



# Endbericht Phosphorbilanz Österreich

Grundlage für ein nachhaltiges Phosphormanagement  
– gegenwärtige Situation und zukünftige Entwicklung

## Phosphorbilanz Österreich





## Nachhaltig für Natur und Mensch / *Sustainable for nature and mankind*

### Lebensqualität / *Quality of life*

Wir schaffen und sichern die Voraussetzungen für eine hohe Qualität des Lebens in Österreich / *We create and we assure the requirements for a high quality of life in Austria*

### Lebensgrundlagen / *Bases of life*

Wir stehen für versorgende Verwaltung und verantwortungsvolle Nutzung der Lebensgrundlagen Boden, Wasser, Luft, Energie und biologische Vielfalt. / *We stand for a preventive conservation as well as responsible use of soil, water, air, energy and bioversity*

### Lebensraum / *Living environment*

Wir setzen uns für eine umweltgerechte Entwicklung und den Schutz der Lebensräume in Stadt und Land ein. / *We support environmentally friendly development and the protection of living environments in urban and rural areas.*

### Lebensmittel / *Food*

Wir sorgen für die nachhaltige Produktion insbesondere sicherer und hochwertiger Lebensmittel und nachwachsender Rohstoffe. / *We ensure sustainable production in particular of safe and high-quality food as well as renewable resources*

#### Impressum

##### Medieninhaber, Herausgeber, Copyright:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft,  
Sektion VII Wasser  
Marxergasse 2, 1030 Wien

Alle Rechte vorbehalten

#### Gesamtkoordination:

##### AutorInnen:

DI Lukas Egle  
Univ.Prof. DI. Dr.techn. Helmut Rechberger  
Ao.Univ.Prof. DI Dr.techn. Matthias Zessner

Wien, Februar 2014

##### Layout:

ZS communication + art GmbH

##### Bildnachweis, Produktion und Druck:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

**Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier mit Pflanzenfarben.**

## Kurzfassung

Zur Quantifizierung sämtlicher Phosphorflüsse nach, von und in Österreich sollte eine hochaufgelöste Phosphorbilanz erstellt werden. Grundlage ist ein System, dass ausgehend von den produzierenden Prozessen Landwirtschaft und Forstwirtschaft aus

- den verarbeitenden Prozessen Nahrungsmittel- und chemische Industrie,
- den Konsumenten (Haushalt),
- der Abwasser- und Abfallwirtschaft und
- den Gewässern aufbaut ist.

Dieses umfassende System ermöglicht eine analytische Betrachtung der Phosphorflüsse von der Herstellung eines Gutes zum entstehenden Abfallprodukt. Mit dem Freeware Programm STAN wurde ein dafür geeignetes Werkzeug zur Berechnung und Darstellung der Phosphorflüsse eingesetzt. Zudem konnten mit diesem Programm Unsicherheiten von Flüssen berücksichtigt werden. Die Darstellung kurzfristige Schwankungen von Phosphorflüssen (z.B. Mineraldüngerimport) wurden durch Verwendung von Durchschnittswerten eines Beobachtungszeitraumes von 2004–2008 vermieden. Besonderes Augenmerk galt den Prozessen Abwasser- und Abfallwirtschaft. Diese beiden Prozesse wurden mit Subprozessen abgebildet und ermöglichten die Darstellung aller Behandlungs- und Verwertungsprozesse der phosphorhaltigen Abwasser- und Abfallflüsse. Anhand der Gesamtbilanz und der detaillierten Darstellung der Abwasser- und Abfallwirtschaftsprozesse konnte die mögliche Bedeutung von Technologien zur P-Rückgewinnung aus dem Abwasser dargestellt werden. Die Bilanz zeigt eine jährliche Importmenge an Phosphor nach Österreich von 70.000 t. Dominiert wird der P-Import von Rohphosphaten bzw. Mineraldüngern (48.000 t/a), wobei ein Großteil als Mineraldünger wieder exportiert wird (32.000 t/a). Es folgen die Importe in Nahrungs- und Futtermittel, Fließgewässer, Chemikalien, Holz und Papier, Deposition und Lebewesen. 52.000 t P werden durch handelsfähige Mineraldünger, Fließgewässer, Nahrungs- und Futtermittel, Tiermehle, Chemikalien, Holz und Papier und Lebewesen exportiert. Somit wuchs das Phosphorlager in Österreich im Zeitraum 2004 bis 2008 jährlich im Durchschnitt um 18.000 t an. Das entspricht ungefähr jener Menge, die jährlich an Mineraldüngern verbraucht wird. Mit 8.700 t/a ist die Abfallwirtschaft (Deponie) die größte Senke für Phosphor, noch vor den landwirtschaftlichen Böden (4.400 t/a) und den Haushalten (2.300 t/a). Im kommunalen und industriellen Abwasser sind rund 7.800 t P enthalten. Davon werden 6.600 t P in den kommunalen Klärschlamm transferiert. Diese Fracht entspricht etwa 40% der jährlich in der Landwirtschaft eingesetzten Mineraldüngermenge. Zusammen mit den tierischen Abfällen (5.500 t P/a) entspricht dies einem theoretischen Substitutionspotential von 75% bezogen auf die eingesetzte Mineraldüngermenge. Tatsächlich gelangt nur ein kleiner Anteil der P-Fracht aus dem Klärschlamm über direkte landwirtschaftliche Verwertung zurück in die Landwirtschaft (16%). Transformiert als Kompost gelangt zusätzlich ein Teil des Klärschlammes in die Landwirtschaft. Eine genaue Abschätzung ist nicht möglich. Ein Szenario mit Verbrennung von 100% des Klärschlammes und des Tiermehles und anschließendes Rückgewinnungsverfahren zur Sekundärdüngerherstellung zeigt, dass der Import von Mineraldüngern bei unverändertem P-Einsatz in der Landwirtschaft auf 6.000 t P reduziert werden könnte (- 60%).

Diese Bilanz verdeutlicht, dass die gegenwärtigen Strategien der Klärschlamm- und Tiermehlbehandlung nicht auf den Schutz der Ressource Phosphor abgestimmt sind. Ein Großteil des anfallenden Tiermehls und rund 50% des Klärschlammes werden verbrannt. Somit steht der Ertrag an Energie bzw. die gesicherte Entsorgung im Vordergrund. Die Bilanz verdeutlicht aber das große Phosphorpotential einiger weniger Abfallströme in Österreich. Diese Ströme sollten durch Lenkungsgesetze sinnvoll gesteuert werden, mit dem Ziel ein nachhaltiges nationales Phosphormanagement zu erreichen.

## Abstract

A detailed phosphorus balance was developed to quantify all phosphorus (P) flows to, from and in Austria. The system considers

- producing processes in agriculture and forestry
- food processing industry and chemical industry
- consumption (households)
- waste water and waste management and
- water bodies.

This approach enables an analytical examination of the phosphorus flows from the production of goods to the disposal of wastes. The freeware STAN was chosen as an appropriate tool to calculate and demonstrate the P-flows. Short time variations in flows (e.g. mineral fertilizer) were not addressed as only average values for the period 2004-2008 were considered. Special attention was given to the P-flows in waste water and waste management. Both processes were subdivided into sub-processes to enable the illustration of all P-containing flows related to treatment-, disposal- and recovery processes. Based on the overall balance for Austria and the detailed balances for waste water and waste management, the potential recycling of P with recovery technologies in the future can be shown. The balance shows an annual import of 70.000 t of P to Austria. The import is dominated by raw phosphates respectively commercial mineral fertilizer (48.000 t P). A big part of this imports is exported as mineral fertilizer (32.000 t/a) without further utilization in Austria. Further imports are food and feed, P-flows via water bodies, chemicals, wood and paper, deposition and living animals. 52.000 t P is exported as commercial mineral fertilizer, via water bodies, food and feed, meat and bone meal, chemicals, wood and paper and living animals. Thus, the P-stock in Austria is annually growing by 18.000 t P as average. That corresponds approximately to the annual need of mineral fertilizers in Austrian agriculture. With 8.700 t P, waste management (landfills) is the largest sink for P, even larger than agricultural soils (4.400 t P) and households (2.300 t P). Municipal- and industrial waste water contain a P-load of 7.800 t P, whereby up to 6.600 t P is transferred to sewage sludge. This corresponds to about 40 % of annually applied mineral fertilizer. Together with by-products from animal food processing and dead animals (5.500 t P/a) a theoretical substitution potential of 75 % related to the annually utilized amount of mineral fertilizer can be shown. Actually only a small amount of sewage sludge is directly applied in agriculture (16 %). In form of compost an additional part of P contained in sewage sludge is used in agriculture, for which an accurate estimation is not possible. A scenario with total incineration of sewage sludge together with meat and bone meal followed by an implementation of recovery technologies with production of a secondary fertilizer shows, that the use of mineral fertilizer in agriculture could be reduced to 6.000 t P (-60 %) by such a strategy. The balance points out, that the actual strategies of sewage sludge and meat and bone treatment and disposal are not in line with requirements for protection of the resource phosphorus. A large part of meat and bone meal and about 50 % of sewage sludge are incinerated. Energy yield and save disposal is actually the focus of disposal strategies for this waste flows. As the P-balance for Austria shows a significant P-potential in only few waste products, suitable laws could support recovery from these flows, in order to improve the national P-management.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	10
1.1	Begriffserklärung.....	10
1.1.1	Phosphor .....	10
1.1.2	Behandlung und Verwertung .....	10
1.2	Überblick Phosphorhaushalt in Österreich .....	11
1.3	Ziele .....	11
2	Methodik .....	12
2.1	Stoffflussanalyse.....	12
2.2	Modellierung .....	13
2.3	Unsicherheiten.....	13
2.3.1	Unsicherheitsintervalle.....	13
2.3.2	Unsicherheitslevel.....	13
2.3.3	Unsicherheitsfaktor .....	14
2.3.4	Beispiel .....	15
2.3.5	Ausgleichsrechnung .....	17
2.4	Analyse des österreichischen Phosphorhaushaltes.....	18
2.4.1	Stofffestlegung.....	18
2.4.2	Systemgrenze .....	18
2.4.3	Systemdefinition .....	18
2.5	Systembeschreibung .....	20
2.6	Subsystembeschreibung .....	24
2.6.1	Landwirtschaft – Tierhaltung .....	24
2.6.2	Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	25
2.6.3	Forstwirtschaft, sonstige Böden und nachgelagerte Prozesse .....	26
2.6.4	Chemische Industrie .....	27
2.6.5	Industrie (Futter-, Nahrungs-, Düngemittel).....	28
2.6.6	Haushalt, Infrastruktur .....	29
2.6.7	Abwasserreinigung .....	30
2.6.8	Abfallwirtschaft.....	31
2.6.9	Prozess Gewässer.....	33
3	Ergebnisse.....	34
3.1	Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung .....	39
3.2	Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	40
3.3	Subsystem Forstwirtschaft und nachgelagerte Prozesse .....	42
3.4	Subsystem chemische Industrie.....	43
3.5	Subsystem Industrie (Futter, Nahrungsmittel, Düngemittel).....	44
3.6	Haushalt.....	46

