlich effizienterer Düngung seit 2006 zugenommen haben liegt in erster Linie an der neuen Berechnungsmethode des Flusses. Die diffusen P-Flüsse bleiben jedoch mit einer grossen Unsicherheit behaftet, da ihre Erhebung nur unter zahlreichen Annahmen möglich ist.

Fazit

Bezogen auf das Gesamtsystem ist der **diffuse Eintrag in die Gewässer** mit ca. 4'200 tP/a **aus der Sicht eines nachhaltigen P-Managements von untergeordneter Bedeutung, doch nicht vernachlässigbar**. Es ist hier zu betonen, dass bei der Bewertung der Umweltrelevanz von entscheidender Bedeutung ist, inwieweit der P gelöst oder im Sediment gebunden (partikulär) ist; sprich wie bioverfügbar er ist.

Der P-Gehalt der Schweizer Seen hat sich im letzten Jahrzehnt stabilisiert, der Ausbau der Abwasserreinigung sowie das Phosphatverbot für Textilwaschmittel blieben nicht ohne Wirkung. In Gebieten mit intensiver Viehmast oder vielen offenen Ackerflächen sind einzelne Seen jedoch noch immer zu stark mit P belastet. Heute ist das Wasserqualitätsproblem Schweizer Seen dennoch in erster Linie ein Problem verursacht durch Mikroverunreinigungen (Spurenstoffe) wie Pestizide, Kosmetika, Medikamentenrückstände oder hormonaktive Stoffe (Kunz et al. 2016).

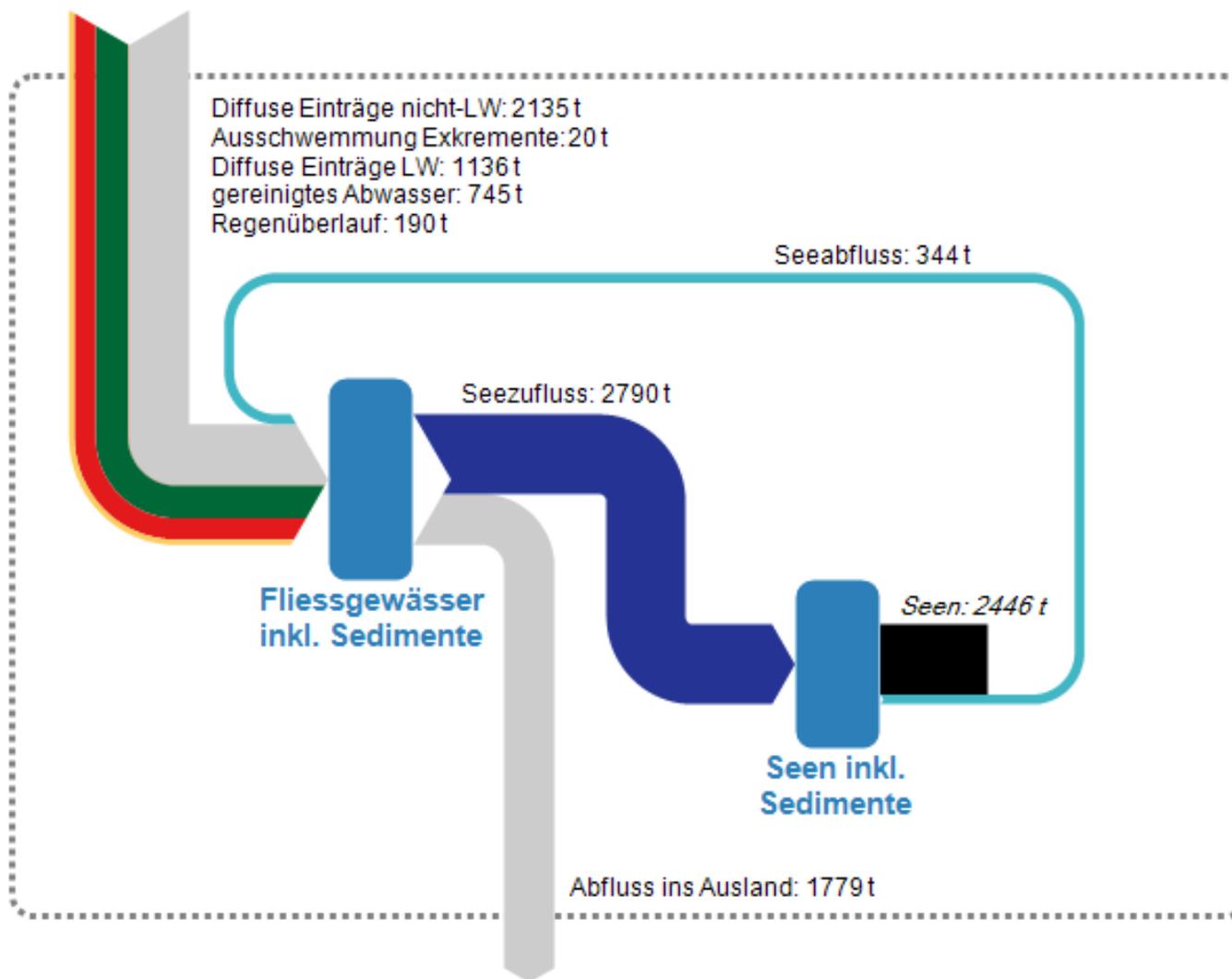


Abbildung 13: P-Haushalt der Schweiz (2015): Subsystem Gewässer. P-Flüsse in Tonnen (t) P.

Tabelle 10: Vergleich des P-Haushalts der Jahre 2006 und 2015: Subsystem Gewässer.

Prozess Output	Prozess Input	Flussname	P-Fluss (t)						Veränderung 2006-2015	
			2006			2015			in t	in %
Input										
	Fliessgewässer	Diffuse Einträge nicht-LW	0	+/-	0	2'135	+/-	365	2'135	-
Landw. Tiere	Fliessgewässer	Ausschwemmung Exkrememente	20	+/-	10	20	+/-	10	0	0.00
Landw. Pflanzen	Fliessgewässer	Diffuse Einträge LW	1'071	+/-	238	1'136	+/-	168	65	6.07
Abfallwirtschaft	Fliessgewässer	Abfluss ARA	1'069	+/-	324	934	+/-	174	-135	-12.63
Output										
Fliessgewässer		Abfluss ins Ausland	2'160	+/-	106	1'779	+/-	247	-381	-17.64
Subsysteminterne Flüsse										
Fliessgewässer	Seen	Seezufluss	0	+/-	0	2'790	+/-	388	2'790	-
Seen	Fliessgewässer	Seeabfluss	0	+/-	0	344	+/-	69	344	-
P-Lageränderungen (Prozesse)						Lageränderung (t)				
						2006			2015	
Seen						0	+/-	0	2'446	+/- 389

3.7 Fazit

In der letzten Erhebung im Jahr 2011 wurde folgendes Fazit gezogen: „Das zentrale Element eines nachhaltigen nationalen P-Managements ist die Schaffung einer P-Kreislaufwirtschaft, um die Abhängigkeit von Mineraldüngerimporten zu reduzieren. Hierfür muss das Recycling gefördert und Verluste in Kehrrichtverbrennungsanlagen, Zementwerken und Oberflächengewässern vermieden werden.“ (Binder und Jedelhauser 2013).

In der Zwischenzeit sind in der Schweiz keine neuen bedeutenden P-Recyclingwege entstanden. Der Schweizer P-Haushalt ist im letzten Jahrzehnt im Wesentlichen stabil geblieben:

- die Schweiz ist Netto-Importeur von P in der Grössenordnung von 10'000 tP/a, hauptsächlich durch den Import von Mineraldünger, pflanzlichen Nahrungsmitteln (Tendenz jeweils abnehmend) und Futtermittel (Tendenz zunehmend) .
- Die Recycling-zu-Import-Rate beträgt nach wie vor lediglich rund 10%. Der überwiegende P-Anteil gelangt in Schlacken, Flugaschen oder Tiermehl auf Deponien und in Zementwerke und wird somit einer Rückführung in die Landwirtschaft entzogen.

Die Inkraftsetzung der neuen VVEA per Anfang 2016, welche die Rückgewinnung von P aus P-reichen Abfällen wie KS sowie Tier- und Knochenmehl in der Schweiz auf Verordnungsstufe vorschreibt, ist der erste Schritt zur oben erwähnten P-Kreislaufwirtschaft. Sie setzt dort an, wo die grössten P-Rückgewinnungspotentiale liegen: in der Abfallwirtschaft mit einem Umsatz von über 14'000 tP/a und einem jährlichen P-Lagerwachstum von knapp 10'000 tP/a.

Erfreuliche Trends gibt es aber auch ohne konsequentes P-Recycling: die Einfuhr von Mineraldünger konnte seit 2006 um knapp 1'700 tP/a reduziert werden, was einem Rückgang von fast 30% entspricht. In dieser Zeit ging das Lagerwachstum *Pflanzen*, d.h. die Menge an abgelagertem P in landwirtschaftlichen Böden um knapp 3'000 tP/a zurück. Beide Entwicklungen sind die Folge einer gesteigerten P-Effizienz im Pflanzenbau, insbesondere durch deutlich reduzierten Düngerauftrag, sowie der Nutzung der in den vergangenen Jahrzehnten durch Überdüngung aufgebauten P-Lager in landwirtschaftlichen Böden.

Die Entwicklung der drei Indikatoren „Recycling-zu-Import-Rate“, „P-Effizienz Pflanzenbau“ sowie „Quote P-Verluste Abfallwirtschaft“ seit 2006 bestätigt die lediglich geringfügigen Veränderungen im Schweizer P-Haushalt über das letzte Jahrzehnt (siehe Tabelle 11). Die Änderungen seit 2006 bewegen sich bei allen drei Indikatoren im einstelligen Prozentbereich. Dennoch ist insbesondere die Zunahme der P-Effizienz Pflanzenbau im letzten Jahrzehnt um 8.1 Prozentpunkte erwähnenswert.

Tabelle 11: Prozentuale Entwicklung der drei systembeschreibenden Indikatoren seit der ersten Erhebung für das Jahr 2006. Zudem ist die Veränderung im Vergleich zu 2006 in Prozentpunkten angegeben.

Indikator	2006	2011	2015	+/- seit 2006
	[%]	[%]	[%]	[%-Punkte]
Recycling-zu-Import-Rate	10.6	8.6	10.3	-0.2
P-Effizienz Pflanzenbau	86.3	92.7	94.5	+8.1
Quote P-Verluste Abfallwirtschaft	87.5	92.5	90.2	+2.7

Im Hinblick auf Ansatzpunkte und Verbesserungspotentiale hin zu einer nachhaltigen P-Kreislaufwirtschaft spielen die Prozesse *Chemische Industrie* und *Haushalt & Gewerbe* aufgrund ihres geringen P-Umsatzes (*Chemische Industrie*) bzw. ihrer Funktion als reiner Durchlaufprozess (*Haushalt & Gewerbe*) eine untergeordnete Rolle. Über individuelle Verhaltensänderungen (z.B. Änderung der Essgewohnheiten, Vermeidung von Kehrriech) besteht aber die Möglichkeit einer Reduktion oder Rückführung der P-Flüsse bereits vor deren Eintritt in die Abfallwirtschaft.

4. Treiber zukünftiger Entwicklungen der P-Flüsse

Obwohl das P-Flusssystem in der Schweiz über das letzte Jahrzehnt im Wesentlichen stabil geblieben ist, gibt es (neben der Inkraftsetzung der neuen VVEA und dem damiteinhergehenden P-Recycling) eine Reihe von Faktoren und Treibern, welche den Schweizer P-Haushalt verändern können. Dieses Kapitel diskutiert einige dieser Einflussparameter und versucht einen Ausblick über mögliche Veränderungen des P-Haushalts in der Schweiz zu liefern. In einem ersten Teil werden vier Szenarien für einen veränderten Umgang mit P-haltigen Materialien betrachtet und analysiert, wie sich diese quantitativ auf den Schweizer P-Haushalt auswirken. In einem zweiten Teil werden weitere Einflussparameter rein qualitativ betrachtet. Dabei handelt es sich hauptsächlich um politische Vorstösse (Motionen), Gesetzesänderungen sowie sonstige in der Schweiz oder Europa denkbare Trends, welche einen Einfluss auf den Schweizer P-Haushalt haben können.

4.1 Szenarien

Tabelle 12 zeigt eine Übersicht der betrachteten Szenarien, wovon eines die P-Nachfrage und drei die P-Verwertung in der Schweiz betreffen. Durch die Berechnung und Evaluation dieser Szenarien sollen einerseits Möglichkeiten eines zukünftigen P-Haushalts in der Schweiz aufgezeigt und andererseits Rückschlüsse auf die Relevanz dieser Optionen aus gesamtsystemischer Sicht gezogen werden. Dabei geht es um die Fragen:

- Welche Faktoren bestimmen die P-Nachfrage in der Schweiz bzw. durch welche Massnahmen kann sie beeinflusst werden? („P-Nachfrage“)
- Wo gibt es abgesehen von der P-Recyclingpflicht gemäss VVEA weitere Ansatzpunkte zur Kreislaufschliessung von P-Flüssen in der Schweiz, und wie relevant sind sie aus gesamtsystemischer Sicht? („P-Verwertung“)

Die vier Szenarien wurden aus gegenwärtigen politischen Debatten und Initiativen sowie Forschungsprojekten und Publikationen in den Bereichen Ernährung und Abfallverwertung abgeleitet. Der Einfachheit halber wurden alle Szenarien auf den heutigen P-Haushalt angewandt. Allfällige Zunahmen der P-Mengen aufgrund des Bevölkerungswachstums sind nicht mitberücksichtigt.

Tabelle 12: Übersicht der betrachteten Szenarien des zukünftigen P-Managements in der Schweiz. In der Spalte «Quelle» ist angegeben, auf welcher Grundlage das Szenario in erster Linie basiert.

Szenario-Name	Bereich	Quelle
Gesunde und ausgewogene Ernährung („Ernährung“)	P-Nachfrage	BLV 2015a
Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins („Urinseparation“)	P-Verwertung	Eawag, pers. Komm.
Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht („Kehricht“)	P-Verwertung	BAFU 2012, 2017d
Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10% („K3-TNP“)	P-Verwertung	BLV, pers. Komm.

4.1.1 Gesunde und ausgewogene Ernährung

Die menschliche Ernährung steht immer mehr im Fokus der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung. Eine im Jahr 2012 publizierte Ökobilanz-Studie im Auftrag des BAFU hat aufgezeigt, dass die Ernährung für rund 30% der Gesamtumweltbelastung der Schweiz verantwortlich ist (Jungbluth et al. 2012). Somit belastet kein Konsumbereich in der Schweiz die Umwelt so stark wie die Ernährung. Der hohe Fleischkonsum spielt dabei eine zentrale Rolle. Auch aus gesundheitlicher Sicht ist das aktuelle Ernährungsverhalten nicht ideal: das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) hat basierend auf dem 6. Schweizerischen Ernährungsbericht eine Schweizer Ernährungsstrategie für den Zeitraum 2017-2024 erarbeitet (BLV 2017a). Daraus geht unter Anderem hervor: die Schweizerinnen und Schweizer essen zu viel Fleisch und zu wenig pflanzliche Produkte wie Gemüse, Früchte, Kartoffeln oder Getreide. Basierend auf diesen Erkenntnissen werden in der Ernährungsstrategie 2017-2024 Ziele und Handlungsfelder definiert.

Eine Umstellung der Ernährungsgewohnheiten hätte Auswirkungen auf den schweizerischen P-Haushalt. Untersuchungen zeigen den grossen Einfluss des Ernährungsverhaltens auf die P-Nachfrage (Cordell et al. 2009, Metson et al. 2012, Thaler et al. 2015, Wu et al. 2016). Grundsätzlich lässt sich sagen: die Tierhaltung und somit der Konsum tierischer Nahrungsmittel ist um ein Vielfaches P-intensiver als die Gemüse-, Früchte- und Getreideproduktion, was insbesondere auf den bedeutenden P-Umsatz der Nutztiere zurückzuführen ist.

Tabelle 13 listet die empfohlene prozentuale Veränderung einer ausgewogenen Ernährung gemäss BLV unterteilt in verschiedene Nahrungsmittelklassen im Vergleich zum Konsumverhalten in den Jahren 2014 und 2015, erhoben in der ersten nationalen Ernährungserhebung „menuCH“ (BLV 2015a). Die Flüsse *tierische NM* und *pflanzliche NM* wurden aufgrund dieser Faktoren angepasst. Es liegt auf der Hand, dass ein verändertes Nahrungsmittel-Konsumverhalten weitreichende Konsequenzen für den Schweizer P-Haushalt hat und eine Reihe weiterer Annahmen nötig ist. Diese sind in Tabelle 18 im Anhang 4 zusammengefasst.

Tabelle 13: Empfohlene prozentuale Veränderung des Nahrungsmittelkonsums im Vergleich zum Ist-Zustand gemäss der BLV-Erhebung „menuCH“ (BLV 2015a).