3.7	Abwasserwirtschaft.....	48
3.8	Abfallwirtschaft.....	49
3.9	Gewässer.....	53
3.10	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	55
3.10.1	Optimierungspotential.....	57
3.11	Take-Home Message .....	59
4	Möglichkeiten der Steuerung phosphorhaltiger Flüsse .....	60
4.1	Szenario 1.....	60
4.2	Szenario 2.....	63
5	Resümee und Ausblick.....	65
5.1	Phosphorpotential in Klärschlamm und Tiermehl.....	65
5.2	Verbesserung der Datengrundlage .....	66
5.3	Verwendung der Bilanz .....	68
1.1.1	Quasi Dynamische Modellierung.....	68
1.1.2	Monitoring P-Haushalt Österreich .....	68
1.1.3	Szenarien: Optimierung der Phosphorflüsse.....	69
6	Literatur.....	70
7	Anhang .....	76
7.1	STAN P-Frachten (kg P/E*a).....	76
7.2	Flussbeschreibung, Datenherkunft, Rechenverfahren .....	82
7.2.1	Flüsse Landwirtschaft – Tierhaltung.....	82
7.2.2	Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	84
7.2.3	Subsystem Forstwirtschaft .....	85
7.2.4	Prozess Chemische Industrie.....	88
7.2.5	Prozess Industrie .....	90
7.2.6	Prozess Haushalt.....	93
7.2.7	Prozess Abwasserwirtschaft.....	95
7.2.8	Prozess Abfallwirtschaft.....	96
7.2.9	Subsystem Gewässer.....	104
7.3	Phosphorkonzentrationen.....	106
7.3.1	Nahrungs- und Futtermittel.....	106
7.3.2	Wirtschaftsdünger.....	107
7.3.3	Organische Abfälle .....	108

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Intervall in Abhängigkeit des Unsicherheitslevels .....	15
Abbildung 2: System österreichische Phosphorbilanz .....	19
Abbildung 3: Zeichenerklärung.....	19
Abbildung 4: Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung .....	24
Abbildung 5: Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	25
Abbildung 6: Subsystem Forstwirtschaft und nachgelagerte Prozesse .....	26
Abbildung 7: Subsystem chemische Industrie.....	27
Abbildung 8: Subsystem Industrie.....	28
Abbildung 9: Subsystem Haushalt .....	29
Abbildung 10: Subsystem Abwasserwirtschaft.....	30
Abbildung 11: Subsystem Abfallwirtschaft .....	32
Abbildung 12: Subsystem Gewässer .....	33
Abbildung 13: Gesamtsystem Phosphorbilanz Österreich (t P/a, auf 2 signifikante Stellen gerundet) 35	
Abbildung 14: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung.....	39
Abbildung 15: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	41
Abbildung 16: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Forstwirtschaft .....	42
Abbildung 17: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem chemische Industrie .....	44
Abbildung 18: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Industrie.....	45
Abbildung 19: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Haushalt .....	47
Abbildung 20: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Abwasserwirtschaft .....	49
Abbildung 21: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Abfallwirtschaft .....	52
Abbildung 22: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Gewässer .....	54
Abbildung 23: Subsystem Abfallwirtschaft – Szenario 1 .....	61
Abbildung 24: Subsystem Abfallwirtschaft – Gegenwärtige Situation.....	61
Abbildung 25: Phosphorbilanz Österreich Szenario 1.....	62
Abbildung 26: Phosphorbilanz Österreich Szenario 2.....	64
Abbildung 27: Ergebnis Phosphorbilanz Österreich P-Fracht (kg P/E*a) .....	76
Abbildung 28: Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung (kg P/E*a) .....	77
Abbildung 29: Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau (kgP/E*a) .....	77
Abbildung 30: Ergebnis Subsystem Forstwirtschaft (kg P/E*a) .....	78
Abbildung 31: Ergebnis Subsystem chemische Industrie (kgP/E*a).....	79
Abbildung 32: Ergebnis Subsystem Industrie (kg P/E*a) .....	79
Abbildung 33: Ergebnis Subsystem Haushalt und Infrastruktur (kg P/E*a) .....	80
Abbildung 34: Ergebnis Subsystem Abwasserwirtschaft (kgP/E*a).....	80
Abbildung 35: Ergebnis Subsystem Abfallwirtschaft (kgP/E*a).....	81
Abbildung 36: Ergebnis Subsystem Gewässer (kg P/E*a).....	81
Abbildung 37: Anteil der Verwertungs-, Behandlungs-, und Entsorgungswege kommunaler KS in Österreich .....	97
Abbildung 38: Inputmaterial Kompostieranlagen.....	102
Abbildung 39: Inputzusammensetzung hochgerechnet Biogasanlagen 2009 .....	103

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unsicherheitslevel der Informationsquellen.....	14
Tabelle 2: Unsicherheitslevel, -Faktoren und Intervallgröße von Daten .....	14
Tabelle 3: Inputmaterial Kompostierung mit Unsicherheitslevel, -faktor .....	15
Tabelle 4: Unsicherheitsfaktor ( $f_2$ ) Phosphorkonzentration Inputmaterial Kompost.....	16
Tabelle 5: Berechnung Unsicherheitsfaktor Beispielfracht ( $f_{1,2}$ ).....	16
Tabelle 6: Umrechnungsfaktoren für P bzw. $P_2O_5$ .....	18
Tabelle 7: Flüsse der österreichischen Phosphorbilanz.....	23
Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse der Flüsse des Hauptsystems.....	38
Tabelle 9: Prozessliste Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung .....	40
Tabelle 10: Prozessliste Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau .....	41
Tabelle 11: Prozessliste Subsystem Forstwirtschaft.....	43
Tabelle 12: Prozessliste Subsystem chemische Industrie .....	44
Tabelle 13: Prozessliste Subsystem Industrie.....	46
Tabelle 14: Prozessliste Subsystem Haushalt .....	47
Tabelle 15: Ausbaugrößen der österreichischen Kläranlagen und Anteil an der tatsächlichen Kapazität und damit Anteil am P-Potential im Klärschlamm (EMREG, 2010).....	48
Tabelle 16: Prozessliste Subsystem Abwasserwirtschaft .....	49
Tabelle 17: Klärschlammbehandlung Österreich; Ergebnisse der Ausgleichsrechnung mit STAN.....	50
Tabelle 18: Tiermehlverwertung Österreich; Ergebnisse der Ausgleichsrechnung STAN.....	51
Tabelle 19: Prozessliste Subsystem Abfallwirtschaft .....	53
Tabelle 20: Prozessliste Subsystem Gewässer .....	54
Tabelle 21: Verteilung Outputflüsse des Subsystems Industrie .....	56
Tabelle 22: Substitutionspotential verschiedener Abfallflüsse .....	57
Tabelle 23: Theoretisches Vermeidungspotential P-Verluste über Gewässer.....	57
Tabelle 24: Aufschlüsselung P-Fracht der Direkteinleiter .....	86
Tabelle 25: Düngemittelproduktion und Export .....	90
Tabelle 26: Kategorie tierische Nebenprodukte Aufschlüsselung mit P-Gehalt.....	92
Tabelle 27: Abfälle aus Nahrungs- und Genussmittelproduktion .....	93
Tabelle 28: Klärschlamminput, Ascheanteil und Phosphorverteilung Müllverbrennung .....	100
Tabelle 29: Klärschlamminput, Ascheanteil und Phosphorverteilung Monoverbrennung.....	100
Tabelle 30: Organische Abfälle und deren Verwertung .....	104

# 1 Einleitung

## 1.1 Begriffserklärung

### 1.1.1 Phosphor

Phosphor kommt in der Umwelt in zahlreichen unterschiedlichen Verbindungen vor. Einführend wird daher eine Definition der für diese Arbeit relevanten Phosphorverbindungen gegeben. In der Natur kommt Phosphor meist in Form von sogenannten Phosphaten vor, deren chemischer Aufbau sich mit dem pH-Wert ändert. Bei Phosphaten handelt es sich um Salze und Ester der ortho-Phosphorsäure, sowie deren Kondensaten und Phosphorsäureester. In jeder organischen Verbindung ist zudem als grundlegender Nährstoff für alle Organismen organisch gebundener Phosphor enthalten.

In der Düngemittelindustrie und der Landwirtschaft wird der Phosphorgehalt meist als Phosphorpentoxid ( $P_2O_5$ ) angegeben (Blume et al., 2010). Für die Erhebung der Phosphorflüsse in der österreichischen Stoffflussanalyse werden alle P-Verbindungen in elementarem Phosphor (P) umgerechnet.

### 1.1.2 Behandlung und Verwertung

Abfälle können in verschiedenen Prozessen der Abfallwirtschaft behandelt, verwertet oder entsorgt werden. Im Hinblick auf die Ressource Phosphor werden diese Begrifflichkeiten wie folgt angewendet:

#### **Behandlung**

Wird der Inputfluss mit dem Ziel einer thermischen Nutzung des Abfallstromes oder endgültigen Ablagerung transformiert, so spricht man von einer Behandlung. Alle thermischen Verfahren, Tierkörperbehandlungsanlagen und mechanisch-biologische Anlagen sind nach dieser Definition Behandlungsoptionen. Möchte man die anfallenden Stoffströme im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zurück in das System bringen (z.B. Landwirtschaft oder Landschaftsbau), sind weitere Aufbereitungsschritte wie z.B. Recyclingtechnologien notwendig. Eine Ausnahme sind Komposte der mechanisch-biologischen Behandlung, die direkt verwertet werden können.

#### **Verwertung**

Entsteht in einem Prozess ein Outputfluss, der z.B. direkt in der Landwirtschaft eingesetzt und damit der darin enthaltene Phosphor ohne weiteren Aufbereitungsschritt genutzt wird bzw. genutzt werden kann, spricht man von einer Verwertung. Dazu zählen die Prozesse Kompostierung und anaerobe Behandlungsanlagen (Biogas).