Nahrungsmittelklasse	[%]
Fleisch und Fisch	-68.5
Eier	-19.5
Milch und -Produkte	+50.0
Getreide/Reis/Kartoffeln	+25.0
Gemüse	+76.5
Früchte	+5.3
Pflanzliche Öle/Fette	-34.0
Fette	-74.4
Nüsse/Samen/Kerne	+100.0
Zucker	-75.0

Abbildung 14 zeigt die Auswirkungen eines veränderten Ernährungsverhaltens im Sinne der Empfehlungen des BLV auf das P-Flusssystem der Schweiz:

- Während die pflanzlichen NM um 946 tP zunehmen (+25%) verzeichnen die tierischen NM eine Abnahme von 570 tP (-12%). Insgesamt nimmt der P-Umsatz durch den NM-Verzehr – und somit die P-Mengen, welche schliesslich im kommunalen Abwasser landen – demnach leicht zu. Dies hat neben der Zunahme an pflanzlicher Nahrung (in erster Linie Getreide) insbesondere damit zu tun, dass der verminderte Fleischkonsum durch den erhöhten Konsum von Milchprodukten, welcher ebenfalls relativ P-intensiv ist, teilkompensiert wird.
- Die P-Umsätze in der Landwirtschaft nehmen zwischen knapp 4'000 tP (pflanzliches Futter) und 4'500 tP (Hofdünger) ab, was hauptsächlich auf den verminderten Fleischkonsum und die somit reduzierte Zahl der Nutztiere zurückzuführen ist. Auffallend ist in diesem Zusammenhang jedoch der hohe Nährstoffanfall der Milchkühe, welche aufgrund der Zunahme des Konsums von Milchprodukten nun den mit Abstand grössten Anteil des anfallenden Hofdüngers ausmachen. Die Abnahme der P-Menge im pflanzlichen Futter ist auf die Annahme zurückzuführen, dass die Futterproduktion im gleichen Verhältnis abnimmt wie der Hofdüngeranfall.
- Während die Futtermittelimporte um fast 50% abnehmen, ist eine Zunahme von gut 20% bei den Mineraldüngerimporten zu beobachten. Die P-Nachfrage, welche nicht im Inland gedeckt werden kann und somit importiert werden muss, nimmt insgesamt um knapp 2'200 tP ab. Allerdings kann hier lediglich von Tendenzen gesprochen werden, da der Einfachheit halber unter Anderem angenommen wurde, dass die Nahrungsmittelimporte konstant bleiben. Ebenso wenig kann vorausgesagt werden, wie sich die Struktur der Landwirtschaft unter einem solchen Szenario entwickeln würde.
- Bei den TNP ist eine starke Abnahme um über 2'000 tP/a zu verzeichnen, was auf eine Reduktion der Schlachtungen zurückzuführen ist. Da angenommen wurde, dass sich die TNP-Verwertungswege (Export, Zementwerke, Futtersuppe, Vergärung) anteilmässig nicht verändern, nehmen sowohl die TNP Exporte (-1'204 tP/a) sowie die in Zementwerken verbrannten Tier- und Knochenmehle (-808 tP/a) deutlich ab.
- Die Zunahme des P in Grüngut sowie die Abnahme der P-Menge in diffusen Einträgen aus der Landwirtschaft in die Gewässer sind auf die Annahmen zurückzuführen, dass sich diese Flüsse analog zu den Veränderungen ihrer Vorgängerflüsse (*pflanzliche NM* bzw. *Hofdünger*) verändern.

Ein verändertes Ernährungsverhalten würde praktisch den gesamten Schweizer P-Haushalt beeinflussen. Während einige Auswirkungen, wie die Abnahme der P-Umsätze in der Landwirtschaft und bei TNP oder die relativ unveränderten P-Umsätze im NM-Bereich, mit grosser Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden können, sind andere von einer Reihe weiterer Faktoren abhängig. So könnten veränderte Ernährungsgewohnheiten auf lange Sicht beispielsweise fundamentale strukturelle Anpassungen des Systems Landwirtschaft nach sich ziehen (Anteil an ökologischer Landwirtschaft, Selbstversorgungsgrad vs. internationaler Handel, möglicher Anbau von Energiepflanzen, Flächenverfügbarkeit etc.). Eine Analyse solcher Zusammenhänge sei hiermit empfohlen, würde den Rahmen dieser Studie jedoch sprengen.

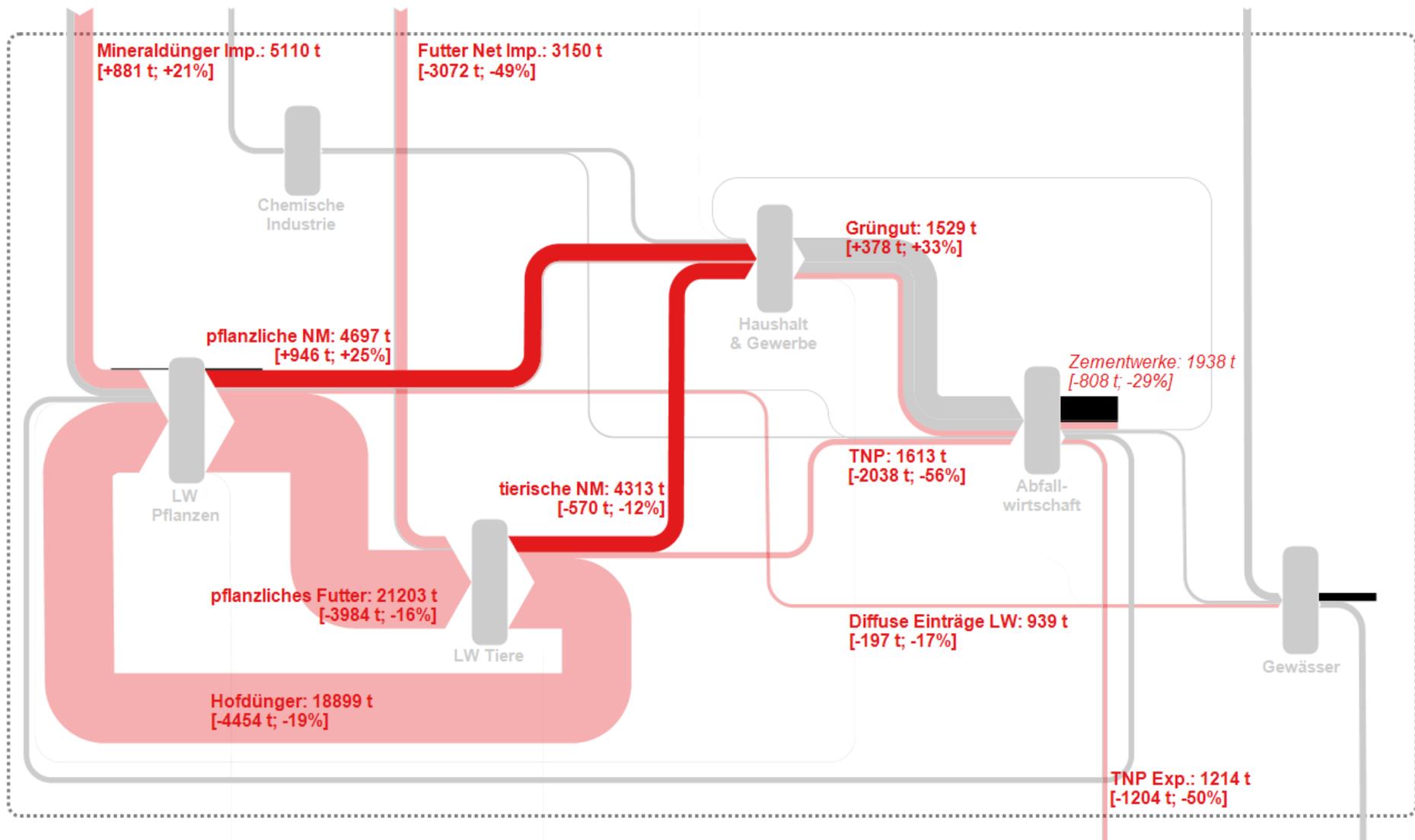


Abbildung 14: P-Haushalt des Szenarios «Ernährung» (gemäss BLV 2015a). Rot hervorgehoben sind die direkt betroffenen P-Flüsse, rot transparent hervorgehoben sind alle in direkter Folge ebenfalls betroffenen P-Flüsse und -Lager. Bei allen betroffenen P-Flüssen und -Lagern sind die absoluten und relativen Änderungen angegeben.

4.1.2 Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins

Etwa zwei Drittel des P menschlicher Ausscheidungen befindet sich im Urin. Der Urin macht somit gut die Hälfte des P im kommunalen Abwasser aus. Seit einigen Jahren wird an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) am Thema Urinseparation geforscht. Hauptziel ist es, Nährstoffe aus Urin mit einem Sanitärsystem zurückzugewinnen, welches erschwinglich ist, wertvollen Dünger produziert, die Unternehmerschaft fördert und die Gewässerverschmutzung reduziert. Dabei wurde erstmals das gesamte System der Nährstoffrückgewinnung – von der Urinsammlung bis zum fertigen Düngerprodukt – unter die Lupe genommen (VUNA-Projekt 2015). Auch in Abwassersystemen mit wassergespülten Toiletten, Kanalisationsnetzen und Abwasserreinigung wie in der Schweiz würde eine Urinseparation entscheidende Vorteile mit sich bringen: sie entlastet die ARAs, spart (Trink)wasser und reduziert den Nährstoffeintrag in die Gewässer. Während in unserer Wasserversorgung momentan in erster Linie eine weitere Zentralisierung Einzug hält, könnten dezentrale Lösungen (Trenn- und Trockentoiletten, Grauwasseraufbereitung), welche das bestehende System ergänzen, dennoch auch in der Schweiz zunehmend an Bedeutung gewinnen. So wurden beim Bau des neuen Eawag-Hauptgebäudes „Forum Chriesbach“ in Dübendorf beispielsweise Trenntoiletten installiert.

Unter dem momentan stark wachsenden Interesse an Systemen mit Urinseparation sei es durch Schaffung gezielter Anreize auf lange Sicht nicht unrealistisch, dass 20% des gesamten in der Schweiz anfallenden Urins gesammelt und zu Dünger verarbeitet wird (Eawag, pers. Komm.). Eine erste wichtige Hürde wurde im Rahmen des VUNA-Projekts bereits genommen: das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) erteilte der Eawag im März 2015 eine provisorische Bewilligung für das Inverkehrbringen des aus Urin produzierten Recyclingdüngers als Blumen-, Rasen- und Zierpflanzendünger. Die zwischenzeitlichen Forschungsergebnisse sprechen für eine definitive Bewilligung ab Anfang 2018 (Eawag, pers. Komm.).

Das Szenario „Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins“ quantifiziert die Auswirkungen einer ausgebauten Urinseparation auf den Schweizer P-Haushalt: 20% des anfallenden Urins werden gesammelt und zu einem Recyclingdünger verarbeitet, welcher in der Landwirtschaft als Alternative zu Mineraldünger eingesetzt wird (siehe Abbildung 15).

Die zentralen Änderungen des Schweizer P-Haushalts bei einer ausgebauten Urinseparation sind in Abbildung 15 ersichtlich: rund 655 tP/a können als Recyclingdünger zusätzlich in die Landwirtschaft zurückgeführt werden, wodurch die Mineraldüngerimporte um 15% auf 3'591 tP/a gesenkt werden können. Durch die Entnahme des Urins gelangt zudem weniger P ins Abwasser und schliesslich in den KS: das Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft nimmt um 446 tP/a ab (-5%), der P im Abfluss der ARAs beträgt noch 829 tP/a (-11%) (siehe Tabelle 19).

Die Urinseparation ist ein anderer Weg des P-Recyclings als die per 2016 vorgeschriebene P-Recyclingpflicht gemäss VVEA. Allerdings können sich die beiden Instrumente durchaus ergänzen: während die zentrale Schweizer Abwasserbehandlung in den nächsten Jahren mit Sicherheit bestehen bleiben wird, machen dezentrale Systeme mit Urinseparation vor allem in autonomen und räumlich begrenzten Einheiten Sinn, etwa bei neu gebauten Quartieren, Autobahnraststätten oder in Bahnhöfen. Die Reduktion im ARA-Abfluss von 105 tP/a ist im gesamtschweizerischen Kontext zwar gering, aus Sicht eines nachhaltigen P-Haushalts aber

dennoch wünschenswert, da die Reduktion der Gewässerbelastung durch P nach wie vor ein nationales Ziel darstellt: in gewissen Regionen sind einzelne Seen noch immer zu stark mit P belastet (BAFU 2016b). Ob die Urinseparation auch in der Schweiz zu einem grösseren Thema wird, hängt sicherlich auch stark davon ab, ob für den VUNA-Recyclingdünger, welcher im Moment bereits in kleinen Mengen produziert wird, ein Absatzmarkt geschaffen werden kann. Dies bedingt sowohl die Akzeptanz seitens der Abnehmenden als auch die Konkurrenzfähigkeit mit herkömmlichen Düngern.

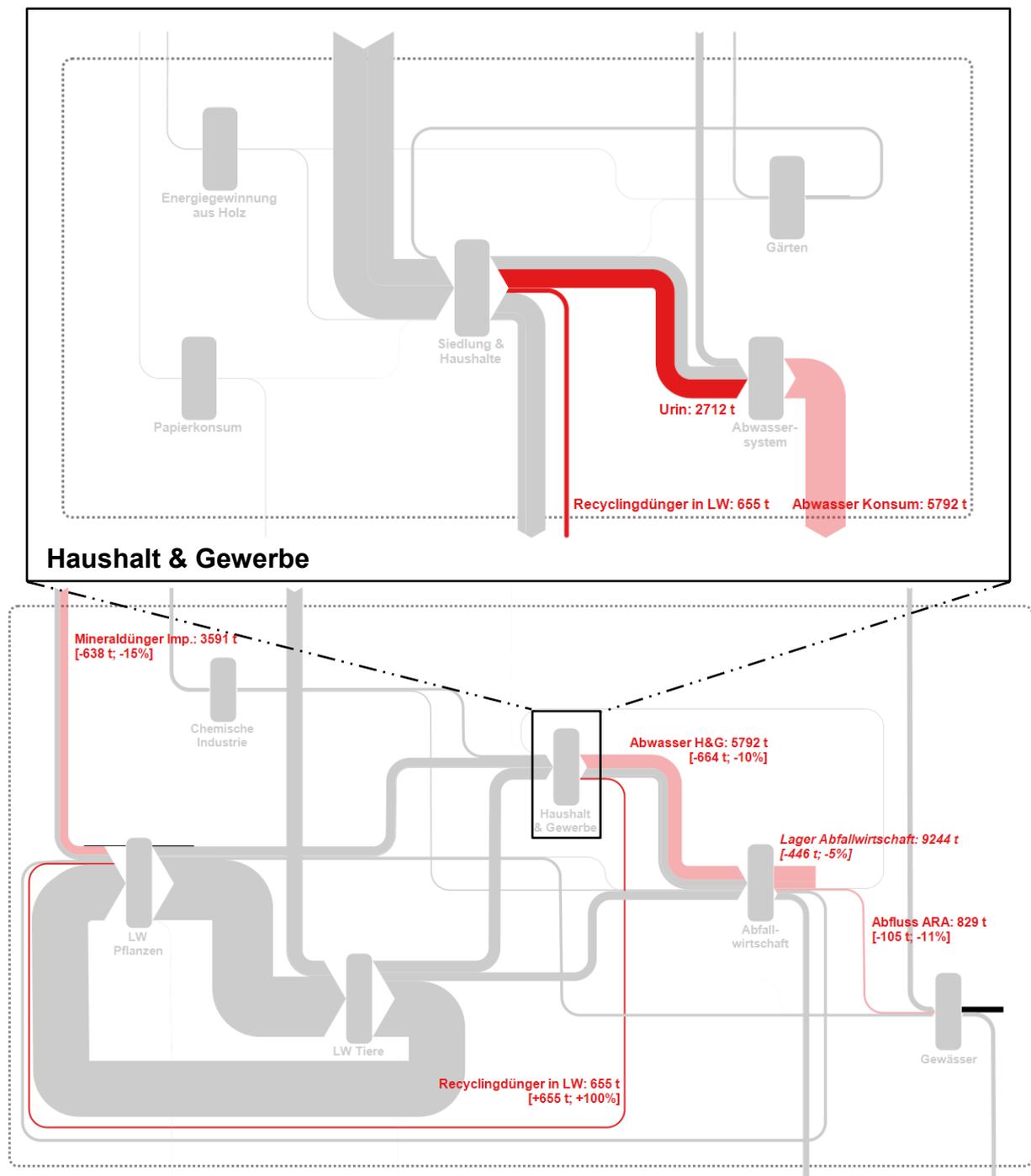


Abbildung 15: P-Haushalt des Szenarios «Urinseparation»: Gesamtsystem (unten), Subsystem *Haushalt & Gewerbe* (oben). Rot hervorgehoben sind die direkt betroffenen P-Flüsse, rot transparent hervorgehoben sind alle in direkter Folge ebenfalls betroffenen P-Flüsse und -Lager. Bei den betroffenen P-Flüssen und -Lagern sind die absoluten und relativen Änderungen angegeben.