#### **Entsorgung**

Endgültige Ablagerung eines Stoffflusses auf einer Deponie oder Export mit dem Ziel der endgültigen Ablagerung (z.B. Untertagedeponie).



## 1.2 Überblick Phosphorhaushalt in Österreich

Der führende Sektor hinsichtlich Phosphorverbrauch ist die Landwirtschaft, die phosphorhaltige Dünger und Futtermittel zur Nahrungsproduktion benötigt (Smil, 2000). Die dabei auftretenden dominanten Flüsse sind Mineraldünger, Wirtschaftsdünger, sowie markt- und nicht marktfähige Futtermittel. Die landwirtschaftlichen Flächen können als wachsendes oder abnehmendes (Zwischen-) Lager für Phosphor angesehen werden. Im Vergleich dazu spielen aus der chemischen Industrie stammende P-haltige Reinigungsmittel wie z.B. Geschirrspültabs oder Holz und Papierprodukte aus der Forstwirtschaft im Gesamtsystem eine untergeordnete Rolle. Aufgrund der Verarbeitung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Verursacher von Abfallprodukten ist die Lebensmittelindustrie ein bedeutender Sektor im österreichischen Phosphorhaushalt. Haushalte als Konsumenten von Nahrungsmitteln und Nutzer von chemischen Produkten verursachen Abfallprodukte in flüssiger oder fester Form, die beträchtliche Mengen an Phosphor enthalten und über die Abwasser- und Abfallwirtschaft entsorgt werden. Diese Abfallprodukte werden nur in begrenztem Umfang im Sinne einer Kreislaufwirtschaft wieder in die Landwirtschaft geführt und gelangen stattdessen in Senken wie Deponien oder gehen über Gewässer verloren. Aufbauend auf den Erkenntnissen über phosphorhaltige Stoffe wurde zur Darstellung des Phosphorhaushaltes in Österreich ein Modell mit folgenden neun Hauptprozessen erstellt, die sich wiederum in weitere Unterprozesse untergliedern lassen: Landwirtschaft – Tierhaltung, Landwirtschaft – Pflanzenbau, Forstwirtschaft, chemische Industrie, Industrie (Futter-, Nahrungs-, und Düngemittelindustrie), Haushalt und Infrastruktur, Abwasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Gewässer. Dieses Modell baut auf den Daten der im Rahmen des Projektes GERN (Zessner et al., 2011) erstellten Phosphorbilanz auf. Während der Schwerpunkt im Projekt GERN auf der Quantifizierung des Zusammenhangs Ernährung und Produktion lag, liegt der Schwerpunkt dieser Phosphorbilanz in der Erfassung aller relevanten P-Flüsse mit dem Fokus auf die Abwasser- und Abfallwirtschaft. Auf Basis dieses Systems werden im laufenden Bericht die anfallenden Phosphorflüsse detailliert beschrieben.

## 1.3 Ziele

Ziel dieses Teilprojektes ist es, sämtliche Phosphorflüsse für das Staatsgebiet Österreich, inklusive der auftretenden Unsicherheiten für den Zeitraum 2004–2008, anhand einer Stoffflussanalyse zu quantifizieren. Aufbauend auf diese Analyse soll der Fokus auf die abfall- und abwasserseitig relevanten Ströme gelegt und deren Behandlungs- und Entsorgungswege eingehend analysiert werden. Daraus abgeleitet soll der Stellenwert der Abwasser- und Abfallwirtschaft und das Potential einer möglichen Phosphorrückgewinnung aus diesen Bereichen erhoben werden.

## 2 Methodik

### 2.1 Stoffflussanalyse

Zur Identifizierung und Quantifizierung aller relevanten Phosphorflüsse in Österreich wird die Methodik der Stoffflussanalyse angewendet. Mittels dieser Stoffflussanalyse werden Input- und Outputflüsse, Lager und Lagerveränderungen für ein definiertes räumliches Gebiet in einem definierten Zeitraum bilanziert. Die Methodik baut auf den physikalischen Gesetzen der Massen- und Energieerhaltung auf. Als Grundlage für Methodik und Anwendung dient die ÖNORM S 2096 (ÖNORM, 2005a, b), die die in diesem Bericht verwendeten Begriffe wie folgt definiert.

#### **Stoffe**

Ein Stoff ist ein Material aus identischen Einzelteilen oder wie in diesem Fall aus einem chemischen Element.

#### **System**

Ist eine Sammelbezeichnung für eine Menge von Subsystem (inklusive Lager), die miteinander über Flüsse in Beziehung stehen.

#### **Subsysteme**

Ein System lässt sich in mehrere Subsysteme unterteilen. Ein Subsystem dient als Sammelbegriff für eine Menge von Prozessen, die über Flüsse miteinander in Beziehung stehen.

#### **Prozess**

Der Prozess beschreibt den Transport, die Transformation oder die Lagerung eines Gutes oder Stoffes. Die Umwandlung kann biologisch, chemisch oder physikalisch erfolgen. Zur näheren Untersuchung von Prozessvorgängen, kann ein Subsystem in mehrere Prozesse untergliedert werden

#### **Lager**

Ein Lager ist der Bestand von Gütern oder Stoffen innerhalb eines Prozesses. Als Beispiel ist hier z.B. eine Deponie in der Abfallwirtschaft oder der Boden in der Landwirtschaft zu nennen.

#### **Fluss**

Ein Fluss ist die Bewegung der untersuchten Stoffe zwischen Prozessen oder in das System hinein oder aus dem System heraus bezogen auf eine funktionale Einheit. Flüsse in einen Prozess werden als Inputs, solche aus einem Prozess als Output bezeichnet. Gelangen Flüsse in ein System, werden sie als Importe bezeichnet, während Flüsse aus dem System Exporte sind.

#### **Systemgrenze**

Ist die räumliche und zeitliche Abgrenzung des zu untersuchenden Systems.



## 2.2 Modellierung

Die Modellierung und Berechnung des österreichischen Phosphorsystems erfolgt mithilfe der Freeware STAN (subSTance flow ANalysis; STAN, Cencic und Rechberger, 2008). Es handelt sich dabei um ein Softwaretool zur Erstellung von Güter- und Stoffflussanalysen gemäß ÖNORM S 2096. Dieses Programm ermöglicht die Eingabe von Unsicherheiten, die Berechnung fehlender Werte, die Berücksichtigung einer Fehlerfortpflanzung und die Durchführung einer Ausgleichsrechnung. Um die Robustheit des vorliegenden Modells zu gewährleisten, wurde eine vollständige Beschreibung des Systems mit allen notwendigen Daten durchgeführt.

## 2.3 Unsicherheiten

Für die Berechnung eines Phosphorflusses sind zwei Faktoren notwendig. Zum einen der Güterfluss und zum anderen die dazugehörige Phosphorkonzentrationen. Beide Faktoren weisen aufgrund der Datenherkunft unterschiedliche Unsicherheiten auf. Folglich wird für jeden Güterfluss und jede P-Konzentration eine Unsicherheit definiert. Anschließend wird die Methode der Unsicherheitsberechnung von Hedbrant und Sörme (2000) angewendet.

### 2.3.1 Unsicherheitsintervalle

Grundsätzlich werden Unsicherheiten durch Intervalle beschrieben, die den unsicheren Wert sehr wahrscheinlich abdecken. Ein Intervall ist so definiert, dass der unsichere Wert wahrscheinlich dazwischen liegt, wobei eine 95% ige Wahrscheinlichkeit angenommen wird.

Ein Unsicherheitswert, wie zum Beispiel bei einem Güterfluss wird als  $X \pm Y$  dargestellt. Für relativ kleine Unsicherheiten ist diese Darstellung unproblematisch (z.B.  $100 \pm 10$ ). Werden die Unsicherheiten größer lassen sich die Unsicherheiten schlecht darstellen (z.B.  $100 \pm 200$ ). Dies würde einen Intervall von  $[-100; 300]$  ergeben. Für diesen Fall eignet sich die Berechnung der Unsicherheit anhand eines Unsicherheitsfaktors.

### 2.3.2 Unsicherheitslevel

In einem ersten Schritt wird nun den Faktoren Güterfluss und P-Konzentration in Abhängigkeit ihrer Informationsquelle ein Unsicherheitslevel (I) zugewiesen (Tabelle 3). In dieser P-Bilanz werden die Informationsquellen von 0 bis 3 klassifiziert.

Unsicherheits-Level [I]	Informationsquelle	Beispiel
0	Allgemein Werte (Literatur)	Molekulargewicht, z.B. P Umrechnungsfaktor $P_2O_5 \rightarrow P$
1	Aktuelle und offizielle Statistiken auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene, Einschlägige Fachliteratur	Daten der Statistik Austria Phosphorgehalt landwirtschaftlicher Produkte
2	Ältere Statistiken, inoffizielle Statistiken, allgemeine Werte für P-Gehalte (Literatur oder auf Anfrage)	Input in Biogasanlagen (Hochrechnungen nötig), P-Gehalt organischer Abfälle
3	Präsentationen bzw. Publikationen ohne Literaturquelle	Mineraldüngereinsatz in Gärten; Eigene Schätzung von Transferkoeffizienten

Tabelle 1: Unsicherheitslevel der Informationsquellen

### 2.3.3 Unsicherheitsfaktor

Ist der Unsicherheitslevel bestimmt, kann der Unsicherheitsfaktor über die Formel (1) berechnet werden. Die Umkehrfunktion zur Berechnung des Unsicherheitslevels ist in Formel (2) ersichtlich.

$$f = 1 + 0,036 * e^{1,105 * \text{Unsicherheitslevel}} \quad f = \text{Unsicherheitsfaktor} \quad F 1$$

$$l = \frac{\ln\left(\frac{\text{Unsicherheitsfaktor}-1}{0,036}\right)}{1,105} \quad l = \text{Unsicherheitslevel} \quad F 2$$

Zum Beispiel liegt der Unsicherheitsfaktor bei einem gewählten Unsicherheitslevel von 1 bei 1,1. Das entspricht  $1 * 1,1$  in dem Intervall  $[0,909; 1,100]$  welches sich dem symmetrischen  $1 \pm 0,1$  nähert. Nimmt man für den Wert 1 ein größeres Unsicherheitslevel von 3 an, errechnet sich ein Unsicherheitsfaktor 2, womit der Intervall  $[1,5; 6]$  beträgt. Tabelle 2 zeigt die Unsicherheitsfaktoren in Abhängigkeit des jeweiligen Unsicherheitslevels.