4.1.3 Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht

Die letzte Erhebung der Kehrichtzusammensetzung in der Schweiz hat gezeigt, dass die biogenen Abfälle mit gut 32% die mit Abstand grösste Abfallfraktion im Kehricht bilden und in den letzten Jahren anteilmässig zugenommen haben (BAFU 2012). Dies widerspiegelt sich auch im Schweizer P-Haushalt: die P-Menge im Kehricht hat seit 2006 um 11% auf 2'780 tP/a zugenommen. Während rund 47% der biogenen Fraktion unangetastete Nahrungsmittel („food waste“) sind, besteht der Rest aus Rüst- und Gartenabfällen, welche so der stofflichen Verwertung (Kompostierung und Vergärung) entzogen werden.

Bereits in der ersten Studie über P-Flüsse in der Schweiz wurden die Auswirkungen eines konsequenten Recyclings von Grüngut und biogenen Abfällen aus Haushalten in zwei Szenarien beleuchtet (Binder et al. 2009). Die Studie kam zum Schluss, dass das Recycling von 60% der biogenen Abfälle zwar realistisch, der Nutzen für den P-Haushalt jedoch sehr gering ist. Aufgrund der Zunahme der biogenen Fraktion im Kehricht in der Zwischenzeit wird hier dennoch erneut das maximale P-Recyclingpotenzial durch die konsequente Trennung von Kehricht und Grüngut erhoben.

Das **Szenario „Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht“** quantifiziert die Auswirkungen dieser Trennung in Bezug auf Rüst- und Gartenabfälle auf den Schweizer P-Haushalt: sämtliche Rüst- und Gartenabfälle, welche im Moment im Kehricht landen (53% der Fraktion biogene Abfälle), werden stattdessen über die Grünabfuhr entsorgt und landen in Vergärungs- oder Kompostierungsanlagen.

Abbildung 16 zeigt die Auswirkungen des Szenarios auf den Schweizer P-Haushalt. Im Vergleich zum Szenario Urinseparation ist das Reduktionspotenzial der Mineraldüngerimporte leicht geringer (-515 tP/a, -12%). Die in Grüngutdünger rückgeführte P-Menge in Landwirtschaft und Gärten erhöht sich um insgesamt 560 tP/a, was im gesamtschweizer Kontext nicht unbedeutend ist. Da weniger P in der KVA landet verringert sich das Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft um 560 tP/a auf 9'130 tP/a. Dies hat jedoch keine Auswirkungen auf ein allfälliges P-Recycling, da die KVA-Rückstände zu geringe P-Konzentrationen für ein effizientes und wirtschaftliches P-Recycling aufweisen. Dass sich die veränderten P-Mengen in Kehricht (-571 tP/a) und Grüngut (+563 tP/a) nicht 100%-ig aufheben liegt an der Überbestimmtheit des Systems und daraus folgenden Ausgleichsrechnungen in STAN.

Die konsequente biogene Verwertung aller Rüst- und Gartenabfälle birgt weiteres Potenzial, P-Kreisläufe zu schliessen und P-Verluste an die Abfallwirtschaft (hier an die KVA) zu vermeiden. Verglichen mit der Erhebung für das Jahr 2006 beträgt das Reduktionspotenzial der Mineraldüngerimporte nach wie vor rund 12% (leichte Erhöhung um 3 Prozentpunkte im Vergleich zum 60%-Szenario) (siehe Binder et al. 2009). Laut der oben erwähnten BAFU-Studie beträgt der realistisch verwertbare Anteil der biogenen Abfälle, welche im Kehricht landen, rund 40% (BAFU 2012). Dies wurde aufgrund einer groben Kosten-Nutzen-Überlegung in Bezug auf eine flächendeckende Sammellogistik abgeschätzt. In diesen 40% ist jedoch auch die „food waste“-Fraktion enthalten. Um das realistische P-Recyclingpotenzial einer effizienteren Verwertung biogener Abfälle aus dem Haushalt abschätzen zu können, wären demnach weitere Analysen nötig. Zudem sind die problematischen Rahmenbedingungen auf der Absatzseite von Kompost anzugehen (BAFU 2012).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Erhebung der Kehrichtzusammensetzung ungenutzte stoffliche Verwertungspotenziale bei der organischen Fraktion offengelegt hat. Eine im Jahr 2016 im Auftrag des BAFU durchgeführte Erhebung über biogene Abfälle aus kommunalen Quellen hat das Optimierungspotenzial der Separatsammlung biogener Abfälle in der Schweiz bestätigt (BAFU 2017d). Dabei geht es im Wesentlichen um eine Optimierung bestehender Systeme auf Gemeindeebene. Eine vermehrte stoffliche Nutzung der biogenen Abfälle aus den Haushalten ist aus Sicht eines nachhaltigen P-Managements wünschenswert, das P-Recyclingpotenzial ist im Vergleich zu anderen Verwertungswegen jedoch eher gering.

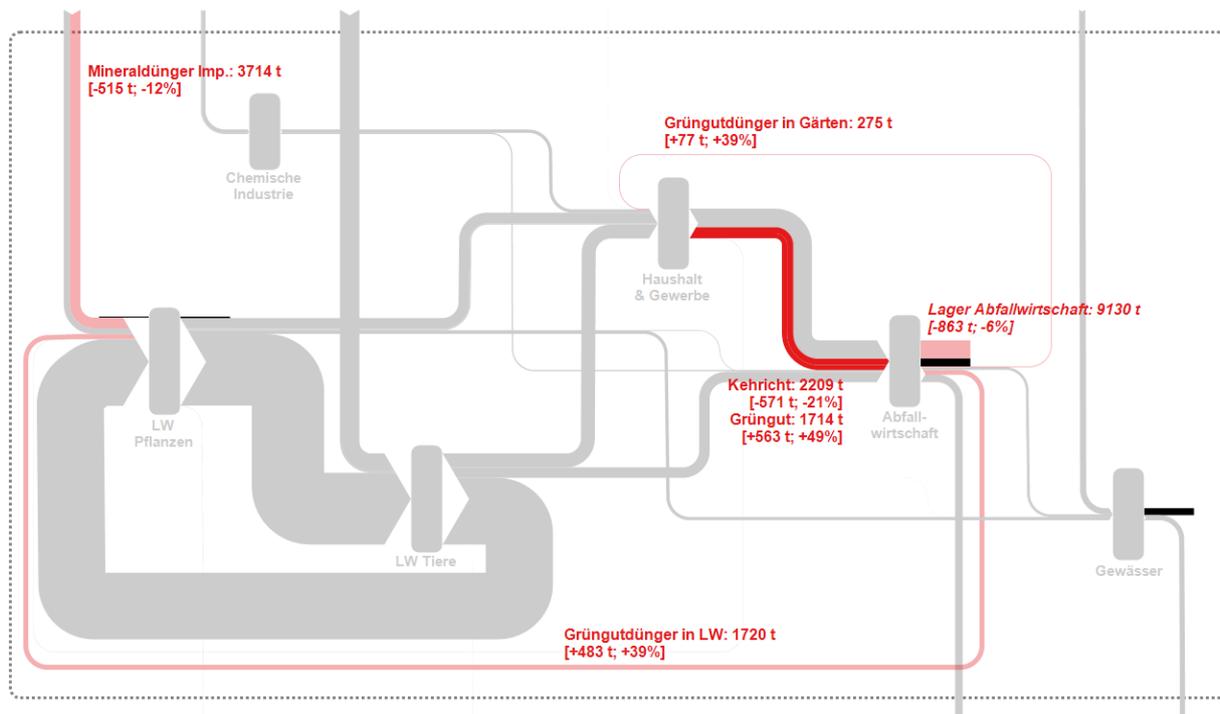


Abbildung 16: P-Haushalt des Szenarios «Kehricht»: Gesamtsystem. Rot hervorgehoben sind die direkt betroffenen P-Flüsse, rot transparent hervorgehoben sind alle in direkter Folge ebenfalls betroffenen P-Flüsse und -Lager. Bei allen betroffenen P-Flüssen und -Lagern sind die absoluten und relativen Änderungen angegeben.

4.1.4 Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%

Als Reaktion auf die BSE-Krise (BSE: Bovine spongiforme Enzephalopathie) zu Beginn der neunziger Jahre wurden in der Schweiz, sowie auch in anderen Ländern, strenge Restriktionen auf die Verwendung von TNP als Tierfutter eingeführt (BLV 2015b). Zusätzlich wurden zum Schutz des Menschen Risikomaterialien wie Gehirn und Rückenmark von Rindern aus der Lebensmittelkette ausgeschlossen. Diese Massnahmen leisteten einen entscheidenden Beitrag zur Eindämmung der Epidemie. In der Zwischenzeit (und nach weiteren Begleitmassnahmen) hat sich die Lage weitgehend normalisiert, der letzte registrierte BSE-Fall in der Schweiz liegt bereits mehr als zwei Jahre zurück (Schweizer Bundesrat 2015). Aus diesem Grund hat die Weltorganisation für Tiergesundheit (OIE) der Schweiz im Mai 2015, 25 Jahre nach dem Auftreten des ersten BSE-Seuchenfalls, den Status „negligible BSE risk“ (vernachlässigbares Risiko für BSE) verliehen. Dies ist der höchste Status für diese Krankheit. Nach wie vor darf in der Schweiz gemäss der Verordnung über die Entsorgung von tierischen Nebenprodukten (VTNP) lediglich, und unter Einschränkungen, K3-Material als Ausgangsmaterial für Tierfutter verwendet werden. In Zukunft ist aufgrund des geänderten BSE-Status eine Verschiebung in Richtung mehr K3-Material aufgrund geänderter Definition des spezifizierten Risikomaterials denkbar (u.A. Magendarmtrakt von Rindern; BLV, pers. Komm.). Zudem wäre die inländische Verwendung sämtlichen K3-Materials im Prinzip möglich.

Ebenfalls zu den K3-TNP gehören Speisereste (siehe auch Kapitel 4.1 „Verwertung von Speiseresten“). Diese sind jedoch bis auf wenige Ausnahmen¹⁰ nicht in dieser Analyse enthalten. Ein kürzlich eingereichter politischer Vorstoss fordert in diesem Zusammenhang die Vereinfachung, Reduzierung und den Abbau von bestehenden Gesetzesregulierungen, um Lebensmittelverluste in der Lebensmittelindustrie und im Gastrobereich zu senken (Schweizerische Bundesversammlung 2017). Dies hätte allenfalls zusätzliche rückgeführte P-Mengen in die Landwirtschaft zur Folge.

Das Szenario „Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%“ quantifiziert die Auswirkungen einer veränderten Verwertung von K3-Material auf den Schweizer P-Haushalt: im Vergleich zu 2015 fällt um 10% mehr K3-Material an (auf Kosten von K1-Material), was neu Mengen von rund 124'500 t K1- und 136'000 t K3-Material bedeutet. Sämtliches in der Schweiz anfallendes K3-Material wird zu Tierfutter verarbeitet und in der inländischen Landwirtschaft verwendet bzw. verfüttert. Dabei wird angenommen, dass bei der Futterproduktion keine P-Verluste entstehen.

Abbildung 17 zeigt das veränderte P-Flusssystem: die Futterimporte nehmen um 27% auf 4'549 tP/a ab, die TNP welche in die Abfallwirtschaft gelangen beinhalten lediglich noch 1'992 tP/a (-45%). Hingegen nimmt der Fluss *Futtersuppe* von 84 tP/a auf 1'766 tP/a zu. Da weniger K1-Material in den Zementwerken verbrannt wird, nimmt das entsprechende P-Lagerwachstum um 105 tP/a (-4%) ab. Da in der Schweiz bereits jetzt vergleichsweise viel K3-Material anfällt und im Moment lediglich rund 25% davon zu Fattersuppe aufbereitet werden (Centravo, pers. Komm.) ist das Recycling-Potenzial mit 1'766 tP/a relativ gross. Die inländische Wieder-

¹⁰ Flüsse Speisereste Abwasser und Speisereste Gartenkompostierung

verwertung von K3-TNP als Tierfutter würde somit dem Trend zunehmender Futtermittelimporte entgegenwirken. Eine Reduktion dieser um 27% auf 4'549 tP/a fällt aus gesamtsystemischer Sicht durchaus ins Gewicht. Es liegt allerdings auf der Hand, dass die gesetzlichen Rahmenbedingungen der Verwertung von K3-TNP in erster Linie von gesundheitlichen Risiken abhängig sind. Dies bestätigt die Stellungnahme des Bundesrates zur erwähnten Motion, welche neben anderen Punkten mögliche problematische Konsequenzen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung hervorhob und die Ablehnung beantragte.

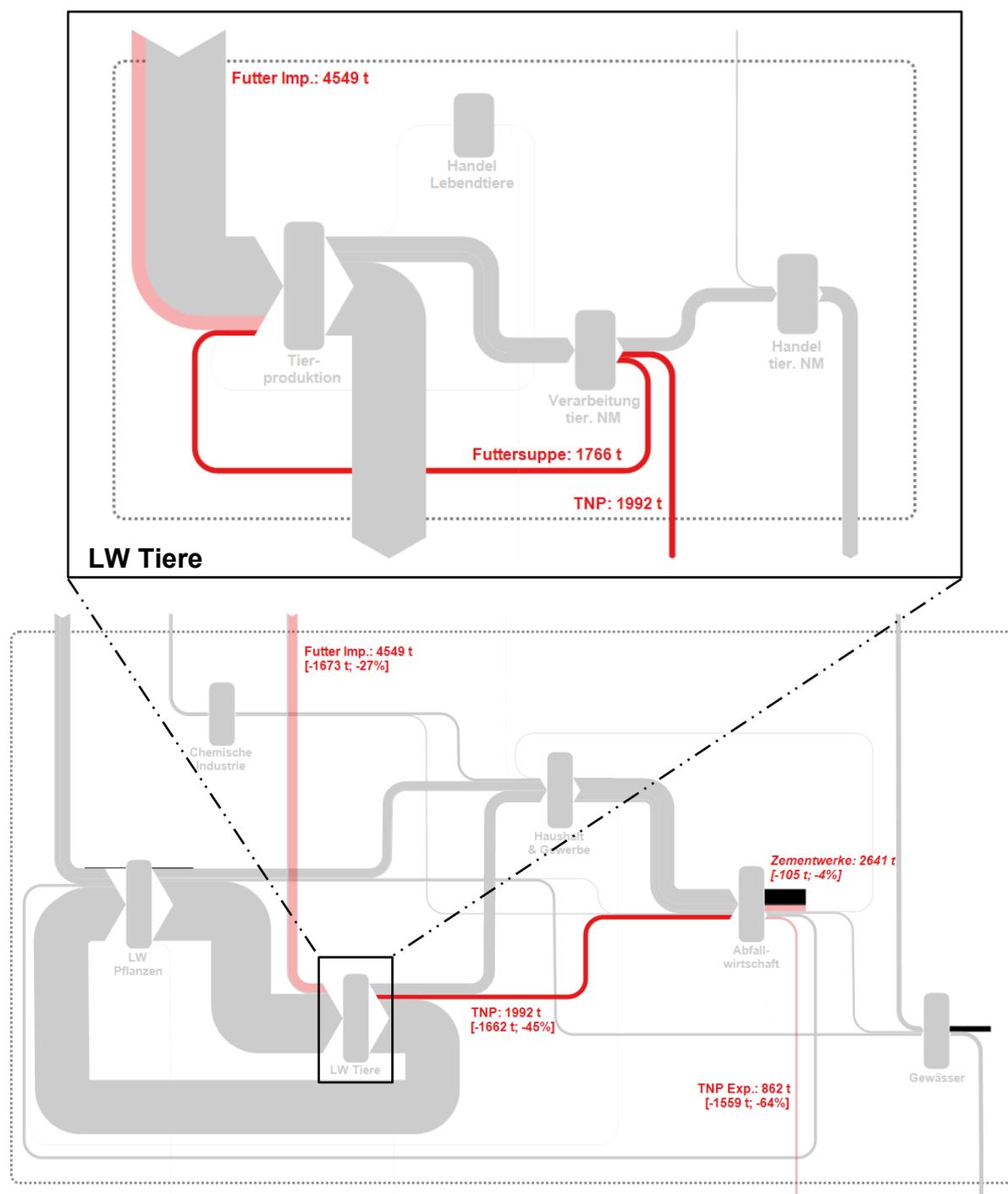


Abbildung 17: P-Haushalt des Szenarios «K3-TNP»: Gesamtsystem (unten), Subsystem *Landwirtschaft Tiere* (oben). Rot hervorgehoben sind die direkt betroffenen P-Flüsse, rot transparent hervorgehoben sind alle in direkter Folge ebenfalls betroffenen P-Flüsse und -Lager. Bei den betroffenen P-Flüssen und -Lagern sind die absoluten und relativen Änderungen angegeben.

4.1.5 Zusammenfassung der Szenarien

Abbildung 18 illustriert die absoluten P-Flussänderungen der einzelnen Szenarien für ausgewählte P-Flüsse. Während die Szenarien „Urinseparation“, „Kehricht“ und „K3-TNP“ durch Rückführung von P-Flüssen in die Landwirtschaft in erster Linie bestehende P-Importe reduzieren, wirkt sich das Szenario „Ernährung“ (neben der Reduktion von Futtermittelimporten) auf eine Reihe weiterer inländischer P-Flüsse aus: die P-Umsätze in Hofdünger und pflanzlichem Futter in der Landwirtschaft sowie die TNP-Menge verzeichnen starke Abnahmen zwischen 2'000 und 4'500 tP/a. Eine Veränderung der Ernährungsgewohnheiten verändert den P-Haushalt an der Quelle und hat somit einen Einfluss auf das gesamte System. Rückschlüsse auf die P-Importe sind in diesem Szenario hingegen mit Vorsicht zu genießen, da unter anderem angenommen wurde, dass die Nahrungsmittelimporte unverändert bleiben (siehe auch Tabelle 18).