Level	Faktor	Intervall
1	1,1	*/ 1,10
2	1,33	*/ 1,33
3	2	*/ 2,00
4	4	*/ 4,00
5	10	*/ 10,00

\*/ = Multiplikation bzw. Division

Tabelle 2: Unsicherheitslevel, -Faktoren und Intervallgröße von Daten

Bemerkenswert ist die Symmetrie des Intervalls (als vertikale Linien dargestellt) bei geringen Unsicherheitslevels. Abbildung 1 stellt den Wert 1 mit den Unsicherheitslevels von 1 bis 5 dar und verdeutlicht die asymmetrischen Intervalle bei großen Unsicherheiten (Hedbrant und Sörme, 2000).

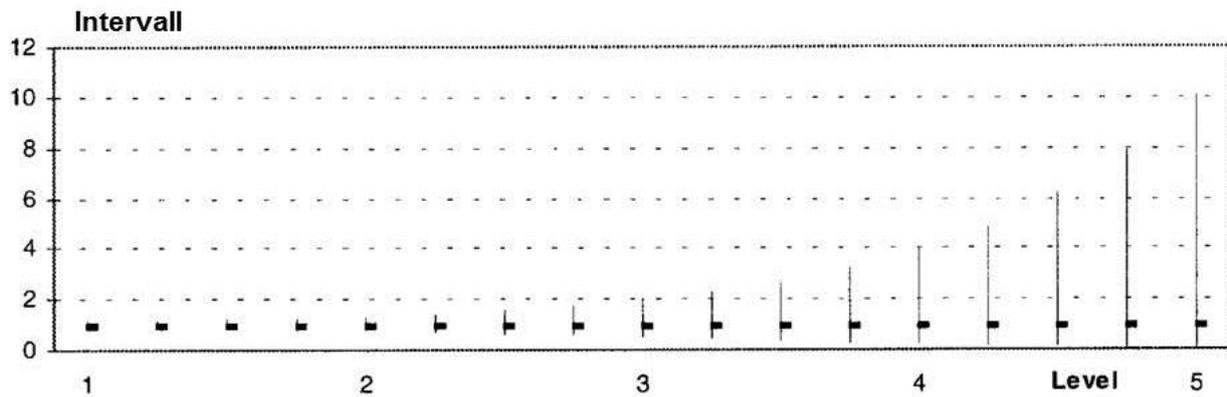


Abbildung 1: Intervall in Abhängigkeit des Unsicherheitslevels

Im Besonderen Phosphorkonzentrationen für Güter werden in der Literatur häufig als Intervalle (von x bis y) angegeben. Diese Intervalle müssen vorab in einen wahrscheinlichen Wert (geometrischer Mittelwert) über die Formel (3) umgewandelt werden. Anschließend wird ein Unsicherheitslevel für den wahrscheinlichen Wert über die Formel (4) definiert. Der Unsicherheitsfaktor wird analog wie bereits oben beschrieben über die Formel (1) berechnet.

$$m = \sqrt{A1 * A2} \quad F 3$$

$$l = \frac{\ln\left[\frac{\sqrt{\frac{A2}{A1}} - 1}{0,036}\right]}{1,105} \quad F 4$$

A2: obere Grenze des Intervalls

A1: untere Grenze des Intervalls

### 2.3.4 Beispiel

Anhand eines Beispiels mit fiktiven Zahlen soll der theoretische Hintergrund der Unsicherheitsberechnung beschrieben werden. Angenommen wird das Inputmaterial für eine Kompostieranlage mit definierten Güterflüssen. Im ersten Schritt wird den Inputfraktionen ein Unsicherheitslevel (l) zugeteilt, woraus über die Formel (1) ein Unsicherheitsfaktor ( $f_1$ ) berechnen werden kann (Tabelle 3).

Inputmaterial	Menge in t FM/a	l	$f_1$
biogene Abfälle Haushalt	2.000	1,00	1,11
biogene Abfälle Grüngut Garten	4.000	2,00	1,33
Marktabfälle	3.000	3,00	1,99
Garten-, Straßengrün, Parkabfälle	10.000	1,00	1,11

Tabelle 3: Inputmaterial Kompostierung mit Unsicherheitslevel, -faktor

Die Phosphorkonzentrationen der Inputmaterialien liegen als Intervalle vor. Über die Formel (4) wird zuerst der Unsicherheitslevel und anschließend über Formel (1) der Unsicherheitsfaktor ( $f_2$ ) berechnet. Die Ergebnisse können aus Tabelle 4 entnommen werden.

Inputmaterial	P-Gehalt in kg/t FM		I	f <sub>2</sub>
	von (A <sub>1</sub> )	bis (A <sub>2</sub> )		
biogene Abfälle Haushalt	1,00	2,20	2,35	1,48
biogene Abfälle Grüngut Garten	1,00	1,40	1,47	1,18
Marktabfälle	0,15	0,30	2,21	1,41
Garten-, Straßengrün, Parkabfälle	0,96	1,20	1,07	1,12

Tabelle 4: Unsicherheitsfaktor (f<sub>2</sub>) Phosphorkonzentration Inputmaterial Kompost

Die benötigte P-Fracht eines Flusses wird über die beiden Faktoren Gütermenge und der dazugehörigen Phosphorkonzentration berechnet. Diese beiden Faktoren sind nun durch ihren entsprechenden Unsicherheitsfaktor (f<sub>1</sub> und f<sub>2</sub>) charakterisiert (Tabelle 5, 6). Mittels der Formel (5) wird für den gewünschten P-Fluss ein gemeinsamer Unsicherheitsfaktor (f<sub>1,2</sub>) ermittelt.

$$f_{1,2} = 1 + \sqrt{(f_1 - 1)^2 + (f_2 - 1)^2} \quad F 5$$

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden Flüsse in einer Bilanz häufig zusammengefasst und bestehen daher aus mehreren Teilflüssen deren Unsicherheiten unterschiedlich sein können. In Tabelle 5 sind die Teilflüsse und deren bereits berechneter gemeinsamer Unsicherheitsfaktor (f<sub>1,2</sub>) dargestellt. Die P-Fracht wurde aus dem Mittelwert der Menge des Inputmaterials in t FM, multipliziert mit den Phosphorkonzentrationen errechnete und erhält dabei einen Intervall (von/bis). Der Unsicherheitsfaktor (f<sub>1,2</sub>) der Teilflüsse wurde über die Formel (5) berechnet.

Inputmaterial	P-Fracht/a		MW	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>1,2</sub>	ZS
	von (A <sub>1</sub> )	bis (A <sub>2</sub> )					
Biogene Abfälle Haushalt	2	4	3	1,11	1,48	1,50	0,98
Biogene Abfälle Grüngut	4	6	5	1,33	1,18	1,38	2,28
Marktabfälle	0	1	0,5	1,99	1,41	2,07	0,23
Garten-, Straßengrün, Parkabfälle	10	12	11	1,11	1,12	1,16	2,37
Summe	16	23	19,5			<b>1,15</b>	5,87

Tabelle 5: Berechnung Unsicherheitsfaktor Beispielfracht (f<sub>1,2</sub>)

Für jeden Teilfluss wird im nächsten Schritt der sogenannte Zwischenschritt (ZS) über die Formel (6) berechnet. Aus der Summe der P-Fracht (MW = 19,5) und der Summe aus den Zwischenschritten (ZS = 5,87; jeweils grau markiert) kann mithilfe der Formel (7) der Unsicherheitsfaktor für das Inputmaterial (fett markiert) fixiert werden.

$$\text{Zwischenschritt} = (P \text{ Mittelwert}) * (f_{1,2} - 1))^2 \quad F 6$$

$$\text{Unsicherheitsfaktor Gesamt} = 1 + \frac{\sqrt{\text{Summe Zwischenschritt}}}{\text{Summe des P in t}} \quad F 7$$

Das Ergebnis wird wie folgt interpretiert:

Die P-Fracht in den Prozess Kompostierung beträgt im Mittel 19,5 t P/a mit einer Unsicherheit von ±1,15 bezogen auf den Mittelwert [Intervall 16,95; 22,43]. Die Abweichung der Intervalle vom Mittelwert beträgt 2,55 bzw. 2,93 t P/a). Das entspricht im Mittel rund 2,7 t P/a. Im Programm STAN wird der Wert 19,5 t P/a mit der Unsicherheit von ± 2,7 t P/a in die Maske eingegeben.



### 2.3.5 Ausgleichsrechnung

Auf Basis der Unsicherheiten kann mithilfe von STAN eine Ausgleichsrechnung durchgeführt werden. Ausgleichsrechnungen sind nötig, wenn die Bilanz eines Prozesses (ohne Lager) oder Subsystems nicht dem Grundsatz der Massenerhaltung genügt und der Output nicht gleich dem Input entspricht. Mittels einer Ausgleichsrechnung werden unsichere Flüsse soweit verändert, dass Unstimmigkeiten in der Prozessbilanz behoben werden. Die Berechnung wird mit der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt. Das bedeutet, dass an den Flüssen kleine Verbesserungen angebracht werden, um die Summe der Quadrate aller einzelnen Abweichungen zwischen Mess- und Modelldaten zu minimieren. Grundlage für die Durchführung einer Ausgleichsrechnung ist zum einen ein überbestimmtes Gleichungssystem (es müssen mehr Gleichungen als unbekannte Variablen vorliegen) und die Anwesenheit von unsicheren Variablen (Unsicherheiten).

## 2.4 Analyse des österreichischen Phosphorhaushaltes

### 2.4.1 Stofffestlegung

Für diese Stoffflussanalyse werden Massenangaben für Phosphor als elementarer Phosphor (P) gemacht. Für Dünger und pflanzliche bzw. tierische Nahrungsmittel ist die Deklaration des Phosphoranteils in  $P_2O_5$  üblich. Tabelle 6 zeigt den Faktor für die Umrechnung.

Gegeben	Gesucht	Faktor
$P_2O_5$	P	0,436
P	$P_2O_5$	2,291

Tabelle 6: Umrechnungsfaktoren für P bzw.  $P_2O_5$

Als Bezugsgröße für die Bilanzierung wird die funktionale Einheit „Tonnen Phosphor pro Jahr“, kurz „t P/a“ und Kilogramm Phosphor pro Einwohner und Jahr“, kurz „kg P/(E\*a)“ verwendet.