Die absoluten und relativen Änderungen der in den einzelnen Szenarien betroffenen P-Flüsse sind zudem in Tabelle 19 im Anhang 4 aufgelistet.

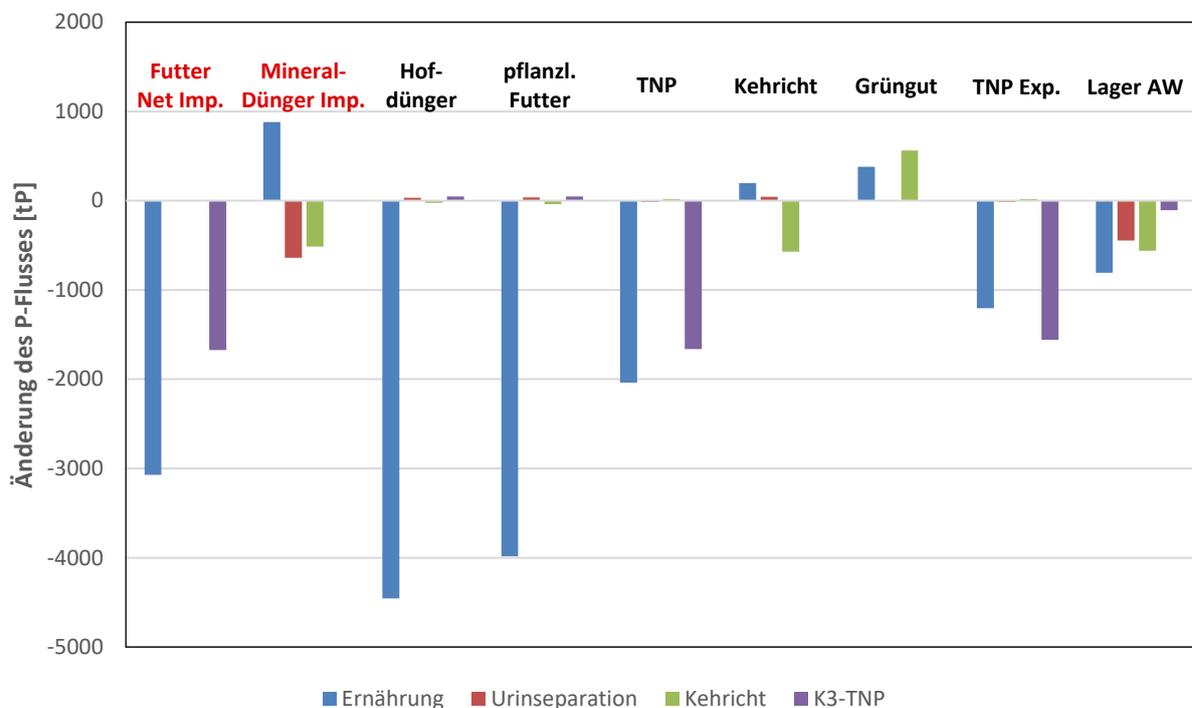


Abbildung 18: Absolute Änderungen ausgewählter P-Flüsse in Tonnen P (tP), aufgeteilt nach Szenario.

Bei Betrachtung der drei entwickelten Indikatoren lassen sich weitere Rückschlüsse für die Einordnung der einzelnen Szenarien ziehen (siehe Tabelle 14):

- Recycling-zu-Import-Rate: Im Vergleich zum Status quo nimmt der rezyklierte P-Anteil im Vergleich zu den Gesamtimporten bei allen Szenarien zu, am stärksten beim Szenario „K3-TNP“ (+14.3 Prozentpunkte). Dies liegt an der deutlichen Reduktion der Futtermittelimporte durch vermehrte Futtersuppenaufbereitung. Die Zunahme von je rund 5 Prozentpunkten bei den anderen Szenarien ist eher gering, aber nicht vernachlässigbar.

- P-Effizienz Pflanzenbau: Da bei allen Szenarien angenommen wurde, dass das P-Lagerwachstum in der Landwirtschaft konstant bleibt, sind bei diesem Indikator keine Veränderungen zu verzeichnen. Die leichten Abweichungen von 0.1% ergeben sich durch veränderte P-Umsätze oder Ausgleichsrechnungen in STAN.
- Quote P-Verluste Abfallwirtschaft: Während die Szenarien „Ernährung“ und „Kehricht“ (je -3.8 Prozentpunkte) leicht geringere P-Verluste in der Abfallwirtschaft verzeichnen, sind die Veränderungen bei den Szenarien „Urinseparation“ und „K3-TNP“ marginal. Dies liegt daran, dass der P-Kreislauf in diesen Szenarien geschlossen wird, bevor der P in die Abfallwirtschaft gelangt. Die erstgenannten Szenarien verzeichnen hingegen einen grösseren Grüngutanteil und somit ein erhöhtes P-Recycling aus der Abfallwirtschaft im Vergleich zum Status quo. Die geringen P-Verlustreduktionen um rund 4 Prozentpunkte zeigen dabei klar auf, dass das P-Recyclingpotenzial beim Grüngut begrenzt ist.

Tabelle 14: Indikator-Werte der vier Szenarien im Vergleich zum Status quo des Jahres 2015.

Indikator	Status quo 2015	Ernährung	Urin-sepa- ration	Kehricht	K3-TNP
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Recycling-zu-Import-Rate	10.3	14.6	15.4	14.7	24.6
P-Effizienz Pflanzenbau	94.5	94.5	94.4	94.5	94.5
P-Verluste Abfallwirtschaft	90.2	86.4	89.9	86.4	89.0

Insgesamt haben alle vier Szenarien wünschenswerte und aus Sicht des Gesamtsystems relevante Folgen für den Schweizer P-Haushalt. Allerdings muss gesagt werden, dass die Szenarien „Urinseparation“, „Kehricht“ und „K3-TNP“ allesamt Szenarien darstellen, die unter Berücksichtigung ökonomischer und logischer Faktoren in der Schweiz in den nächsten Jahren nur schwer vollumfänglich zu erreichen sein werden. Ebenso müssen die betroffenen Produkte (Recyclingdünger, Grüngutdünger, aufbereitete Futtersuppe) in der Schweiz abgesetzt werden können, um den gewünschten Effekt, in diesem Falle die reduzierte Importabhängigkeit, zu erreichen. Der Einfluss des Ernährungsverhaltens auf den P-Haushalt ist in diesem Kontext speziell interessant: durch eine generell reduzierte P-Nachfrage kann der nationale P-Haushalt an seiner Quelle beeinflusst werden. Es sei hiermit empfohlen, die Zusammenhänge zwischen Ernährung und P-Haushalt (gegebenenfalls auch in Bezug auf andere Nährstoffe) in einer separaten Studie im Detail anzuschauen.

Im Hinblick auf eine Optimierung des P-Managements in der Schweiz sollte das Ziel sein, möglichst viele Kreisläufe zu schliessen. Die vier Szenarien zeigen Wege dafür auf. Inwiefern einzelne Massnahmen zur Ausschöpfung des P-Recyclingpotenzials eingeführt werden können, ist jedoch von einer Reihe weiterer Faktoren abhängig wie: ökonomische Tragbarkeit, ökologische und gesundheitliche Aspekte, gesellschaftliche und politische Akzeptanz sowie technische und logistische Umsetzbarkeit. Es liegt an den politischen Entscheidungsträgern und -trägerinnen, diese teils divergierenden Interessen gegeneinander abzuwägen.

4.2 Weitere Trends

Verbrennung von Hofdünger:

In einer Motion im Jahr 2011 wurde gefordert, bestehende Gesetze zur sachgerechten Verwertung von Biomasse zu lockern, um „bestehende Technologiebehinderungen abzuschaffen bzw. zu vermeiden“ (Schweizerische Bundesversammlung 2011b). Dabei war neben Biomasse-Reststoffen und Nahrungsmittelresten auch von Hofdünger die Rede: im Moment ist die Umweltschutzgebung des Bundes im Bereich der Biomasseverwertung darauf ausgerichtet, die Biomasse vollständig zu verwerten, und die Verbrennung von Hofdünger ist nur erlaubt, falls eine stoffliche Verwertung weder technisch möglich noch wirtschaftlich tragbar ist. Dies ist insbesondere der Fall, wenn der Hofdünger wegen seines Schadstoffgehalts nicht als Dünger verwendet werden darf¹¹. Ansonsten wird Hofdünger entweder direkt auf die Felder gebracht oder in umweltverträglich und effizient betriebenen industriellen oder landwirtschaftlichen Biogasanlagen vergärt (mit Rückführung der Gärreste auf die Felder).

Bei der Betrachtung des P-Haushalts der Schweiz schlägt sich diese Nutzung im Kreislauf zwischen den Prozessen *Landwirtschaft Tiere* und *Landwirtschaft Pflanzen* nieder, der die mit Abstand grössten P-Umsätze generiert: die Exkrememente der Tiere werden als Hofdünger entweder direkt oder nach der Vergärung im Gärrest auf die Felder gebracht, während die Erträge aus dem Futterbau wiederum den Tieren verfüttert werden. Dieser fast geschlossene P-Kreislauf stellt sicher, dass der grösste Teil der Futter- und Düngernachfrage intern gedeckt werden kann und somit P-Importe tief gehalten werden.

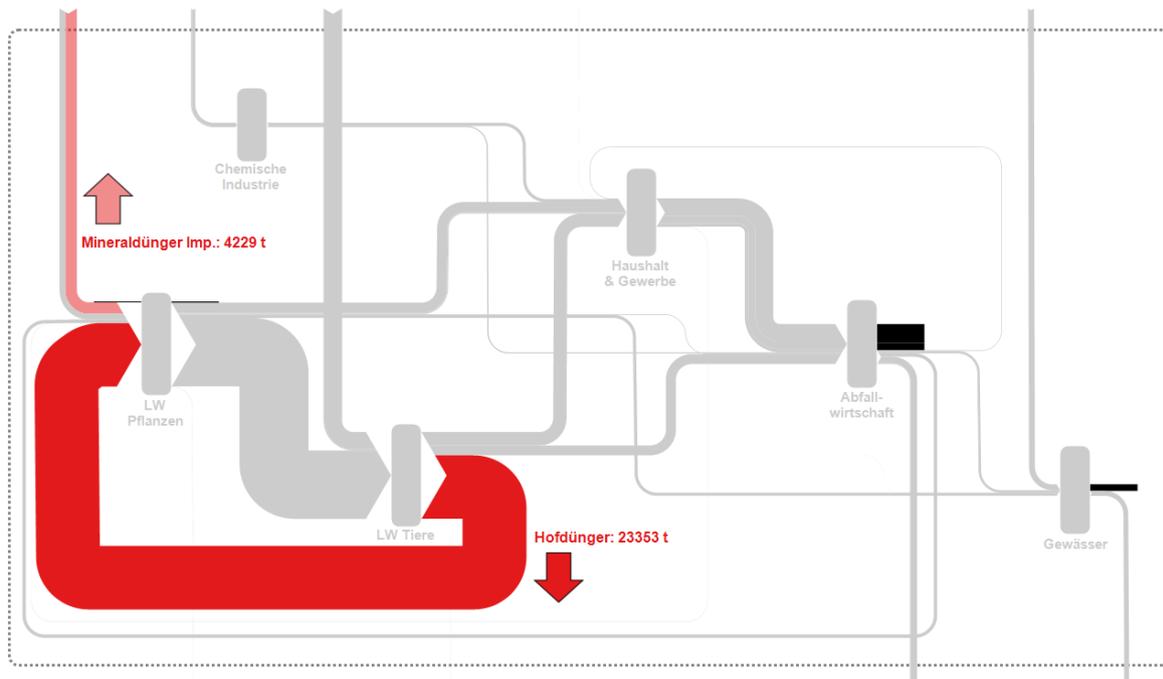


Abbildung 19: Auswirkungen durch die Verbrennung von Hofdünger auf das Schweizer P-Fluss-System. Rot hervorgehoben ist der direkt betroffene P-Fluss Hofdünger, rot transparent hervorgehoben ist der in direkter Folge ebenfalls betroffene P-Fluss Mineraldünger Imp.. Die Pfeile signalisieren jeweils die erwartete Änderung (Pfeil nach oben = Zunahme des P-Flusses, Pfeil nach unten = Abnahme des P-Flusses).

¹¹ Aufgrund sehr geringer verbrannter Mengen an Hofdünger und aufgrund fehlender Daten diesbezüglich ist dieser Fluss nicht Teil des P-Flusssystems. Er kann für das Gesamtsystem als irrelevant angenommen werden.

Abbildung 19 zeigt die erwarteten Auswirkungen durch die Verbrennung von Hofdünger auf den Schweizer P-Haushalt. Da der Fluss *Hofdünger* einen grossen Teil der P-Nachfrage der Pflanzen deckt, wirkt sich eine Reduktion der ausgebrachten Hofdüngermenge direkt auf die Mineraldüngerimporte aus: als Kompensation der P-Nachfrage muss mehr Dünger importiert werden, falls nicht anderweitig P in die Landwirtschaft zurückgeführt wird. Aus Sicht des Gesamtsystems und im Sinne einer nachhaltigen P-Wirtschaft ist dies unerwünscht, da es dem primären Ziel, P-Importe zu reduzieren, entgegenläuft.

Allerdings kann hier lediglich aus gesamtsystemischer Sicht argumentiert werden. Ob die Verbrennung von Hofdünger in Einzelfällen Sinn macht, kann mit dieser Analyse nicht beurteilt werden. Denn beim Anfall von Gülle und Mist gibt es in der Schweiz grosse lokale Unterschiede. In den letzten Jahren ist durch den Ausbau der Schweizer Tierproduktion, insbesondere der Pouletproduktion, ein Verwertungsproblem von Hofdünger entstanden: Landwirtschaftsbetriebe mit vielen Tieren aber wenig Land können nicht allen anfallenden Mist als Dünger verwenden (BAFU 2016). Vor allem in der Ost- und Zentralschweiz muss aufgrund hoher Tierbestände regelmässig Hofdünger weggebracht werden. Der grösste Teil wird innerhalb der Schweiz umverteilt, teilweise wird der Hofdünger aus der Ostschweiz aber bis in den mittel- und norddeutschen Raum transportiert. Eine weitere Folge des hohen Tierbestandes in der Schweiz ist die bereits in diesem Bericht erwähnte Zunahme der Futtermittelimporte. Da die Futternachfrage nicht mehr durch die inländische Futterproduktion gedeckt werden kann, muss Krafffutter importiert werden. In Zukunft muss mit einer Verschärfung dieser Probleme gerechnet werden: die Pouletfleischproduktion hat sich gemäss Aviforum, dem Kompetenzzentrum der Schweizer Geflügelwirtschaft, in den letzten 20 Jahren verdoppelt, Tendenz zunehmend (BAFU 2016).

Aus der Sicht eines nachhaltigen P-Managements wäre es erstrebenswert, wenn die P-Nachfrage vollständig aus einheimischer Futterproduktion gedeckt werden könnte. Dafür müssten Tierbestände und Ackerflächen allerdings in einem besseren Verhältnis zueinander stehen, sowohl mengenmässig als auch räumlich gesehen. Die Folgen für den P-Haushalt wären: weniger Futtermittelimporte, und im Idealfall auch weniger Mineraldüngerimporte. Desweiteren wäre die Folge eines reduzierten Tierbestandes weniger Gülle und Mist und somit weniger P, welches in die Oberflächengewässer gelangt. Denn in Gebieten mit intensiver Viehmast oder vielen offenen Ackerflächen sind einzelne Seen noch immer zu stark mit P belastet (BAFU 2016b).

Im Jahr 2016 wurde in einer weiteren Motion gefordert, bei der Umsetzung der VVEA darauf zu achten, dass der Grundsatz „stoffliche Verwertung zuerst“ beibehalten wird (Schweizerische Bundesversammlung 2016a). Im Zuge der Erarbeitung der VVEA-Vollzugshilfe durch das BAFU, bei welchem eine Liste der in verschiedenen Verwertungsarten zugelassenen organischen Materialien erstellt wird, soll nun beiden Motionen entsprochen werden. Die Verbrennung von Biomasse wird in gewissen Fällen erlaubt, grundsätzlich soll aber weiterhin die Erhaltung des stofflichen Kreislaufs im Vordergrund stehen.

Phosphatverbot in Geschirrspülmitteln:

Mehrfach wurde aus der Politik gefordert, das Phosphatverbot auf Geschirrspülmittel auszuweiten (Schweizer Bundesversammlung 2000, Schweizer Bundesversammlung 2011a). 1984 wurde Phosphat in Textilwaschmitteln aufgrund der starken Überdüngung Schweizer Seen verboten. Geschirrspülmittel waren von diesem Verbot jedoch nicht betroffen, weil erstens gleichwertige Alternativen fehlten und zweitens ihr Einfluss auf den P-Haushalt im Vergleich zu den Textilwaschmitteln als vernachlässigbar eingeschätzt wurde. Daran haben auch die politischen Vorstösse lange nichts geändert. Um mit dem EU-Recht gleichzuziehen gilt nun jedoch seit dem 1. Januar 2017 (nach einer fünfjährigen Übergangsfrist) ein faktisches Phosphatverbot für Geschirrspülmittel, die im Haushalt verwendet werden (< 0.3 Gramm Gesamtphosphor in der Standarddosierung; ChemRRV 2017). Abbildung 20 illustriert die Auswirkungen des faktischen Verbots auf den P-Haushalt in der Schweiz.