### 2.4.2 Systemgrenze

Die Festlegung der Systemgrenzen erfolgt sowohl zeitlich als auch räumlich. Als zeitliche Abgrenzung wird ein mittleres Jahr für den Zeitraum 2004–2008 gewählt, um jährlich auftretende Schwankungen ausgleichen zu können. Fehlende Daten in diesem Zeitraum werden interpoliert. Die räumliche Abgrenzung in horizontaler Ausdehnung erfolgt anhand der Landesgrenzen des Bundesstaates Österreich. In vertikaler Richtung beschränkt sich die Analyse auf die oberen Bodenschichten (0–30 cm) bzw. auf die Gewässer. Der Phosphorfluss in die Atmosphäre kann vernachlässigt werden.

### 2.4.3 Systemdefinition

Die Grundlage für die Erstellung einer österreichischen Phosphorbilanz ist die Definition eines Systems, welches alle bekannten und relevanten Phosphorflüsse sowie die relevanten Prozesse enthält. Besonderes Augenmerk gilt den Bereichen Abwasser- und Abfallwirtschaft, deren Relevanz und Stellenwert hinsichtlich einer möglichen Rückgewinnung von Phosphor quantitativ dargestellt werden soll. Alle Phosphorströme für Österreich sollen erfasst und den unten angeführten Subsystemen zugeordnet werden. Die Entscheidung über jene Subsysteme bzw. Prozesse aus denen sich das Modell zusammensetzt, entstand nach den Kriterien, welche Phosphorflüsse vorhanden sind, wie gewichtig diese Flüsse hinsichtlich der Phosphormengen sind und wie sie am deutlichsten dargestellt werden können. Die Abwasserwirtschaft und die Abfallwirtschaft wurden zur übersichtlichen Darstellung als eigene Subsysteme angeführt. Schlussendlich wurde ein System gewählt, dass aus insgesamt neun Subsystemen bzw. Prozessen besteht. Diese neun Subsysteme werden zur weiteren detaillierten Darstellung der Flüsse in mehrere Subprozesse unterteilt (Kapitel 2.5).

- (1) Landwirtschaft – Tierhaltung
- (2) Landwirtschaft – Pflanzenbau
- (3) Forstwirtschaft (und nachgelagerte Prozesse)
- (4) Chemische Industrie
- (5) Industrie (Nahrungs-, Futter-, und Düngemittelproduktion)
- (6) Haushalt und Infrastruktur
- (7) Abfallwirtschaft
- (8) Abwasserwirtschaft
- (9) Gewässer

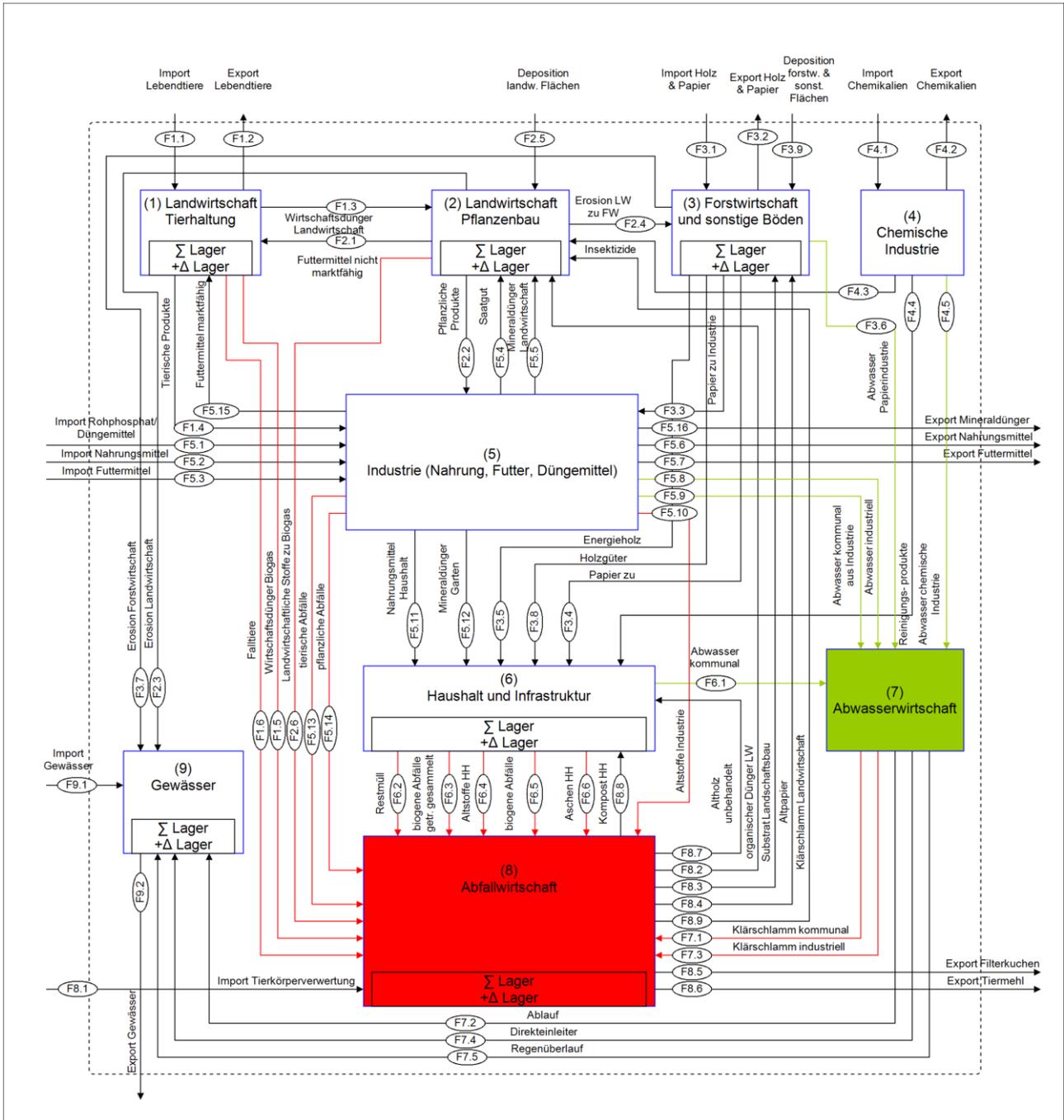


Abbildung 2: System österreichische Phosphorbilanz

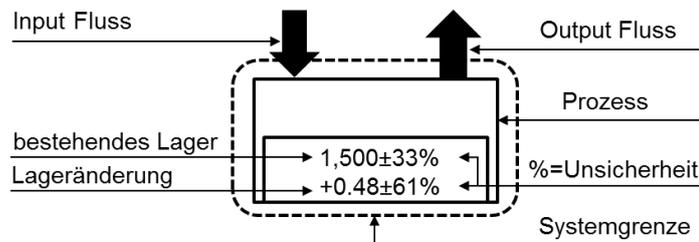


Abbildung 3: Zeichenerklärung

Blau umrandete Prozesse bestehen aus mehreren integrierten Subprozessen. Rot hervorgehobene Flüsse verdeutlichen Input zum Subsystem Abfallwirtschaft, grüne Flüsse den Input zum Subsystem Abwasserwirtschaft.

## 2.5 Systembeschreibung

Die Landwirtschaft kann im Wesentlichen in zwei Prozesse untergliedert werden. Die Landwirtschaft – Tierhaltung zur Erzeugung von tierischen Nahrungsmitteln wie Fleisch, Milch und Eier und die Landwirtschaft – Pflanzenbau zur Erzeugung von z.B. Futtermittel, Feldfrüchten, Obst und Gemüse. Der Boden als Produktionsfaktor wird im Prozess Landwirtschaft – Pflanzenbau berücksichtigt. Zwischen diesen beiden Subsystemen gibt es einen intensiven Austausch P-haltiger Stoffflüsse, die auf eine Kreislaufführung des Phosphors in Form von Wirtschaftsdünger und Futtermittel zurückzuführen sind. Des Weiteren ist der Phosphorzufuhr zu diesen Subsystemen in Form von Mineraldüngern, verschiedenen organischen Düngern (z.B. Kompost, Biogasgülle, Klärschlamm) Lebewesen und marktfähigen Futtermitteln und die Phosphorentnahme durch Schlachtung, Entnahme von Lebewesen, Erosion und Ernte bedeutend.

Das Subsystem Forstwirtschaft umfasst neben dem System Wald und sonstige Böden auch die nachgelagerten Prozesse zur Herstellung von Holzprodukten und die Herstellung von Papier. Holz und Papier wird in Österreich hauptsächlich aus Rohstoffen der heimischen Wälder erzeugt, aber teilweise auch aus dem Ausland importiert und auch exportiert. Der Wald und der Waldboden werden als Lager berücksichtigt. In diesem Subsystem ist des Weiteren der Prozess sonstige Böden enthalten.

Die chemische Industrie importiert zum einen phosphorhaltige Chemikalien für die Herstellung von Reinigungsmitteln, Insektiziden und sonstigen Chemikalien oder bereits die fertigen Endprodukte. Der Hauptanteil des Phosphors wird in Form von Reinigungsmitteln importiert (phosphorhaltige Geschirrspültabs). Insektizide für die Landwirtschaft haben nur einen geringen Anteil der in der chemischen Industrie erzeugten Phosphorprodukte. Anfallendes Abwasser der chemischen Industrie wird im Subsystem Abwasserwirtschaft behandelt.

Die Industrie ist jenes Subsystem, in welchem die tierischen und pflanzlichen Rohstoffe aus der Landwirtschaft – Tierhaltung, der Landwirtschaft – Pflanzenbau, der Forstwirtschaft aber auch Lebensmittel- und Futtermittelimporte weiterverarbeitet und umgewandelt werden, um anschließend als Produkte in das Subsystem Haushalt, Landwirtschaft – Pflanzenbau, Landwirtschaft – Tierhaltung verkauft oder exportiert zu werden. Nicht nutzbare Bestandteile und damit Abwässer und Abfälle der verarbeitenden Industrie gelangen in die Abwasser- und/oder in die Abfallwirtschaft. Relevante phosphorhaltige Abfallströme sind tierische Nebenprodukte wie Abfälle aus Schlachtung und der Verarbeitung, pflanzliche Überreste aus der Lebensmittelherstellung und industrielles Abwasser. Neben der Verarbeitung von Produkten dient das Subsystem Industrie als Verteiler für pflanzliche und tierische Nahrungsmittel (Import, Export, Haushalt), Futtermittel (Import, Export, Haushalt, Landwirtschaft) und Rohphosphat/Düngemittel für Landwirtschaft, Haushalt und Export

Dem Subsystem Haushalt werden Papier, Holzgüter wie z.B. Möbel, Nahrungsmittel (tierisch und pflanzlich), Düngemittel in Haushaltsmengen, Reinigungsmittel und Energieholz bzw. unbehandeltes Holz zugeführt. Die Inputflüsse erfahren eine Transformation und verlassen das Subsystem als Restmüll, getrennt gesammelte biogene Abfälle, Altstoffe und Aschen aus der Energieholzverbrennung und werden in die zahlreichen Subprozessen der Abfallwirtschaft geführt. Die Ausscheidungen des menschlichen Metabolismus, Reinigungsmittel sowie Frachteinträge durch Niederschlagswasser (Mischkanalisation) gelangen über das



kommunale Abwasser in das Subsystem Abwasserwirtschaft und werden dort behandelt oder zu einem geringen Teil direkt in den Vorfluter geleitet (Regenüberlauf).

Das kommunale Abwasser wird zusammen mit den industriellen Abwässern im Subsystem Abwasserwirtschaft betrachtet. Zur deutlichen Unterscheidung der beiden Abwasserflüsse wurden jeweils ein Prozess für kommunales und ein Prozess für industrielles Abwasser eingeführt. Abwasser welches in die kommunale Abwasserreinigung fließt, wird zuerst über den Prozess Abwassersammlung/Abwassersystem geführt. Ein Teil des Abwassers gelangt über die Mischwasserentlastung direkt in das Gewässer, während der größte Anteil in die kommunale Abwasserreinigung fließt. Anfallender Klärschlamm kann entweder im Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau direkt verwertet oder im Subsystem Abfallwirtschaft weiter behandelt, verwertet oder deponiert werden. Phosphor, der nicht über den Klärschlamm entfernt wird, gelangt über den Ablauf der Kläranlage in die Gewässer. Abwasser aus industriellen Kläranlagen fließt als Fluss Direkteinleiter in die Gewässer.

Im Subsystem Abfallwirtschaft werden die Abfallfraktionen der Prozesse Landwirtschaft – Tierhaltung, Landwirtschaft – Pflanzenbau, Industrie, Haushalte und Abwasserwirtschaft gesammelt, behandelt, verwertet und/oder deponiert. Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten für die verschiedenen Abfallfraktionen sind mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen, Kompostierungsanlagen, Tierkörperbehandlungsanlagen, Biogasanlagen und thermische Anlagen. Bei der thermischen Behandlung wird zwischen Müll-, Mono- und Mitverbrennungsanlagen (Kohlekraftwerke, Zementindustrie) unterschieden. Schlacken und Flugaschen werden im Inland deponiert, während Filterkuchen ins Ausland exportiert werden. Biogene Umwandlungsprodukte wie Komposte gelangen in die Landwirtschaft – Pflanzenbau, auf Gartenflächen in Haushalten und auf sonstige Böden im Subsystem Forstwirtschaft. Biogasgülle wird überwiegend in der Landwirtschaft – Pflanzenbau eingesetzt. Tiermehle hingegen werden nur in geringen Mengen in der Landwirtschaft – Pflanzenbau eingesetzt und hauptsächlich thermisch behandelt oder exportiert. Altstoffe, primär Altpapier, werden gesondert über die Altstoffrecycling Austria (ARA) gesammelt und verwertet. Dieses Subsystem Abfallwirtschaft weist mit der Deponie ein Lager auf.

Phosphoreinträge in die Gewässer erfolgen zum einen über diffuse Einträge wie z.B. Erosion aus land- und forstwirtschaftlichen Böden und Auswaschungen aus Böden in das Grundwasser oder durch Punktquellen wie z.B. den Regenüberlauf oder den Ablauf einer Kläranlage.

In der folgenden Tabelle 7 werden die betrachteten Flüsse der österreichischen Phosphorbilanz mit Kürzel, Flussname, Herkunfts- und Zielprozessen aufgelistet.

<b>Kürzel</b>	<b>Flussname</b>	<b>Herkunftsprozess</b>	<b>Zielprozess</b>
F1.1	Import Lebewtiere	Import	LW, Tierhaltung
F1.2	Export Lebewtiere	LW, Tierhaltung	Export
F1.3	Wirtschaftsdünger LW	LW, Tierhaltung	LW, Pflanzenbau
F1.4	Tierische Produkte	LW, Tierhaltung	Industrie
F1.5	Wirtschaftsdünger Biogas	LW, Tierhaltung	Abfallwirtschaft
F1.6	Falltiere	LW, Tierhaltung	Abfallwirtschaft
F2.1	Futtermittel (nicht marktfähig)	LW, Pflanzenbau	LW, Tierhaltung
F2.2	Pflanzliche Produkte	LW, Pflanzenbau	Industrie
F2.3	Erosion Landwirtschaft	LW, Pflanzenbau	Gewässer
F2.4	Erosion LW zu FW	LW, Pflanzenbau	FW, Forstwirtschaft
F2.5	Deposition landw. Flächen	Import	LW, Pflanzenbau
F2.6	Landw. Stoffe zu Biogas	LW, Pflanzenbau	Abfallwirtschaft
F3.1	Import Holz & Papier	Import	Forstwirtschaft
F3.2	Export Holz & Papier	Forstwirtschaft	Export
F3.3	Papier zu Industrie	Forstwirtschaft	Industrie
F3.4	Papier zu Haushalt	Forstwirtschaft	Haushalt
F3.5	Energieholz	Forstwirtschaft	Haushalt
F3.6	Abwasser Papierindustrie	Forstwirtschaft	Abwasserwirtschaft
F3.7	Erosion Forstwirtschaft	Forstwirtschaft	Gewässer
F3.8	Holzgüter	Forstwirtschaft	Haushalt
F3.9	Deposition forst. & sonst. Fläche	Import	Forstwirtschaft
F4.1	Import Chemikalien	Import	Chemische Industrie
F4.2	Export Chemikalien	Chemische Industrie	Export
F4.3	Insektizide	Chemische Industrie	LW, Pflanzenbau
F4.4	Reinigungsprodukte	Chemische Industrie	Haushalt
F4.5	Abwasser chem. Industrie	Chemische Industrie	Abwasserwirtschaft
F5.1	Import Rohphosphat/Düngemittel	Import	Industrie
F5.2	Import Nahrungsmittel	Import	Industrie
F5.3	Import Futtermittel	Import	Industrie
F5.4	Saatgut	Industrie	LW, Pflanzenbau
F5.5	Mineraldünger LW	Industrie	LW, Pflanzenbau
F5.6	Export Nahrungsmittel	Industrie	Export
F5.7	Export Futtermittel	Industrie	Export
F5.8	Abwasser industriell	Industrie	Abwasserwirtschaft
F5.9	Abw. kommunal aus Industrie	Industrie	Abwasserwirtschaft
F5.10	Altstoffe	Industrie	Abfallwirtschaft
F5.11	Nahrungsmittel Haushalt	Industrie	Haushalt
F5.12	Mineraldünger Garten	Industrie	Haushalt
F5.13	Tierische Abfälle	Industrie	Abfallwirtschaft
F5.14	Pflanzliche Abfälle	Industrie	Abfallwirtschaft
F5.15	Futtermittel marktfähig	Industrie	LW, Tierhaltung
F6.1	Abwasser kommunal	Haushalt	Abwasserwirtschaft
F6.2	Restmüll	Haushalt	Abfallwirtschaft
F6.3	Biogene Abfälle getrennt ges.	Haushalt	Abfallwirtschaft
F6.4	Altstoffe Haushalt	Haushalt	Abfallwirtschaft
F6.5	Biogene Abfälle	Haushalt	Abfallwirtschaft



F6.6	Aschen Haushalt aus Biomasse	Haushalt	Abfallwirtschaft
F7.1	Klärschlamm kommunal	Abwasserwirtschaft	Abfallwirtschaft
F7.2	Ablauf	Abwasserwirtschaft	Gewässer
F7.3	Klärschlamm industriell	Abwasserwirtschaft	Abfallwirtschaft
F7.4	Direkteinleiter	Abwasserwirtschaft	Gewässer
F7.5	Regenüberlauf	Abwasserwirtschaft	Gewässer
F8.1	Import Tierkörperbehandlung	Import	Abfallwirtschaft
F8.2	organischer Dünger LW	Abfallwirtschaft	LW, Pflanzenbau
F8.3	Substrat Landschaftsbau	Abfallwirtschaft	Forstwirtschaft
F8.4	Altpapier	Abfallwirtschaft	Forstwirtschaft
F8.5	Export Filterkuchen	Abfallwirtschaft	Export
F8.6	Export Tiermehl	Abfallwirtschaft	Export
F8.7	Altholz unbehandelt	Abfallwirtschaft	Haushalt
F8.8	Kompost Haushalt	Abfallwirtschaft	Haushalt
F8.9	Klärschlamm Landwirtschaft	Abfallwirtschaft	LW, Pflanzenbau
F9.1	Import Gewässer	Import	Gewässer
F9.2	Export Gewässer	Gewässer	Export

*Tabelle 7: Flüsse der österreichischen Phosphorbilanz*

## 2.6 Subsystembeschreibung

Im folgenden Kapitel werden die neun Subsysteme einschließlich der dazugehörigen Prozesse und aller zu- und abführender Flüsse detailliert beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten Datengrundlage und die Berechnung der einzelnen Flüsse erfolgt im Anhang in Kapitel 4.

### 2.6.1 Landwirtschaft – Tierhaltung

Das Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung wird aus Gründen der Übersichtlichkeit in die Prozesse Tierhaltung, Produktion (Milch & Eier), Produktion (Fleisch) und Handel tierische Produkte unterteilt (Abbildung 4). Der Prozess Tierhaltung wird mit einem Lager (L1.1) dargestellt und errechnet sich aus dem veränderlichen Tierbestand in Österreich. Die Inputflüsse in das Subsystem Tierhaltung sind markt- und nichtmarktfähige Futtermittel (F5.15 bzw. F2.1), sowie die Importe an Lebewesen (F1.1). Outputflüsse sind Export Lebewesen (F1.2), Wirtschaftsdünger Landwirtschaft (F1.3) mit Ziel Landwirtschaft – Pflanzenbau und Wirtschaftsdünger Biogas (F1.5) mit Ziel Abfallwirtschaft. Die erzeugten tierischen Nahrungsmittel werden in die Flüsse Milch & Eier (P1.1) und Schlachtvieh (P1.2) getrennt und anschließend über den Subprozess Handel tierische Produkte zu tierische Produkte (F1.4) zusammengefügt. Über diesen Prozess werden die tierischen Produkte in das Subsystem Industrie geführt, in welchem die (Weiter-)Verarbeitung der tierischen Nahrungsmittel erfolgt und tierische Abfälle aus der Lebensmittelherstellung anfallen.