Die Auswirkungen auf das Gesamtsystem sind klein: der direkt betroffene Fluss *Reinigungsprodukte* trägt mit 1'140 tP/a nur unwesentlich zum Schweizer P-Haushalt bei. Dies heisst allerdings nicht, dass die Gesetzesänderung aus P-Sicht unbedeutend ist. Der P-Fluss *Reinigungsprodukte* weist eine relativ grosse Unsicherheit auf und wurde seit 2006 lediglich dem Bevölkerungswachstum angepasst. Zudem kann der Einfluss räumlich variieren: beispielsweise hat die Commission internationale pour la protection des eaux du Léman (CIPEL) berechnet, dass Geschirrspülmittel für 11% der Phosphateinträge in den Genfersee verantwortlich sind (CIPEL 2004). Das Ausmass der P-Flussänderungen kann erst in einer nächsten Erhebung der Schweizer P-Flüsse quantifiziert werden. Im Hinblick auf die VVEA-Revision ist zu erwarten, dass das P-Recyclingpotenzial in der Abfallwirtschaft leicht abnehmen wird, da durch das faktische Phosphatverbot weniger P im kommunalen Abwasser und somit in den Kläranlagen landet.

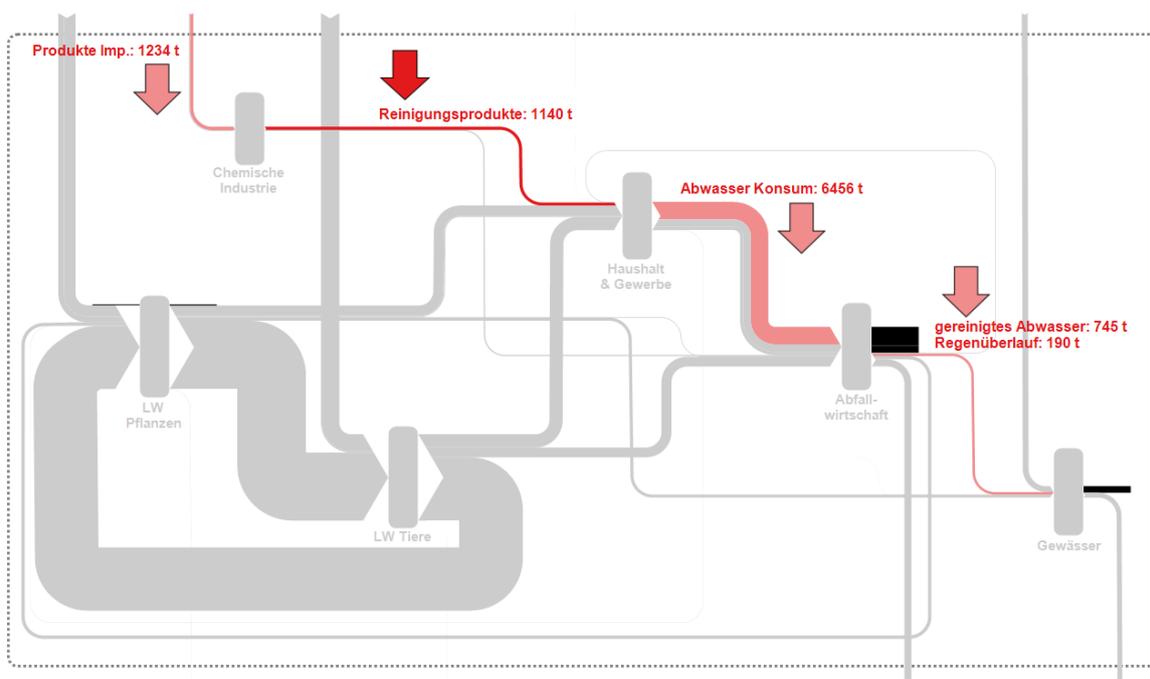


Abbildung 20: Auswirkungen des Phosphatverbots in Geschirrspülmitteln auf das Schweizer P-Fluss-System. Rot hervorgehoben ist der direkt betroffene P-Fluss *Reinigungsprodukte*, rot transparent hervorgehoben sind die ebenfalls betroffenen P-Flüsse. Die Pfeile signalisieren jeweils die erwartete Änderung (Pfeil nach oben = Zunahme des P-Flusses, Pfeil nach unten = Abnahme des P-Flusses).

Neue Futtermittelmärkte:

Eine im Moment in der Schweiz und der EU diskutierte Massnahme, auf den steigenden Futtermittelbedarf zu reagieren, ist die Erschliessung neuer Futtermittel-Märkte. Ins Auge gefasst werden insbesondere Insekten und Algen, welche einen Teil des steigenden Proteinbedarfs decken und so zur Reduktion der Futtermittelimporte beitragen könnten (BLV, pers. Komm.). Der Ständerat hat im Juni 2017 eine Motion angenommen, welche die Zulassung von Insekten als Futtermittel für Speisefische und andere monogastrische Tiere wie Geflügel und Schweine in der Schweiz forderte (Schweizerische Bundesversammlung 2016b). Aus Sicht eines nachhaltigen P-Haushalts kann die Erschliessung solcher Nischenmärkte langfristig von Bedeutung sein. Inwiefern die P-Flüsse davon betroffen wären, müsste im Detail untersucht werden. Zudem müssen Wirtschaftlichkeit, Sicherheit und Akzeptanz aller Beteiligten (Landwirte, Futtermittel-, Schlacht- und Verarbeitungsindustrie, Lebensmitteleinzelhandel und Konsumentinnen) gegeben sein, um die Relevanz dieser Märkte auf lange Sicht zu sichern.

Verwertung von Speiseresten¹²:

Ein weiteres Beispiel, wie der Schweizer P-Haushalt durch geänderte politische und gesetzliche Rahmenbedingungen beeinflusst werden kann, ist die Verwertung von Speiseresten in der Schweiz. Die Verfütterung von Speiseresten an Nutztiere wurde in Europa im Jahr 2006 aufgrund eines Ausbruchs der Maul- und Klauenseuche fünf Jahre zuvor verboten, im Jahr 2011 zog die Schweiz nach. Laut VTNP ist es seither verboten, Speisereste (welche zu den K3-TNP gehören) an Nutztiere zu verfüttern. Somit bleibt für deren Verwertung neben der Entsorgung im Kehricht lediglich die Vergärung und Kompostierung. Da in der Schweiz eine systematische Erfassung von Lebensmittelabfällen fehlt, ist es schwierig, die einzelnen Verwertungswege zu quantifizieren. Laut einer BAFU-Studie ist der Anteil von „food waste“ im Schweizer Kehricht mit 15.2% Gewichtsanteil jedoch nicht unbedeutend (BAFU 2012). Im April 2017 wurde in einem politischen Vorstoss der Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur des Nationalrats gefordert, die bestehenden Gesetzesregulierungen zu vereinfachen, reduzieren und abzubauen, um die Verluste langfristig zu senken (Schweizerische Bundesversammlung 2017). Insbesondere wurden die Einschränkungen bei der Weiterverwertung der Speisereste im Bereich der Tierfütterung genannt. Obwohl der Bundesrat im Moment keinen weiteren Handlungsbedarf sieht, hat der Nationalrat die Motion im Juni angenommen. Eine Anpassung der VTNP in naher Zukunft ist somit zumindest möglich.

Aus Sicht des Schweizer P-Haushalts sind sowohl die Verfütterung von Speiseresten an Nutztiere als auch die Vergärung- bzw. Kompostierung Verwertungswege, welche zur Schliessung der P-Kreisläufe beitragen. Um die Relevanz der Speiseabfälle im P-Gesamtkontext zu bewerten, wäre eine systematische Erfassung der Lebensmittelabfälle nötig. Im Vergleich zu anderen P-Recyclingpotenzialen (KS, Schlachtabfälle) sind die Speisereste jedoch von geringer Bedeutung, zumal mit der Vergärung bzw. Kompostierung bereits heute sinnvolle Verwertungswege möglich sind.

¹² Speisereste gehören zu den Lebensmittelabfällen und sind gemäss VTNP: Küchen- und Speiseabfälle, die aus Einrichtungen stammen, in denen Lebensmittel mit tierischen Bestandteilen für den unmittelbaren Verzehr hergestellt werden, wie private Haushalte, Restaurants, Catering-Einrichtungen und Küchen, einschliesslich Gross- und Haushaltküchen. Speisereste, welche aus den privaten Haushalten stammen und im Abwasser landen (Fluss *Speisereste Abwasser*) sowie im hauseigenen Garten kompostiert werden (Fluss *Speisereste Gartenkompostierung*) sind im P-Flusssystem dieser Studie beinhaltet.

Verwertung von Tierblut aus Schlachtungen:

Im Moment wird das Tierblut aus Schlachtungen in den Faultürmen kommunaler ARAs beige-mischt und vergärt, und die Reste mit dem KS verbrannt. Während Tierblut bei gewöhnlichen Biogasanlagen aufgrund seiner Matrix nicht erwünscht ist, wäre eine Verwendung in Haustier-futter grundsätzlich möglich. Da jedoch keine entsprechenden Verwertungsbetriebe und Fut-termittelproduzenten vorhanden sind, wird dieser Verwertungsweg im Moment in der Schweiz nicht genutzt (BLV, pers. Komm.). Die P-Mengen im co-vergärten Tierblut wurden in dieser Studie aufgrund fehlender Daten nicht erhoben. Es kann jedoch angenommen werden, dass sie im Kontext des Schweizer P-Haushalts eine Rolle spielen (BAFU, pers. Komm., BLV, pers. Komm.). Es wäre aus diesem Grund sinnvoll, die P-Mengen im Tierblut geschlachteter Tiere in der Schweiz zu erheben, um das P-Potenzial ihrer Verwendung in der Futtermittelproduktion prüfen zu können.

Weitere Trends bei der Verwertung von TNP:

Tiermehle aus der Verwertung von K1-TNP werden in der Schweiz im Moment in Zementwer-ken als alternative Brennstoffe verwendet. In letzter Zeit haben sich jedoch vermehrt Absatz-probleme der Tiermehle ergeben, wodurch vereinzelt Exporte ins Auge gefasst werden (BLV, pers. Komm.). Ob dies eine Momentaufnahme oder ein Trend ist, kann noch nicht beurteilt werden. Im Kontext der VVEA-Revision und der damiteinhergehenden P-Recyclingpflicht aus TNP ist dies jedoch interessant: so könnte ein P-Recycling aus Tiermehlen (für Futtermittel oder Dünger) neben der Schliessung des P-Kreislaufs zusätzlich den Absatzproblemen ent-gegenwirken.

Im Jahr 2015 wurden in der Schweiz rund 22'000 t Lebensmittel tierischer Herkunft produziert, welche im Inland mangels Nachfrage nicht verkauft werden können und somit als K3-TNP klassifiziert und exportiert werden (Centravo, pers. Komm.). Solange diese Lebensmittel im Ausland abgesetzt werden können, wird sich an deren Verwertung aber kaum etwas ändern. Eine vermehrte Verwendung im Inland hätte auf den Schweizer P-Haushalt nur sehr geringfü-gige Auswirkungen, da die P-Menge in diesen Lebensmitteln schätzungsweise unter 200 tP beträgt.

5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Schweiz ist Netto-Importeur von P in der Grössenordnung von 10'000 tP/a. Rund drei Viertel aller Importe gelangen in Futtermittel und Mineraldünger in die Schweizer Landwirtschaft, wo sich im fast geschlossenen P-Kreislauf zwischen Tierhaltung und Pflanzenbau die grössten P-Umsätze befinden. Der Schweizer P-Haushalt ist nach wie vor geprägt von einem grossen P-Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft, wo ein bedeutender Teil des P deponiert und im Zement eingebunden wird. Seit der Einführung des Ausbringungsverbots von KS im Jahr 2006 gelangt P lediglich in Form von Grüngütdünger zurück in Landwirtschaft und Gärten.

Der Schweizer P-Haushalt blieb über das letzte Jahrzehnt im Wesentlichen stabil. Während die Mineraldüngerimporte seit 2006 um rund 1'650 tP (-28%) abgenommen haben, wird zunehmend P in Futtermitteln importiert (+600 tP, +11% seit 2006). Das P-Lagerwachstum in den landwirtschaftlichen Böden hat seit 2006, insbesondere aufgrund des effizienteren Düngerauftrags, um knapp 3'000 tP auf 456 tP im Jahr 2015 abgenommen. Ansonsten blieben bedeutende Veränderungen der P-Flüsse in der Schweiz aus.

Das P-Recyclingpotenzial in der Schweiz beträgt rund 13'300 tP, wovon 9'680 tP auf das P-Lagerwachstum in der Abfallwirtschaft (Deponien und Zementwerke) zurückgehen. Mit der VVEA-Revision und der damiteinhergehenden P-Recycling-Pflicht aus KS und Tier- sowie Knochenmehl wurde die gesetzliche Grundlage geschaffen, dieses Potenzial in Zukunft zu nutzen. Wie im Kapitel 4 dieses Berichts aufgezeigt wird, kann auch an anderen Punkten im P-Haushalt angesetzt werden, um a) P in die Landwirtschaft zurückzuführen und b) die P-Nachfrage generell zu reduzieren. Dies vermindert nicht nur die P-Importabhängigkeit der Schweiz, sondern entlastet zusätzlich ARAs und Oberflächengewässer.

In diesem Bericht wurden drei Indikatoren eingeführt, welche die Bewertung des P-Managements in der Schweiz erleichtern sollen. Während die Recycling-zu-Import-Rate seit 2006 relativ konstant bei rund 10% blieb, hat die P-Effizienz Pflanzenbau in der gleichen Zeit um gut 6% zugenommen. Die P-Verluste Abfallwirtschaft sind unverändert hoch (rund 90%), haben aufgrund der zunehmenden Relevanz der stofflichen Verwertung von biogenen Abfällen seit 2011 aber leicht abgenommen.

Bei der Schaffung einer nachhaltigen P-Kreislaufwirtschaft in der Schweiz sind verschiedene Wege möglich. Mit dem gegenwärtigen Abwasser- und Abfallverwertungssystem liegen in der Schweiz die grössten P-Recyclingpotenziale beim KS und beim Tier- und Knochenmehl, welches aus K1-TNP hergestellt wird. Diese Potenziale werden mit der VVEA-Revision angegangen. Ebenso gilt es jedoch, weitere Wege des nachhaltigen Umgangs mit P und der P-Rückführung in die Landwirtschaft zu prüfen und gegebenenfalls durch das Setzen von Anreizen, durch infrastrukturelle Anpassungen und Gesetzesregulierungen zu fördern bzw. zu ermöglichen. In einem nachhaltigen P-Management müssen die verschiedenen P-Verwertungswege gegeneinander abgewogen werden und soll dafür gesorgt werden, dass sich die verschiedenen, teils divergierenden Interessen bestmöglichst ergänzen.

Um den Umbau zu einem nachhaltigen P-Haushalt zu begleiten ist eine regelmässige Erhebung der P-Flüsse in der Schweiz nötig. Dank dem P-Monitoring-Tool ist dies mit relativ geringem Aufwand möglich. Allerdings empfiehlt es sich, das Tool etwa alle 8-10 Jahre der neuen

Datenlage anzupassen und gegebenenfalls neue Daten zu sammeln, wie es im Rahmen dieses Berichts getan wurde. Folgende Datenlücken sollten in einer nächsten Erhebung wenn möglich geschlossen werden:

Chemische Industrie: sämtliche Flüsse der chemischen Industrie basieren auf groben Richtwerten aus der ersten Studie (Binder et al. 2009) und wurden seither lediglich dem Bevölkerungswachstum angepasst. Aufgrund des faktischen Phosphatverbots in Geschirrspülmitteln auf Anfang 2017 werden sich die P-Flüsse in Zukunft jedoch ändern. Es bietet sich an, für eine Erhebung der P-Flüsse in Aussenhandel und Inlandproduktion von Reinigungs- und anderen chemischen Produkten mit den Schweizer Branchenverbänden (Schweizerischer Kosmetik- und Waschmittelverband SKW; scienceindustries) zusammenzuarbeiten.

TNP (Speisereste aus Grossküchen, Tierblut): sowohl Speisereste (pflanzlicher und tierischer Herkunft) aus Grossküchen im Gastrobereich als auch das Blut, welches bei Tierschlachtungen anfällt und zu einem grossen Teil in Faultürmen kommunaler ARAs beigemischt wird sind aufgrund fehlender Daten nicht in den P-Flüssen dieser Studie enthalten, spielen aus P-Sicht im Schweizer Kontext jedoch eine Rolle. Da aufgrund des geänderten BSE-Status in der Schweiz sowieso davon ausgegangen werden kann, dass es im Bereich TNP in Zukunft zu gewissen Mengen- und Verwertungsverschiebungen kommt, wäre es für eine nächste P-Flussanalyse angebracht, diesbezüglich neue Daten zu erheben.