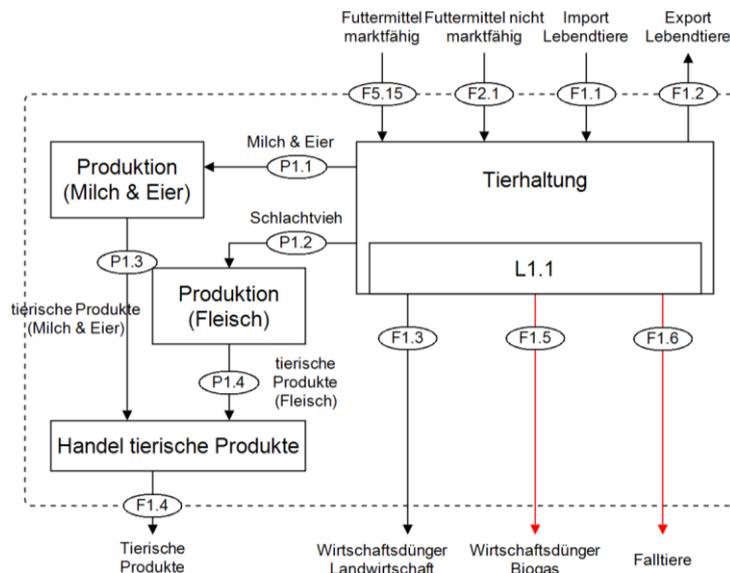


Abbildung 4: Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung



## 2.6.2 Landwirtschaft – Pflanzenbau

Das Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau betrachtet und behandelt die Produktion von pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln auf dem dazu erforderlichen Boden, der eine Lagerfunktion (L2.1) besitzt. Die für die Herstellung von pflanzlichen Produkten eingesetzten Düngemittel wie Wirtschaftsdünger Landwirtschaft (F1.3), Mineraldünger Landwirtschaft (F5.5), Klärschlamm Landwirtschaft (F8.9) und weitere organische Dünger (F8.2), sowie Saatgut (F5.4) und Insektizide (F4.3), gelangen direkt in dieses Subsystem. Zusätzlich gelangt über die Deposition (F2.5) Phosphor auf landwirtschaftliche Flächen. Nicht marktfähiges Futtermittel (F2.1) wird direkt im Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung eingesetzt, während marktfähiges Futtermittel (F2.2) in der Industrie weiterverarbeitet wird. Die Erosion ist ein wesentlicher Prozess in der Landwirtschaft. Nur ein relativ geringer Anteil des gesamt mobilisierten Phosphors gelangt tatsächlich in die Gewässer (Erosion Landwirtschaft (F2.3)), während ein Großteil des mobilisierten Phosphors auf andere landwirtschaftliche Flächen verlagert wird oder in forstwirtschaftliche oder sonstigen Flächen erodiert wird (F2.4). Ein Teil der landwirtschaftlich erzeugten Produkte oder auch Abfallstoffe aus deren Erzeugung werden für die Biogasproduktion (F2.6) herangezogen. Die Differenz aus Input- und Outputflüssen führen zu einer Lagerveränderung im Boden (L2.1).

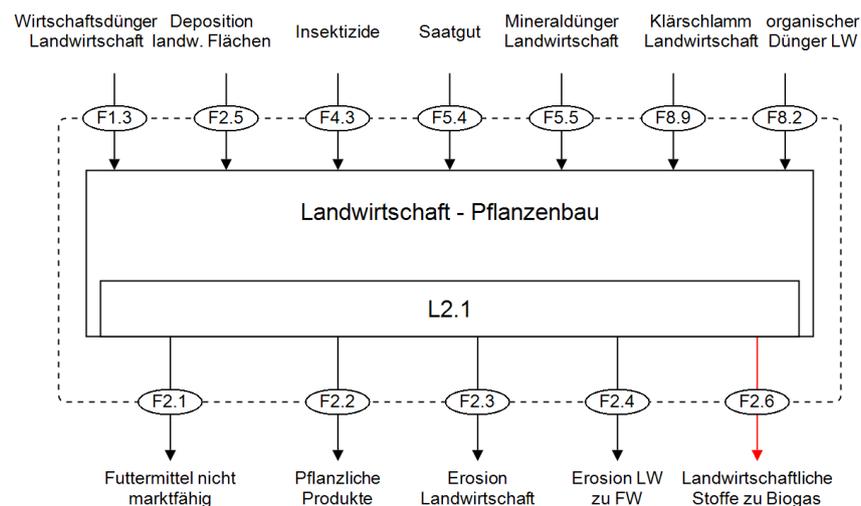


Abbildung 5: Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

### 2.6.3 Forstwirtschaft, sonstige Böden und nachgelagerte Prozesse

Das Subsystem Forstwirtschaft umfasst die Prozesse Wald und Boden, sowie die nachgelagerten Prozesse Holzverarbeitung und Papierindustrie und den Prozess Deposition. Der Prozess sonstige Böden bzw. Rekultivierungsflächen wird ebenfalls diesem Subsystem zugeordnet bei. Das Subsystem Handel Holz & Papier steuert die notwendigen Importe und Exporte an Holz und Papier. Das Nutzholz (P3.1) für den Prozess Holzverarbeitung stammt aus der Forstwirtschaft (L3.1), aus welchem ebenso der Fluss Erosion Forstwirtschaft (P3.7) abzweigt. Zuflüsse stammen von der Deposition Forstwirtschaft (P3.8), welches über den Prozess Distribution Deposition geführt wird. Der Prozess Holzverarbeitung stellt Holzgüter (F3.5) und Energieholz (F3.8) für das Subsystem Haushalt und Rohstoffe für die Papierindustrie (P3.2) bereit. Die Importe und Exporte für die Holzverarbeitung und die Papierindustrie werden über den Prozess Handel Holz & Papier gesteuert. Die Papierindustrie bezieht ihre Rohstoffe für die Papierproduktion aus dem Handel Holz & Papier (P3.5), der Holzverarbeitung (P3.2) und dem Altpapier (F8.4). Abgehende Flüsse sind Export Papier & Rohstoffe (P3.6) und Papier für Haushalt und Industrie (F3.4 bzw. F3.3) Als Abfallprodukt fällt zudem industrielles Abwasser (F3.6) an, welches über das Subsystem Abwasserwirtschaft geführt wird. Das Subsystem sonstige Böden/Rekultivierungsflächen dient als Zielprozess unterschiedlicher Substrate (F8.3) aus der Abfallwirtschaft und als Zielprozess für Phosphor aus der Deposition (P3.7). Zusätzlich weist dieser Prozess ein Lager (L3.2) auf.

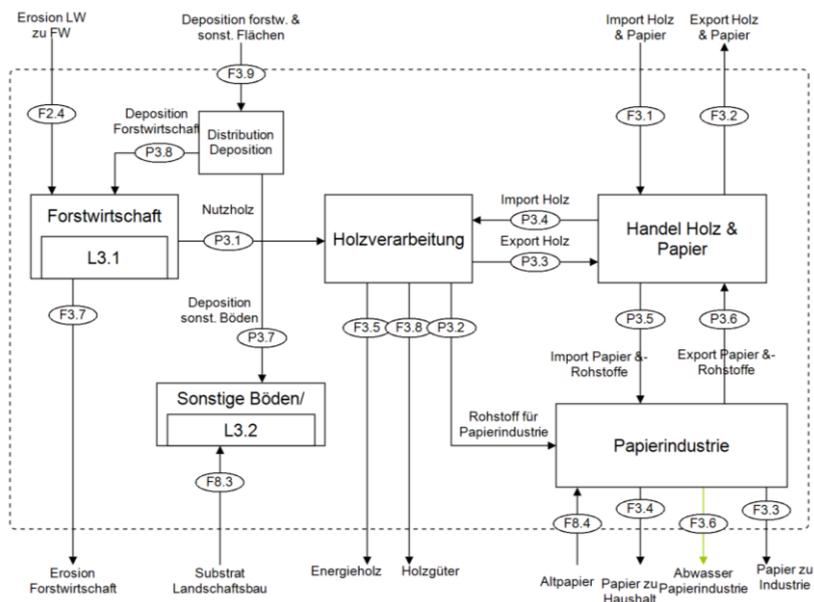


Abbildung 6: Subsystem Forstwirtschaft und nachgelagerte Prozesse



## 2.6.4 Chemische Industrie

Dieses Subsystem beinhaltet die drei Prozesse Import & Export Chemikalien, chemische Industrie (Produktion/Handel) und Handel Landwirtschaft. Sämtliche phosphorhaltigen Chemikalien werden über den Prozess Import & Export Chemikalien geführt. Aus diesem Prozess gelangen die Flüsse Reinigungsmittel Import (F4.3) und chemische Produkte Import (P4.4) in den Prozess Chemische Industrie (Produktion/Handel) und von dort als Reinigungsprodukte (F4.4) in den Haushalt, als Abwasser (F4.5) in die Abwasserwirtschaft, als im Inland produzierte Insektizide (P4.2) in den Prozess Handel Landwirtschaft oder als Exportware wie Insektizide (P4.5), Reinigungsmittel (P4.6), und chemische Produkte (P4.7) zurück in den Prozess Import & Export Chemikalien. Insektizide (F4.3), die über das Subsystem in die Landwirtschaft – Pflanzenbau gelangen, setzen sich aus importierten Insektiziden (P4.1) und aus in der chemischen Industrie hergestellten Insektiziden (F4.2) zusammen. Dieses Subsystem wird als Durchlaufsystem ausgeführt und besitzt somit kein Lager.