Abschliessend soll gesagt werden: die Realisierung eines nachhaltigen P-Managements in der Schweiz ist ein komplexes Unterfangen, in das eine grosse Bandbreite an Fragestellungen und Interessen involviert ist. Ebenso muss auf sich ständig verändernde Rahmenbedingungen (z.B. was Absatzmärkte betrifft) reagiert werden können. Die Herausforderung besteht zu einem wesentlichen Teil darin, dass die geplanten Massnahmen auch den gewünschten Effekt erreichen. Dabei stellt sich auch die Frage, wie die Systemgrenzen definiert werden: wo kann rein national gedacht werden, und bei welchen Fragestellungen ist es sinnvoll, den ganzen P-Haushalt in einem weiteren, beispielsweise europäischen, Kontext zu betrachten? Basierend auf den wichtigsten Erkenntnissen dieser Studie werden folgende Themen und Forschungsfelder für weitere Analysen vorgeschlagen:

- Ernährung: die menschliche Ernährung hat einen bedeutenden Einfluss auf die P-Nachfrage und somit auf den gesamten P-Haushalt. Ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge ist wichtig, um allfällige Massnahmen prüfen zu können.
- Akzeptanz: P-Recycling bedeutet in der Regel die Schaffung neuer Produkte, wobei sich zentrale Fragen der Akzeptanz und der Absatzmöglichkeiten stellen. Um einen Absatzmarkt (z.B. für Recyclingdünger) schaffen oder erhalten zu können, muss die Akzeptanz auf Seite der Abnehmenden zwingend gegeben sein. Dies stellt in der Schweiz und in Europa eine der zentralen Herausforderungen des P-Recyclings dar.
- Regionalisierung: Struktur der Landwirtschaft, Bevölkerungsdichte sowie Abwassersysteme variieren in der Schweiz räumlich zum Teil stark. Es liegt auf der Hand, dass auch Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit P regional variieren können. In diesem Kontext stösst diese rein nationale Erhebung an ihre Grenzen.

6. Literatur

AWEL 2017: pers. Kommunikation, L. Morf.

Baccini P., Bader H.-P. 1996: Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung. Spektrum Akademischer Verlag.

Baccini P., Brunner P. H. 1991: Metabolism of the Anthroposphere. Analysis, Evaluation, Design. Springer-Verlag.

BAFU 2012: Erhebung der Kehrlichzusammensetzung 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2016: Folgeprobleme des hohen Tierbestandes: Tiermast frisst Landschaft. Dossier. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2017a: Abfallmengen und Recycling 2015 im Überblick. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BAFU 2017b: pers. Kommunikation, D. Hiltbrunner.

BAFU 2017c: pers. Kommunikation, P. Mandaliev.

BAFU (Hrsg.) 2017d: Kommunale Separatsammlung von biogenen Abfällen in der Schweiz, Stand 2016. Bundesamt für Umwelt, Bern.

BFS 2016: Ständige Wohnbevölkerung der Schweiz per Ende 2015. <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/stand-entwicklung/bevoelkerung.html>, Letzter Zugriff: 02.08.2017.

Binder C. R., de Baan L., Wittmer D. 2009: Phosphorflüsse in der Schweiz. Stand, Risiken und Handlungsoptionen. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 0928.

Binder C. R., Jedelhauser M. 2013: Aktualisierung der Phosphorflüsse der Schweiz für das Jahr 2011 im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Endbericht.

BLV 2015a: Statistiken und Berichte Ernährung. Ernährungserhebung menuCH (2014-2017). <https://www.blv.admin.ch/blv/de/home/lebensmittel-und-ernaehrung/publikationen-und-forschung/statistik-und-berichte-ernaehrung.html>, Letzter Zugriff: 03.08.2017.

BLV 2015b: BSE in der Schweiz: Chronologie und Zusammenfassung der Massnahmen. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, Bern.

BLV 2017a: Geniessen und gesund bleiben – Schweizer Ernährungsstrategie 2017-2024. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, Bern.

BLV 2017b: pers. Kommunikation, U. Zimmerli.

BLW 1997: Ökologischer Leistungsnachweis, <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/oekologischer-leistungsnachweis.html>, Letzter Zugriff: 02.08.2017.

Brunner P. H., Rechberger H. 2004: Practical Handbook of Material Flow Analysis. Lewis Publishers.

ChemRRV 2017: Verordnung zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV). Schweizerischer Bundesrat.

Centravo 2017: pers. Kommunikation, P. Züttel.

CIPEL 2004: Enjeux pour le Léman de la Réduction é la Source des Apports de Phosphore Liés aux Détergents à Usage Domestique. Rapp. Comm. int. prot. eaux Léman contre pollut., Campagne 2003, 147-153.

Cordell D., Drangert J.-O., White S. 2009: The story of phosphorus: Global food security and food for thought. In: *Global Environmental Change*, 19:292-305.

Eawag 2017: pers. Kommunikation, B. Etter.

EBP 2017: Beurteilung von Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Ernst Basler + Partner AG, Zollikon.

Hürdler J., Prasuhn V., 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, Zürich.

IFU Hamburg 2016: eSankey – show the flow. <https://www.ifu.com/e-sankey>, Letzter Zugriff: 23.07.2017.

Jedelhauser M., Binder C. R. 2015: Losses and efficiencies of phosphorus on a national level – A comparison of European substance flow analyses. In: *Resources, Conservation and Recycling*, 105:294-310.

Jungbluth N., Itten R., Stucki M. 2012: Umweltbelastungen des privaten Konsums und Reduktionspotenziale. Schlussbericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Kebag 2017: E-Mail Kommunikation, S. Schlumberger.

Kunz M., Schindler Wildhaber Y., Dietzel A. 2016: Zustand der Schweizer Fließgewässer. Ergebnisse der Nationalen Beobachtung Oberflächengewässerqualität (NAWA) 2011-2014. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1620:87 S.

Mandaliev P., Schleiss K. 2016: Kompostier- und Vergärungsanlagen. Erhebung in der Schweiz und in Liechtenstein. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 1602: 32 S.

Metson G., Bennett E., Elster J. 2012: The role of diet in phosphorus demand. In: *Environmental Research Letters*, 7:1-10.

Morf L. 2006: Chemische Zusammensetzung verbrannter Siedlungsabfälle. Untersuchungen im Einzugsgebiet der KVA Thurgau. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 0602.

NADUF 2015: Nationale Daueruntersuchung Fließgewässer (NADUF). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/wasser--messnetze/nationale-beobachtung-oberflaechengewaesserqualitaet--nawa-/nationale-daueruntersuchung-fluessgewaesser--naduf-.html>, Letzter Zugriff: 23.08.2017

SBV 2016: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Schweizerischer Bauernverband, Brugg.

Scholz R. W., Wellmer F.-W. 2013: Approaching a dynamic view on the availability of mineral resource: what we may learn from the case of phosphorus? In: *Global Environmental Change*, 23:11-27.

Schweizer Bundesrat 2015: Erfolg nach 25 Jahren BSE-Bekämpfung. Medienmitteilung. <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-57438.html>,
Letzter Zugriff: 08.08.2017.

Schweizerische Bundesversammlung 2000: Motion 00.3360: Gewässerschutz. Phosphatverbot für Spülmittel. Eingereicht von C. Grobet am 23.06.2000.

Schweizerische Bundesversammlung 2011a: Motion 11.3826: Verbot von Phosphaten in Geschirrspülmitteln. Eingereicht von J.-C. Francine am 26.09.2011.

Schweizerische Bundesversammlung 2011b: Motion 11.4020: Für eine sachgerechte Verwendung von Biomasse-Reststoffen und gegen Technologieverbote. Eingereicht von R. Lustenberger am 30.09.2011.

Schweizerische Bundesversammlung 2016a: Motion 16.3710: Sachgerechte Verwendung von Biomasse. Eingereicht von S. Semadeni am 27.09.2016.

Schweizerische Bundesversammlung 2016b: Motion 16.3712: Insekten als Futtermittel für Speisefische und andere monogastrische Tiere zulassen. Eingereicht von C. Friedl am 27.09.2016.

Schweizerische Bundesversammlung 2017: Mit einer Regulierungsreduktion die Nahrungsmittelverschwendung vermeiden. Eingereicht von der Kommission für Wissenschaft, Bildung und Kultur NR am 28.04.2017.

Thaler S., Zessner M., Weigl M., Rechberger H., Schilling K., Kroiss H. 2015: Possible implications of dietary changes on nutrient fluxes, environment and land use in Austria. In: *Agricultural Systems*, 136:14-29.

TU Wien 2015: STAN 2.5. Version 2.5.1302. Institut für Wasserqualität, Ressourcen und Abfallmanagement, Technische Universität Wien.

VUNA-Projekt 2015: VUNA-Projekt – Nährstoffrückgewinnung aus Urin. Eawag, Dübendorf. <http://www.eawag.ch/de/abteilung/eng/projekte/vuna-naehrstoffrueckgewinnung-aus-urin/>,
Letzter Zugriff: 11.08.2017.

Wu J., Franzén D., Malmström M. 2016: Anthropogenic phosphorus flows under different scenarios for the city of Stockholm, Sweden. In: *Science of the Total Environment*, 542:1094-1105.

7. Anhang 1: Detailbeschreibung der Prozesse und Flüsse

Im Folgenden werden alle neuen Prozesse und Flüsse des P-Flusssystem, sowie diejenigen welche sich seit 2006 in ihrer Definition oder Datengrundlage wesentlich geändert haben, einzeln beschrieben, soweit dies für das Verständnis und die Diskussion der Studie erforderlich ist. Ebenso wird auf noch vorhandene Datenlücken aufmerksam gemacht. Für Einzelbeschreibungen aller anderen Prozesse und Flüsse sei hier auf die BAFU-Studie aus dem Jahr 2009 verwiesen (Binder et al. 2009).

Die Prozess- und Flussnamen sind inklusive Arbeits-Kurzbezeichnung (vgl. STAN) aufgeführt.

Landwirtschaft Tiere

I1, Futter Net Imp. – Aussenhandel von Futter für die Tierhaltung in der Schweiz (Import) bzw. ausserhalb der Schweiz (Export). Berücksichtigt werden Raufutter, Krafffutter, sowie Nebenprodukte von im inland verarbeiteten ausländischer Rohstoffe, vorwiegend aus der Müllereiproduktion (die Güterauswahl erfolgte aufgrund der Futtermittelbilanz des SBV). Die Krafffutter umfassen Futtergetreide, Hülsenfrüchte, Müllereiprodukte, Ölsaaten, Tier- und Fischmehl sowie weitere marktfähige Futtermittel tierischen oder pflanzlichen Ursprungs.

E1, Lebendtiere Net Exp. – Exportüberschuss von lebenden Tieren in Bezug auf die landwirtschaftliche Tierhaltung in der Schweiz gemäss Aussenhandelsstatistik des SBV.

1_A12, Lebendtiere Exp. – Lebende Tiere, die zum Schlachten oder zur Mast im Ausland exportiert werden.

1_A12, Lebendtiere Imp. – Lebende Tiere, die zum Schlachten oder zur Mast in der Schweiz importiert werden.

1_A31, Fittersuppe – Rückstände aus der Verarbeitung tierischer Nahrungsmittel, die nicht für den Verzehr durch den Menschen bestimmt sind und nicht verbrannt oder exportiert werden. Gemäss Auskunft von Branchenvertretern kann vereinfacht ein Anteil von 25% der Menge aller anfallenden Kategorie-3-TNP für diesen Fluss angenommen werden. Dazu gehört unter anderem Tierfett und Geflügel. Es kann damit gerechnet werden, dass aufgrund des geänderten BSE-Status in der Schweiz seit 2015 in Zukunft mehr Material dieser Kategorie anfallen wird.

A13, TNP – Nebenprodukte aus der Verarbeitung tierischer Nahrungsmittel in der Schweiz. Vereinfachend wird nur die Fleischverarbeitung berücksichtigt: Schlachtabfälle der Kategorien 1-3 (gemäss VTNP) aus den Stufen Schlachtereie und Zerlegerei (ausgebeinte Tierknochen, Schlachtabgang, Sehnen und Fettabschnitte), inklusive der Rohstoffe, die gekühlt exportiert und im Ausland zu Futtermittel und Heimtiernahrung verarbeitet werden. Ebenfalls enthalten sind Nebenprodukte, welche dem Lebensmittelstandard in der Schweiz entsprechen, jedoch mangels Nachfrage exportiert werden, sowie Knochen zur Gelatineherstellung im Ausland.

Nicht enthalten sind lebensmitteltaugliche Nebenprodukte, die zu Nahrungsmitteln aufbereitet werden (z.B. Speisefette) sowie Nutztier-, Heimtier- und Versuchstierkadaver. Die Kadaver sind von untergeordneter Bedeutung (ca. 10 % der P-Fracht in TNP (Lamprecht 2004)). Ebenfalls nicht enthalten ist das Blut, welches während den Schlachtungen anfällt und zu einem grossen Teil in Faultürmen kommunaler ARAs beigemischt wird. Alle weiteren TNP (z.B. Lebensmittel- oder Hühnerabfälle) die in Faultürmen kommunaler ARAs co-vergärt werden bleiben ebenfalls unberücksichtigt.

Landwirtschaft Pflanzen

A21, Pflanzliches Futter – Feldfrüchte, die innerhalb der schweizerischen Landwirtschaft im Pflanzenbau gewonnen, teilweise verarbeitet und zur Fütterung in der Tierhaltung eingesetzt werden. Dies schliesst folgende Feldfrüchte ein: Futtergetreide, Hülsenfrüchte, Futterrüben, Grünfutter aus Sömmerungsweiden, Kunstwiesen und Naturwiesen und -weiden, Silo- und Grünmais, Stroh, Kartoffeln. Ebenfalls enthalten sind Nebenprodukte aus Zuckerherstellung, Müllerei und Ölkuchen.

A25, Pflanzliche Abfälle – Pflanzliche Abfälle, die bei der Verarbeitung von Nahrungsmittelrohstoffen in der Nahrungsmittelindustrie anfallen und entweder vergärt oder kompostiert werden. Vereinfacht wurde der gesamte Anteil der biogenen Abfälle aus der Industrie diesem Fluss zugeordnet.

A26, Diffuse Einträge LW – Diffuse P-Einträge in die Schweizer Oberflächengewässer durch Oberflächenabfluss (Abschwemmung und Erosion) und Sickerung (Auswaschung, Drainageverluste) aus landwirtschaftlichen Flächen gemäss Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015. Zu diesen Flächen gehören: Ackerland, alpwirtschaftliche Nutzfläche, Grasland, Heimweiden, Rebbau und Obstbau.

Chemische Industrie

Keine nennenswerten Änderungen. Es kann hier lediglich wiederholt werden, dass die Flüsse in diesem Hauptprozess lediglich auf groben Annahmen beruhen.

Haushalt und Gewerbe

A45_2, Kehricht – Anteil der Siedlungsabfälle aus den privaten Haushalten und aus Industrie und Gewerbe, der nicht verwertet werden kann und deshalb in KVA verbrannt werden muss. Enthalten ist der kommunale Kehricht sowie Siedlungsabfälle aus Industrie und Gewerbe, die direkt an der KVA angeliefert werden. Hinzu kommen importierte Abfälle aus Deutschland, Österreich, Italien und Frankreich, welche vereinfacht vollständig als Siedlungsabfälle angenommen werden. Letztere werden der besseren Übersicht wegen nicht als Im-/Exporte ausgewiesen, sondern dem schweizerischen Kehricht zugeordnet. Nicht im Fluss enthalten sind direkt angelieferte brennbare Bauabfälle, Sonderabfälle und übrige Abfälle. Diese Vereinfachung ist hauptsächlich der Tatsache geschuldet, dass es schwierig ist, P-Konzentrationen dieser Abfallarten zu eruieren. Der in KVA verbrannte KS ist in einem separaten Fluss ausgewiesen.

A45_3, Grüngut – Kompostier- und vergärbare biogene Abfälle aus dem Prozess Konsum, die durch die kommunale Grüngutsammlung den Verwertungsanlagen zur Behandlung zugeführt werden, d.h. Grünabfälle aus den kommunalen Sammeldiensten (inkl. Grünabfälle aus den privaten Hausgärten), aus dem Gartenbau und der Landschaftspflege, aus der Industrie und den öffentlichen Diensten (kommunale Gartenanlagen). Darin eingeschlossen sind die Mengen aus Grossküchen, die der Vergärung zugeführt werden. Lebensmittel- und Speiseabfälle aus den privaten Haushalten welche in den Gärten von Haushalten selbst oder über den Kehricht entsorgt werden sind in diesem Fluss nicht berücksichtigt. Ebenso werden die in grösseren Mengen anfallende Lebensmittel- und Speiseabfälle aus Grossküchen hier vernachlässigt. Fremdstoffe im Grüngut machen ca. 1 %wt. aus und werden vor der Kompostierung bzw. Vergärung entfernt (Edelmann & Schleiss 2001); sie werden ebenfalls vernachlässigt. Der Einfachheit halber wird „Grüngut“ als Sammelbegriff für den oben beschriebenen Anteil biogener Abfälle pflanzlicher Herkunft verwendet.

Berücksichtigt werden Kompostierungs- oder Vergärungsanlagen mit einer Verarbeitungsmenge >100 t/a. Darin eingeschlossen sind Feldrand- und Platzkompostierung, sowie Co-Vergärung, industriell-gewerbliche Vergärung und Sammel- oder Umschlagplätze (Mandaliev & Schleiss 2016). Nicht berücksichtigt sind landwirtschaftliche Vergärungsanlagen, die Hofdünger plus ausschliesslich Material landwirtschaftlicher Herkunft (vom eigenen oder von fremden Betrieben) verwerten, sowie Grünabfälle, welche in den Faultürmen kommunaler ARAs co-vergärt werden. Letztere wurden in der Vergangenheit nicht erhoben, womit weder Zusammensetzung noch Menge bekannt sind. Es kann aber damit gerechnet werden, dass die Rohmenge um die 200'000 Tonnen pro Jahr beträgt. Die Mehrheit dieser Menge ist jedoch von tierischer und nicht von pflanzlicher Herkunft (BAFU, pers. Komm.).

Abfallwirtschaft

Deponie Typ C – Die neue Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA), welche per 1. Januar 2016 die Technische Verordnung über Abfälle (TVA) abgelöst hat, brachte einige Veränderungen der Deponietypen mit sich. Auf Deponien des Typs C (alte Bezeichnung: Reststoffdeponie) werden schwermetallreiche Materialien mit bekannter Zusammensetzung und mit nur geringen organischen Anteilen abgelagert, die weder Gase noch leicht wasserlösliche Stoffe abgeben können. Die Basis und die Flanken der Deponie müssen abgedichtet sein, das Sickerwasser muss gesammelt und nötigenfalls behandelt werden.

Deponie Typ D – Auf Deponien des Typs D (ehemals: Schlackekompartiment der Reaktordeponie) werden Schlacken, sauer gewaschene Filterasche und weitere Abfälle gemäss Anhang 5, Ziffer 4 VVEA abgelagert. Eine kontrollierte Entwässerung und Entgasung ist vorgeschrieben. Alle übrigen Reaktorstoffe werden gemäss VVEA in Deponien des Typs E abgelagert.

E3, TNP Exp. – Nebenprodukte, die bei der Verarbeitung tierischer NM anfallen und als TNP exportiert werden: TNP – TNP in Zementwerke. Dazu gehören rund 75% aller anfallenden K3-TNP: Häute und Felle, die an Gerbereien in Spanien und Italien geliefert werden, sowie Futter

und Geflügel für Heimtiernahrung und Zuchten. Ebenfalls enthalten sind Lebensmittel mit Lebensmittelstandard, welche in der Schweiz keinen Absatz finden sowie Knochen für die Gelatineherstellung im Ausland (Centravo, pers. Komm.).

Gemäss der Verordnungen über die Ein-, Durch- und Ausfuhr von Tieren und Tierprodukten im Verkehr mit den EU-Mitgliedstaaten, Island und Norwegen bzw. im Verkehr mit Drittstaaten sowie der VTNP ist für die Ausfuhr von TNP der Kategorien 1 und 2, sowie bis auf einige Ausnahmen für TNP der Kategorie 3 eine Bewilligung vom BLV nötig. Die Menge der ausgeführten TNP muss dem BLV zudem monatlich gemeldet werden (Schweizerischer Bundesrat 2011).

E7, KS Exp. – Anteil des Klärschlammes, welcher ins Ausland exportiert wird. Die exportierte Menge des KS ging im Vergleich zur letzten Erhebung im Jahr 2012 (3%) leicht zurück und wurde als 2% der Gesamtmenge angenommen (eine genaue Erhebung liegt erst gegen Ende des Jahres vor).

A52_2, Grüngütdünger in LW – Produkte aus der Kompostierung und Vergärung von biogenen Abfällen aus Anlagen mit einer Verarbeitungsmenge >100 t/a, welche in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um flüssiges Gärgut und Gärgülle, sowie Kompost und festes Gärgut.

A54, Grüngütdünger in Gärten – Produkte aus der Kompostierung und Vergärung von biogenen Abfällen aus Anlagen mit einer Verarbeitungsmenge >100 t/a, welche in den Gärten eingesetzt werden, das sind Gartenanlagen von Gärtnereien und privaten Haushalten sowie kommunale Grünanlagen. Dabei handelt es sich vorwiegend um Kompost und festes Gärgut.

A56_2, Regenüberlauf – Abwasser, das aus den kommunalen ARAs aufgrund Kapazitätsüberschreitung ungeklärt bzw. nach Durchlauf eines Auffangbeckens in die Vorfluter geleitet wird. Er entlastet die ARA von überschüssigem, ungeklärtem Abwasser, das durch Regenwasser verdünnt wird. Vielerorts wird der Regenüberlauf vorgeklärt. Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015 weisen für P-Gewässereinträge aus punktuellen Quellen (gereinigtes Abwasser und Regenüberlauf) 896 t P/a aus. Der Anteil des Regenüberlaufs wurde anhand des REZGUS Einzugsgebiets abgeschätzt und beträgt rund 21% aller punktuellen Quellen (Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015).

5_A12_2, KVA-Flugasche saure Wäsche – Anteil der KVA-Flugasche, welcher nach saurer Wäsche zusammen mit der KVA-Schlacke in Deponien des Typs D abgelagert wird. KVA-Flugasche ist eine Mischung der von den Rauchgasen aus dem Feuerraum von KVAs mitgerissenen Asche-, Russ- und Staubpartikel (Rauchgasreinigungsrückstand), die im Staubabscheider (Elektrofilter) aufgefangen werden. Das P in der Flugasche bleibt fast vollständig im gewaschenen Filterkuchen und geht somit zur Deponie (z.B. geht bei der KEBAG 99% des P in den Rückstand). Das hängt aber je nach KVA auch von den Alu und Fe-Gehalten der Aschen ab (Kebag, E-Mail Komm.). Vereinfachend wurde für diese Studie angenommen, dass der gesamte P-Anteil auf die Deponie gelangt.

5_A13, KVA-Flugasche verfestigt – Anteil der KVA-Flugasche, welcher verfestigt und in Deponien des Typs C abgelagert wird. KVA-Flugasche ist eine Mischung der von den Rauchgasen aus dem Feuerraum von KVAs mitgerissenen Asche-, Russ- und Staubpartikel (Rauchgasreinigungsrückstand), die im Staubabscheider (Elektrofilter) aufgefangen werden.

5_A811, TNP in Vergärung – TNP der Kategorien 2 und 3, welche direkt an Schlachthöfen abgeholt und in betriebseigenen Vergärungsanlagen verwertet werden. Da die Centravo AG, grösste Verwerterin von TNP keine eigenen Biogasanlagen besitzt, bewegen sich diese Mengen im einstelligen Prozentbereich im Vergleich zu den Mengen, welche von der Centravo verwertet werden (Centravo, pers. Komm.). Für diese Studie wurde eine Menge von 5% angenommen. Lebensmittel- und Speisereste aus dem Detailhandel und der Gastronomie sind nicht berücksichtigt. Wie bereits beim Fluss *TNP* ist das Blut, welches während den Schlachtungen anfällt und zu einem grossen Teil in Faultürmen kommunaler ARAs beigemischt wird, sowie alle weiteren TNP (z.B. Lebensmittel- oder Hühnerabfälle) die in Faultürmen kommunaler ARAs co-vergärt werden ebenfalls nicht enthalten. Für eine nächste Studie würde es sich lohnen, diese Mengen zu erheben, da angenommen werden kann, dass sie im Gesamtsystem Schweiz eine Rolle spielen.

Gewässer

Das Subsystem Gewässer wurde aufgrund der agroscope-Studie „Abschätzung diffuser Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Gewässer der Schweiz – MODIFFUS 3.0“ (Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015) umfassend neu berechnet. Im Vergleich zu den Erhebungen der Jahre 2006 und 2011 sind diffuse Einträge aus nicht-landwirtschaftlichen Flächen sowie Seezu- und -abflüsse in dieser Studie eingeschlossen.

I8, Diffuse Einträge nicht-LW – Diffuse P-Einträge in die Schweizer Oberflächengewässer durch Oberflächenabfluss (Abschwemmung und Erosion) und Sickerung (Auswaschung, Drainageverluste) aus nicht-landwirtschaftlichen Flächen gemäss Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015. Zu diesen Flächen gehören: Gletscher, Geröll, Sand, Fels, Wald, unproduktive Vegetation und Strassen. Einträge aus Gartenbau und Siedlungsgrün wurden vernachlässigt. Alle diffusen P-Einträge aus nicht-landwirtschaftlichen Flächen sind der Einfachheit halber als Importfluss zusammengefasst.

E6, Abfluss ins Ausland – Natürlicher Abfluss von Flüssen und Bächen ins Ausland (d.b. ohne Grundwasser). Vereinfachend wird hier der natürliche Abfluss ins Ausland gleichgesetzt mit dem Abfluss aus den Flüssen Rhein, Rhone, Inn, Ticino und Doubs an der Stelle, an welcher sie die Schweiz verlassen. Für die Erhebung wurde auf BAFU- und NADUF-Messreihen zurückgegriffen (NADUF 2015).

6_A12, Seezufluss – Natürlicher Zufluss von Fliessgewässern in die Seen, die vollständig in der Schweiz liegen. Für die Bestimmung dieses Flusses wurden die P-Einträge im Rheinein-

zugsgebiet unterhalb der grossen Seen (REZGUS) von den gesamtschweizerischen P-Einträgen abgezogen. Mithilfe des Nährstoffaustrags aus den grossen Seen kann die P-Lagerzunahme der schweizer Seen abgeschätzt werden (gemäss Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015).

6_A21, *Seeabfluss* – Natürlicher Abfluss von Fließgewässern aus den Seen, die vollständig in der Schweiz liegen. Dies entspricht dem Nährstoffaustrag aus den grossen Seen (vgl. REZGUS) (gemäss Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015).

8. Anhang 2: Datenbasis der P-Flüsse

Im Folgenden (Tabelle 15) werden die Daten präsentiert, die als Parameter im Modell «P-Haushalt der Schweiz» verwendet werden. Die Datenunsicherheiten wurden im Allgemeinen auf Basis der Datenquelle empirisch abgeschätzt, in der Regel über eine Abschätzung der relativen Unsicherheit (für weitere Informationen siehe Binder et al. 2009).

Bei den Datenquellen wird, jeweils durch den passenden Buchstaben gekennzeichnet, unterschieden zwischen: (G) Güterfluss, (cP) P-Konzentration, (P) P-Fluss. Wenn lediglich ein P-Fluss-Wert angegeben ist, wurde dieser direkt bzw. ohne Rückschlüsse auf Gütermenge und P-Konzentration berechnet.

Tabelle 15: Datenbasis der P-Flüsse dieser Studie. In der Spalte Datenquellen wird unterschieden zwischen: (G) Güterfluss, (cP) P-Konzentration und (P) P-Fluss.

Flussname	Güterfluss (1000t)			P-Konz. (g/kg)			P-Fluss (t)			Datenquelle(n)
Importe										
Futter Net Imp.				5.31	+/-	0.53	6'241	+/-	698	(P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
tierische NM Net Imp.							507	+/-	57	(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
Mineraldünger Imp.							4'229	+/-	127	(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
pflanzliche NM Net Imp.							2'146	+/-	240	(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
Chemikalien Net Imp.										keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
Produkte Net Imp.										keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
Niederschlag Siedlungen	573'000	+/-	286'500	4E-5	+/-	4E-5	23	+/-	8	gemäss Binder et al. 2009
Diffuse Einträge nicht-LW							2'224	+/-	445	(P) Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015
Exporte										
Lebendtiere Net Exp.							4	+/-	0.4	(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
Holz & Papier Net Exp.	1'103	+/-	165	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Flugasche Exp.	29	+/-	3	6.48	+/-	0.19				(G) BAFU 2017a (cP) gemäss Binder et al. 2009
TNP Exp.	156	+/-	31	15.03	+/-	3.01	2'290	+/-	572	(G) Centravo 2017 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
KS Exp.	6	+/-	0	27.22	+/-	5.00				(G) eigene Annahme (cP) gemäss Binder et al. 2009, verifiziert durch Werte der Kantone Zürich (AWEL) und Wallis (T. Pralong)
Abfluss ins Ausland				4E-5	+/-	4E-5	1'748	+/-	262	(P) Hydrodaten Schweiz 2015 (cP) NADUF, Mittelwert 2012-2015
Systeminterne Flüsse Gesamtsystem										
Hofdünger							22'890	+/-	3'434	(P) SBV 2016, Berechnung durch Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART)
tierische NM	2'695	+/-	135	1.92	+/-	0.19	5'188	+/-	580	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
TNP	282	+/-	56	12.47	+/-	2.49	3'515	+/-	778	(G,P) Centravo 2017 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel

Ausschwemm. Exkremente						20	+/-	10	gemäss Binder et al. 2009	
pflanzliches Futter			3.35	+/-	0.33	25'681	+/-	3'546	(P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel (neue Angaben von E. Spiess)	
Mineraldünger in Gärten						180	+/-	24	gemäss Binder et al. 2009	
pflanzliche NM	4'279	+/-	214	0.96	+/-	0.10	4'089	+/-	457	(P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
Holz & Papier ¹	5'370	+/-	951	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
pflanzliche Abfälle	260	+/-	26	0.87	+/-	0.09				(G) Mandaliev & Schleiss 2016 (cP) gemäss Binder et al. 2009
Diffuse Einträge LW						1'149	+/-	172		(P) Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015
Reinigungsprodukte						1'143	+/-	37		gemäss Binder et al. 2009, Anpassung ans Bevölkerungswachstum
Abwasser Industrie						850	+/-	425		gemäss Binder et al. 2009
Altpapier	1'059	+/-	21	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Abwasser H&G										keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
Kehricht	2'850	+/-	143	0.67	+/-	0.11				(G) BAFU 2017a (cP) Morf 2006
Grüngut	996	+/-	50	1.13	+/-	0.11				(G) Mandaliev & Schleiss 2016 (cP) gemäss Binder et al. 2009
Klärschlamm in LW	0	+/-	0				0	+/-	0	-
Grüngutdünger in LW						1'220	+/-	61		(P) Anteil gemäss Mandaliev & Schleiss 2016, Berechnung aufgrund Vorläuferflüssen
Grüngutdünger in Gärten						199	+/-	10		(P) Anteil gemäss Mandaliev & Schleiss 2016, Berechnung aufgrund Vorläuferflüssen
Abfluss ARA ²						896	+/-	179		(P) Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015; Anteil Regenüberlauf aufgr. REZGUS
Subsysteminterne Flüsse <i>Landwirtschaft Tiere</i>										
Lebendtiere Exp.						52	+/-	6		(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
Schlachttiere	672	+/-	20	6.64	+/-	0.66	4'996	+/-	522	(G,P) SBV 2016, Schlachtgewicht in Lebendgewicht umgerechnet (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel

Milch & Eier	3'576	+/-	107	0.94	+/-	0.09	3'347	+/-	349	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
Lebendtiere Imp.							48	+/-	5	(P) SBV 2016, eigene Berechnungen
Futtersuppe	28	+/-	7	2.96	+/-	0.74	84	+/-	21	(G,P) Centravo 2017 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
tierische NM Inland	2'857	+/-	143	1.64	+/-	0.16	4'694	+/-	525	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
Subsysteminterne Flüsse <i>Landwirtschaft Pflanzen</i>										
pflanzliche NM Inland	1'887	+/-	94	1.02	+/-	0.10	1'916	+/-	214	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
pflanzliche NM Imp.	3'087	+/-	154	0.88	+/-	0.09	2'715	+/-	304	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
pflanzliche NM Exp.	587	+/-	29	0.97	+/-	0.10	569	+/-	64	(G,P) SBV 2016 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
Nutzholz	5'515	+/-	827	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Holz Imp.	1'352	+/-	203	0.08	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Papier & -rohstoffe Imp.	1'787	+/-	268	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Holz Exp.	2'530	+/-	379	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Papierrohstoffe	1'004	+/-	151	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Papier & -rohstoffe Exp.	1'712	+/-	257	0.06	+/-	0.01				gemäss Binder et al. 2009
Subsysteminterne Flüsse <i>Chemische Industrie</i>										
Chemikalien Exp.							0	+/-	0	(P) nicht bestimmt
Produkte Exp.							100	+/-	50	gemäss Binder et al. 2009, Unsicherheit auf 50% erhöht
Chemikalien Imp.							360	+/-	180	gemäss Binder et al. 2009, Unsicherheit auf 50% erhöht
Produkte Imp.										keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
Subsysteminterne Flüsse <i>Haushalt und Gewerbe (H&G)</i>										
Speisereste Gartenkompostierung							29	+/-	15	gemäss Binder et al. 2009, Anpassung ans Bevölkerungswachstum
Fäkalien							1'842	+/-	276	gemäss Binder et al. 2009, Anpassung ans Bevölkerungswachstum
Urin							3'275	+/-	491	gemäss Binder et al. 2009, Anpassung ans Bevölkerungswachstum

Speisereste Abwasser				29	+/-	15	gemäß Binder et al. 2009, Anpassung ans Bevölkerungswachstum
Altpapier in Kehricht	248	+/-	5	0.06	+/-	0.01	(G) BAFU 2017a (cP) gemäß Binder et al. 2009
Holzasche in Kehricht	17	+/-	4	10.00	+/-	5.00	gemäß Binder et al. 2009
Holzasche in Gärten	13	+/-	3	10.00	+/-	5.00	gemäß Binder et al. 2009
Gartenabfall extern	353	+/-	17	1.13	+/-	0.11	(G) Mandaliev & Schleiss 2016 (cP) gemäß Binder et al. 2009
Subsysteminterne Flüsse <i>Abfallwirtschaft</i>							
Kompost				3.30	+/-	1.40	keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
Gärgut	132	+/-	13	3.90	+/-	1.80	gemäß Binder et al. 2009
Presswasser	38	+/-	4	6.00	+/-	0.60	gemäß Binder et al. 2009
KVA-Schlacke	746	+/-	37	4.88	+/-	0.52	(G) BAFU 2017a (cP) Morf 2006
KVA-Flugasche saure Wäsche	48	+/-	2	6.48	+/-	0.19	(G) BAFU 2017a (cP) Morf 2006
KVA-Flugasche verfestigt	18	+/-	1	6.48	+/-	0.19	(G) BAFU 2017a (cP) Morf 2006
Rohabwasser	1'818'648	+/-	181'865	5E-3	+/-	4E-3	(G) eigene Berechnungen aufgrund Daten von Max Maurer 2017 (cP) Daten von Max Maurer 2017
KS in KVA	34	+/-	2	27.00	+/-	5.00	(G) BAFU 2017b, AWEL 2017 (cP) gemäß Binder et al. 2009, verifiziert durch Werte der Kantone Zürich (AWEL) und Wallis (T. Pralong)
KS in MV	104	+/-	5	27.00	+/-	5.00	(G) BAFU 2017b, AWEL 2017 (cP) gemäß Binder et al. 2009, verifiziert durch Werte der Kantone Zürich (AWEL) und Wallis (T. Pralong)
KS in Zementwerke	51	+/-	3	27.00	+/-	5.00	(G) BAFU 2017b, AWEL 2017, Cemsuisse 2016 (Jahresbericht) (cP) gemäß Binder et al. 2009, verifiziert durch Werte der Kantone Zürich (AWEL) und Wallis (T. Pralong)
KS-MV-Schlacke	43	+/-	2	63.50	+/-	6.35	(G) Anpassung aufgrund AWEL 2017 (cP) gemäß S. Nanzer

KS-MV-Flugasche				6.48	+/-	0.19				keine Eingabewerte im Modell, Berechnung aufgrund Massenbilanz
TNP in Zementwerke	36	+/-	9	32.50	+/-	8.13	1'163	+/-	174	(G,P) Centravo 2017 (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
TNP in Vergärung	16	+/-	8	4.00	+/-	2.00	63	+/-	31	(G,P) Centravo 2017, eigene Annahme (cP) eigene Berechnungen, gew. Mittel
biog. Abfälle Kompostierung	628	+/-	31	1.10	+/-	0.09				(G) Mandaliev & Schleiss 2016 (cP) gemäss W. Obrist
biog. Abfälle Vergärung	628	+/-	31	1.10	+/-	0.09				(G) Mandaliev & Schleiss 2016 (cP) gemäss W. Obrist
Subsysteminterne Flüsse Gewässer										
Seezufluss							2'663	+/-	533	(P) Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015
Seeabfluss							346	+/-	69	(P) Hürdler, Prasuhn & Spiess 2015

¹ im Fluss *Holz & Papier* sind die Flüsse *Energieholz*, *Holzgüter* und *Papier* zusammengefasst

² im Fluss *Abfluss ARA* sind die Flüsse *gereinigtes Abwasser* und *Regenüberlauf* zusammengefasst

9. Anhang 3: P-Monitoring Tool

Tabelle 16: Liste der need-to-have-Daten und ihrer Quellen.

Need-to-have	Quelle
Futterproduktion	
Verwendbare Produktion	
Sömmerungsweiden	SBV 2016
Kunstwiesen	SBV 2016
Zwischenfutter	SBV 2016
Naturwiesen und –weiden	SBV 2016
Silo- und Grünmais	SBV 2016
Stroh (frische Substanz)	SBV 2016
Bevölkerung und Tierbestände	
Schlachttiere	
Stiere	SBV 2016
Kühe	SBV 2016
Kälber	SBV 2016
Schweine	SBV 2016
Geflügel	SBV 2016
Bevölkerung der Schweiz	
ständige Wohnbevölkerung	BFS 2016
Futtermittel	
Inland Produktion im engeren Sinn	
Weizen, Roggen Dinkel, Mischel	SBV 2016
Futtergerste	SBV 2016
Futtermais	SBV 2016
Müllerei	SBV 2016
Ölherstellung (Ölkuchen)	SBV 2016
Nebenprodukte von im Inland verarbeiteten ausländischen Nahrungsmitteln	
Müllerei	SBV 2016
Verwendung aus Importen: Kraftfutter	
Weizen	SBV 2016
Futtergerste	SBV 2016
Futtermais	SBV 2016
Ölherstellung (Ölkuchen)	SBV 2016
Futtermittel tierischen Ursprungs	SBV 2016
Übrige Kraftfutter	SBV 2016
Verwendung aus Importen: Raufutter	
Mehrjähriger Futterbau	SBV 2016
Düngemittel	
Verwendung aus verfügbaren Düngemitteln	
Mineraldünger	SBV 2016
Hofdünger	SBV 2016
Landwirtschaftliche Produkte	
Milch & Eier (Produktion)	
Vermarktete Milch + Haushaltmilch	SBV 2016
Tierische Nahrung	
Fleisch, Verbrauch total	SBV 2016
Milch, Verbrauch total	SBV 2016
Fleisch, Inlandproduktion	SBV 2016
Milch, Inlandproduktion	SBV 2016
Fleisch, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Milch, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016

Pflanzliche Nahrung	
Getreide, Verbrauch total	SBV 2016
Zucker, Verbrauch total	SBV 2016
Hülsenfrüchte + Nüsse, Verbrauch total	SBV 2016
Getreide, Inlandproduktion	SBV 2016
Zucker, Inlandproduktion	SBV 2016
Hülsenfrüchte + Nüsse, Inlandproduktion	SBV 2016
Getreide, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Zucker, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Hülsenfrüchte + Nüsse, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Abfallstoffe	
Klärschlammverwendung	
Total Klärschlammmenge in CH	BAFU 2017b, AWEL 2017
Landwirtschaft	BAFU 2017b
Industrielle Feuerungen (SVA und andere, Monoverbrennung)	BAFU 2017b, AWEL 2017
KVA Kehrichtverbrennungsanlage	BAFU 2017b, AWEL 2017
ZW Zementwerk	BAFU 2017b, AWEL 2017
Deponie	BAFU 2017b
Export	BAFU 2017b
Klärschlammrecycling	
Rückführungsrate Klärschlamm aus MV-Anlage	BAFU 2017b
Verwendung tierische Nebenprodukte	
Total Menge tierische Nebenprodukte	Centravo 2017
Schlachtnebenprodukte Kat. 1	Centravo 2017
Schlachtnebenprodukte Kat. 3	Centravo 2017
Lebensmittel (ohne Knochen)	Centravo 2017
Gelatineknochen	Centravo 2017
Abfallmenge	
Verbrannte Siedlungsabfälle (inkl. Importe)	BAFU 2017a

Tabelle 17: Liste der nice-to-have-Daten und ihrer Quellen.

Nice-to-have	Quelle
Bevölkerung und Tierbestände	
Schlachttiere	
Ochsen	SBV 2016
Rinder	SBV 2016
Schafe	SBV 2016
Ziegen	SBV 2016
Pferde	SBV 2016
Kaninchen	SBV 2016
Wild (Zuchtwild und Wildbret)	SBV 2016
Organteile	SBV 2016
Tierbestand	
Pferde	SBV 2016
Rindvieh (ohne Kühe)	SBV 2016
Kühe	SBV 2016
Schweine	SBV 2016
Schafe	SBV 2016
Ziegen	SBV 2016
Geflügel allgemein	SBV 2016
Lege- und Zuchthennen	SBV 2016
Kaninchen	SBV 2016
Futtermittel	
Inland Produktion im engeren Sinn	
Futterhafer	SBV 2016
Getrocknete Hülsenfrüchte (Körner)	SBV 2016
Zuckerherstellung	SBV 2016
Trockenkartoffeln	k.A.
Magermilch- und Schottenpulver	k.A.
Futterhefe	k.A.
Knochen- und Fleischmehl, Fette	k.A.
Nebenprodukte von im Inland verarbeiteten ausländischen Nahrungsmitteln	
Andere Produkte pflanzlichen Ursprungs	SBV 2016
Ölherstellung (Ölkuchen)	SBV 2016
Verwendung aus Importen: Kraftfutter	
Roggen	SBV 2016
Hafer	SBV 2016
Reis (Bruch-)	SBV 2016
anderes Getreide	SBV 2016
Getrocknete Hülsenfrüchte (Körner)	SBV 2016
Müllerei	SBV 2016
Verwendung aus Importen: Anderes	
Brauerei	SBV 2016
Zuckerherstellung	SBV 2016
Andere Nebenerzeugnisse	SBV 2016
Hackfrüchte	SBV 2016
Übrige Futtermittel	SBV 2016

Landwirtschaftliche Produkte	
<i>Milch & Eier (Produktion)</i>	
Eier (ohne Bruteier)	SBV 2016
Honig (verwendbare Produktion)	SBV 2016
<i>Tierische Nahrung</i>	
Eier, Verbrauch total	SBV 2016
Fische, Verbrauch total	SBV 2016
Tierische Fette, Total	SBV 2016
Eier, Inlandproduktion	SBV 2016
Fische, Inlandproduktion	SBV 2016
Tierische Fette, Inlandproduktion	SBV 2016
Eier, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Fische, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Tierische Fette, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
<i>Pflanzliche Nahrung</i>	
Kartoffeln usw. + Stärken, Verbrauch total	SBV 2016
Gemüse, Verbrauch total	SBV 2016
Früchte, Verbrauch total	SBV 2016
Pflanzliche Fette, Verbrauch total	SBV 2016
Akoholhaltige Getränke, Verbrauch total	SBV 2016
Kartoffeln usw. + Stärken, Inlandproduktion	SBV 2016
Gemüse, Inlandproduktion	SBV 2016
Früchte, Inlandproduktion	SBV 2016
Pflanzliche Fette, Inlandproduktion	SBV 2016
Akoholhaltige Getränke, Inlandproduktion	SBV 2016
Kartoffeln usw. + Stärken, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Gemüse, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Früchte, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Pflanzliche Fette, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Akoholhaltige Getränke, Ein- und Ausfuhr	SBV 2016
Abfallstoffe	
<i>Verwendung tierische Abfälle</i>	
Schlachtnebenprodukte Kat. 2	Centravo 2017
<i>Abfallmenge</i>	
Grüngut Separatsammlung (ohne Industrie)	Mandaliev & Schleiss 2016
Altpapier, total	BAFU 2017a
Biogene Abfälle aus Gartenbau und Landschaftspflege	Mandaliev & Schleiss 2016
Biogene Abfälle aus Industrie	Mandaliev & Schleiss 2016

Anhang 4: Szenarien

Tabelle 18: Zusammenfassung der Annahmen im Rahmen der Szenarien (Kapitel 4.1). (G) steht für Güterfluss, (cP) für P-Konzentration.

Flussname	Annahme	Quelle
1. Gesunde und ausgewogene Ernährung		
tierische NM Net Imp.	bleibt unverändert	eigene Annahme
pflanzliche NM Net Imp.	bleibt unverändert	eigene Annahme
Lebendtiere Net Imp.	bleibt unverändert	eigene Annahme
tierische NM	angepasst aufgrund NM-Faktoren	BLV 2015a
pflanzliche NM	angepasst aufgrund NM-Faktoren	BLV 2015a
Hofdünger	angepasst aufgrund NM-Faktoren BLV 2015a (0.32 für Masttiere, 1.5 für Milchtiere) und Nutztierbestand SBV (Tabellen 3.4 und 3.7)	BLV 2015a, SBV 2016
pflanzliches Futter	angepasst aufgrund Hofdüngeranfall: $pfl. Futter neu = pfl. Futter alt * \frac{Hofdünger neu}{Hofdünger alt}$	eigene Annahme
Grüngut	angepasst aufgrund pflanzlichen NM: $Grüngut neu = Grüngut alt * \frac{pfl. NM neu}{pfl. NM alt}$	eigene Annahme
Speisereste	bleibt unverändert	eigene Annahme
Urin & Fäkalien	angepasst aufgrund totalen NM: $U \& F neu = U \& F alt * \frac{tot NM neu}{tot NM alt}$	eigene Annahme
diffuse Einträge LW	angepasst aufgrund Hofdüngeranfall: $diff. Eintr. neu = diff. Eintr. alt * \frac{Hofdünger neu}{Hofdünger alt}$	eigene Annahme
KS-Flüsse	bleiben unverändert	eigene Annahme
Prozess KVA	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Abfluss ARA	bleibt unverändert	eigene Annahme
Lager Pflanzenproduktion	bleibt unverändert	eigene Annahme
2. Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins		
Urin	$Urin neu = Urin alt * 0.8$	Eawag, pers. Komm.
Recyclingdünger in LW	Neuer Fluss: $Recyclingdünger in LW = Urin alt * 0.2$	Eawag, pers. Komm.
Prozess Tierhaltung	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Prozess ARA	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Lager Pflanzenproduktion	bleibt unverändert	eigene Annahme
3. Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht		
Kehricht	(G): $0.83 * Kehricht alt$ (cP): angepasst aufgrund neuer Gütermenge und totalem P-Gehalt der Flüsse Kehricht und Grüngut	BAFU 2012
Grüngut	(G): $Grüngut alt + (Kehricht alt - Kehricht neu)$ (cP): bleibt unverändert	BAFU 2012, eigene Annahme
Prozess Tierhaltung	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme

Prozess KVA	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Prozesse Biogene Abfälle	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Lager Pflanzenproduktion	bleibt unverändert	eigene Annahme
4. Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%		
TNP	angepasst aufgrund Verschiebung K1- und K3-Material ($((G)K1_{neu} = (G)K1_{alt} - (0.1 * (G)K3_{alt}))$)	BLV, pers. Komm., eigene Annahme
Futtersuppe	angepasst aufgrund Verschiebung K1- und K3-Material, gesamtes K3-Material als Futtersuppe angenommen	BLV, pers. Komm., eigene Annahme
TNP in Zementwerke	angepasst aufgrund Verschiebung K1- und K3-Material	BLV, pers. Komm., eigene Annahme
TNP Exp.	angepasst aufgrund Verschiebung K1- und K3-Material, kein K3-Material im Export	BLV, pers. Komm., eigene Annahme
Prozess Tierhaltung	Transferkoeffizienten unverändert	eigene Annahme
Lager Pflanzenproduktion	bleibt unverändert	eigene Annahme

Tabelle 19: Absolute (in tP) und relative (in %) Änderungen der im jeweiligen Szenario hauptbetroffenen P-Flüsse, aufgeteilt nach Szenario.

Flussname	P-Fluss status quo [tP/a]	P-Fluss Szenario [tP/a]	Absolute Abw. [tP/a]	Relative Abw. [%]
1. Gesunde und ausgewogene Ernährung				
pflanzliche NM	3'751	4'697	946	25
tierische NM	4'883	4'313	-570	-12
Futter Net Imp.	6'222	3'150	-3'072	-49
pflanzliches Futter	25'187	21'203	-3'984	-16
Hofdünger	23'353	18'899	-4'454	-19
Mineraldünger Imp.	4'229	5'110	881	21
TNP	3'651	1'613	-2'038	-56
diffuse Einträge LW	1'136	939	-197	-17
Grüngut	1'151	1'529	378	33
TNP Exp.	2'418	1'214	-1'204	-50
Lagerwachstum ZW	2'746	1'938	-808	-29
2. Separation von 20% des in der Schweiz anfallenden Urins				
Urin	3'386	2'712	-674	-20
Recyclingdünger in LW	-	655	655	100
Abwasser H&G	6'456	5'792	-664	-10
Mineraldünger Imp.	4'229	3'591	-638	-15
Abfluss ARA	934	829	-105	-11
Lagerwachstum Abfallw.	9'690	9'244	-446	-5
3. Keine Rüst- und Gartenabfälle im Kehricht				
Kehricht	2'780	2'209	-571	-21
Grüngut	1'151	1'714	563	49

Grüngutdünger in LW	1'237	1'720	483	39
Grüngutdünger in Gärten	198	275	77	39
Mineraldünger Imp.	4'229	3'714	-515	-12
Lagerwachstum Abfallw.	9'690	9'130	-560	-6

4. Konsequente Verwendung von K3-TNP als Tierfutter bei gleichzeitiger Zunahme des K3-Materials um 10%

Futtersuppe	84	1'766	1'682	2002
TNP	3'651	1'992	-1'662	-45
Futter Net Imp.	6'222	4'549	-1'673	-27
TNP Exp.	2'418	862	-1'559	-64
Lagerwachstum ZW	2'746	2'641	-105	-4