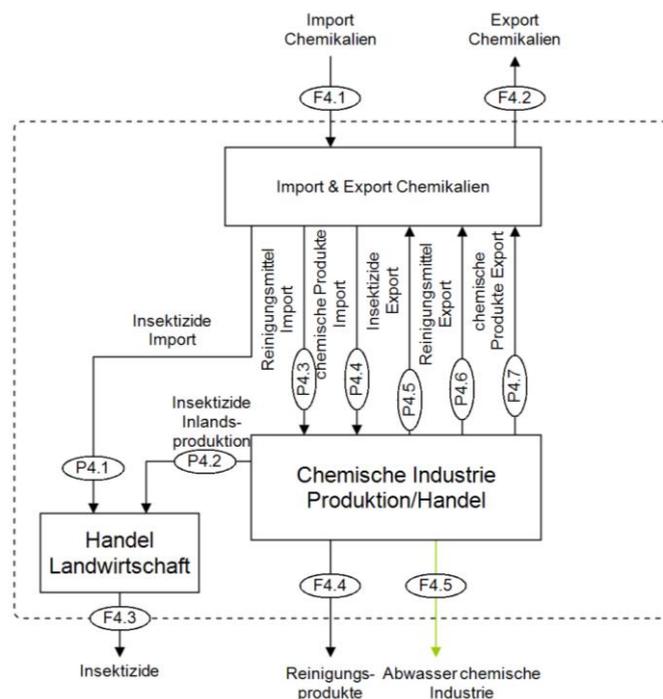


Abbildung 7: Subsystem chemische Industrie

## 2.6.5 Industrie (Futter-, Nahrungs-, Düngemittel)

Dieses Subsystem gliedert sich in die fünf Prozesse Lebensmittelindustrie, Industrie Handel und Vertrieb, Handel Futtermittel, Handel Mineraldünger und sonstige Materialien. Im Prozess Lebensmittelindustrie erfolgt die Herstellung von pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln, zusammengefasst als Fluss Nahrungsmittel (P5.2). Die dafür nötigen Inputflüsse sind tierische- und pflanzliche Produkte (F1.4 bzw. F2.2) und Importe an Nahrungsmitteln (F5.2). Neben den menschlichen Nahrungsmitteln wird aus den beschriebenen Inputflüssen Futtermittel (P5.1) hergestellt, welches in den Prozess Handel Futtermittel fließen. Die tierischen und pflanzlichen Abfallprodukte (F5.13 bzw. F5.14) werden in das Subsystem Abfallwirtschaft geleitet. Die Flüsse Abwasser industriell (F5.8) und Abwasser kommunal aus Industrie (F5.9) gelangen in das Subsystem Abwasserwirtschaft.

In den Prozess Industrie Handel und Vertrieb/Nahrungsmittel werden die Nahrungsmittel (P5.2) aus der Lebensmittelindustrie in den Prozess Haushalt geleitet und über die Flüsse Export Nahrungsmittel (F5.6) und Nahrungsmittel Haushalt (F5.11) aus dem System geführt. Über den Prozess Handel Futtermittel gelangen die Futtermittel aus der Lebensmittelindustrie (P 5.1) und die importierten Futtermittel (F5.3) in die Landwirtschaft – Tierhaltung (F5.15) und werden exportiert (F5.7). Mineraldünger gelangen nur über Importe Mineraldünger (F5.1) in den gleichnamigen Prozess und werden in die Subsysteme Landwirtschaft – Pflanzenbau (F5.5) und Haushalt (F5.12) verteilt. Über den Prozess sonstige Materialien gelangt Papier (F3.3) in die Industrie, das als Altstoff (F5.10) in das Subsystem Abfallwirtschaft fließt. Eine mögliche Lagerbildung wird nicht berücksichtigt.

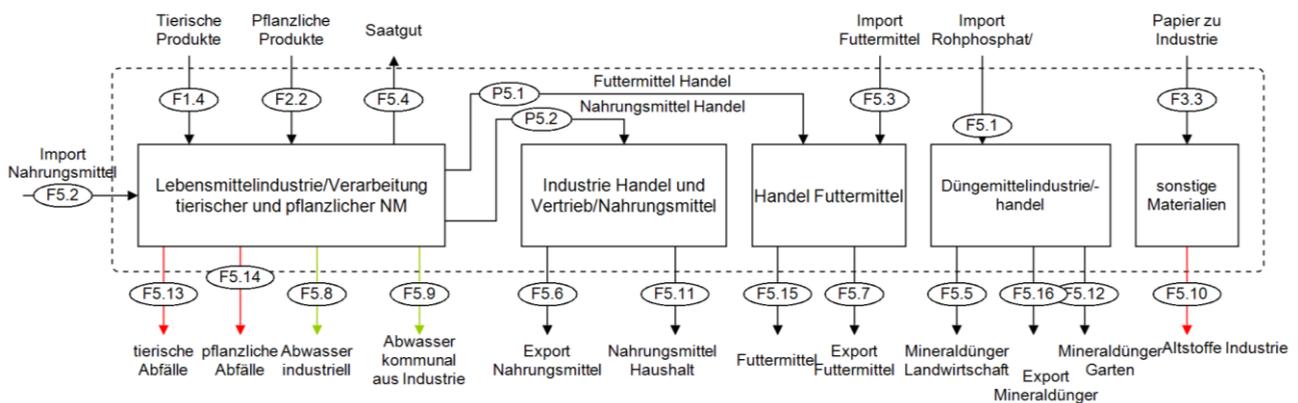


Abbildung 8: Subsystem Industrie



## 2.6.6 Haushalt, Infrastruktur

Das Subsystem Haushalt gliedert sich in die Prozesse Haushalt, Energiegewinnung aus Biomasse und Garten. Papier (F3.4), Holzgüter (F3.8), Reinigungsprodukte (F4.4) und Nahrungsmittel Haushalt (F5.11) sind die Inputflüsse des Prozesses Haushalt. Aus der Transformation in diesem Prozess resultiert Abwasser kommunal (F6.1), feste Abfälle wie Restmüll (6.2), getrennt gesammelte biogene Abfälle (F6.3), Altstoffe HH (F6.4) und biogene Abfälle (z.B. Marktäfte, Grünabfälle aus Gärten und Parks, Straßenbegleitgrün und Friedhofsabfälle) (F6.5) die sowohl den Prozess als auch das Subsystem verlassen. Eigenkompostierung (P6.1) mit Ziel Garten und Gartenabfälle (P6.3) und mit Ziel Haushalt interne Flüsse.

Der Prozess Energiegewinnung aus Biomasse transformiert die Zuflüsse Energieholz (F3.5) und Altholz unbehandelt (F8.7) in Asche, deren Ziel der Prozess Garten oder das Subsystem Abfallwirtschaft zur Deponierung ist. Der Prozess Garten besitzt ein Lager dessen externe Inputflüsse Mineraldünger Garten (F5.12) und Kompost HH (F8.8) sind und dessen interne Zuflüsse die Eigenkompostierung (P6.1) sowie die Asche Garten (P6.2) sind. Ein Teil des Gartenabfallaufkommens (P6.3) wird in den Prozess Haushalt geführt und gelangt von dort über den Fluss biogene Abfälle getrennt gesammelt (F6.3) in die Abfallwirtschaft. Der Fluss Abwasser kommunal (P6.1) wird dem Prozess Abwassersystem/Abwassersammler zusammengeführt und gelangt als kommunales Abwasser in die kommunale Kläranlage des Subsystems Abwasserwirtschaft geführt.

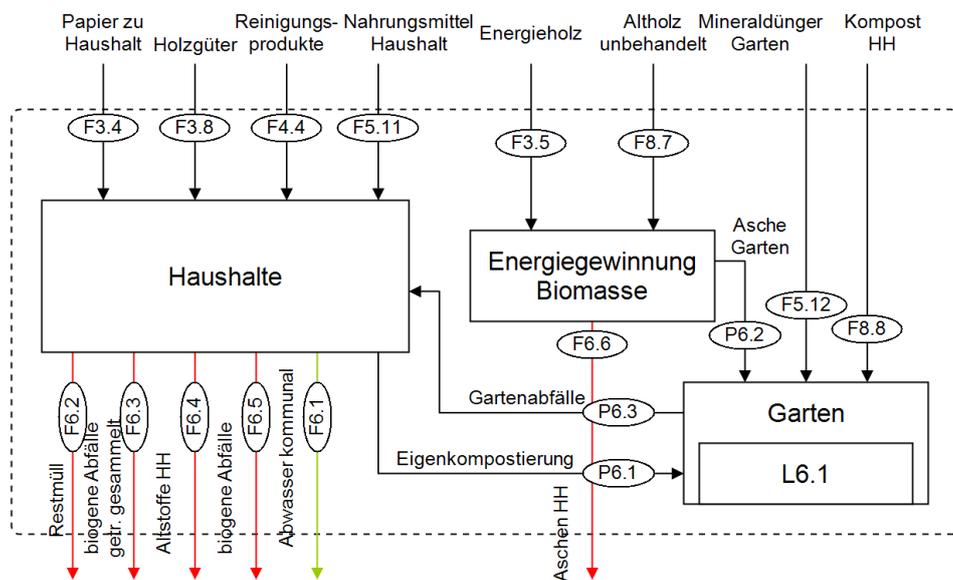


Abbildung 9: Subsystem Haushalt

## 2.6.7 Abwasserreinigung

Zur Verdeutlichung der Phosphormengen in der kommunalen Abwasserreinigung wird das Subsystem Abwasserwirtschaft anhand der gesondert dargestellten Prozesse kommunale Abwasserreinigung und industrielle Abwasserreinigung beschrieben (Abbildung 10).

Die Zuflüsse der kommunalen Abwasserreinigung setzen sich aus dem Abwasser kommunal (F6.1) und aus Abwässern der Industrie, welches in kommunalen Anlagen behandelt wird (F5.9) zusammen und fließen zuerst in den Prozess Abwassersammlung/Abwassersystem. Aus diesem Prozess fließt der Regenüberlauf (F7.5) in die Gewässer und das Abwasser (P7.1) zu der kommunalen Abwasserreinigung. Der gesamte anfallende Klärschlamm gelangt als kommunaler Klärschlamm (F7.1) in das Subsystem Abfallwirtschaft. Jener Phosphoranteil der nicht über den Klärschlamm aus dem kommunalen Abwasser entfernt wird, gelangt über den Ablauf (F7.2) in das Subsystem Gewässer. Die Abwässer der industriellen Abwasserreinigung resultieren aus den Flüssen der Papierindustrie (F3.6), der chemischen Industrie (F4.5) und der (Lebensmittel-)Industrie (F5.8). Die dabei entstehenden Klärschlämme (industriell) (F7.3) werden vollständig in das Subsystem Abfallwirtschaft geführt. Der sehr geringe Anteil der landwirtschaftlichen Verwertung wird nicht berücksichtigt. Der nicht rückgehaltene Phosphor gelangt über den Fluss Direkteinleiter (F7.4) in die Gewässer. Eine detaillierte Aufgliederung der einzelnen Behandlungsmethoden für den anfallenden Klärschlamm wird im Kapitel 2.6.8 des Subsystems Abfallwirtschaft dargestellt.

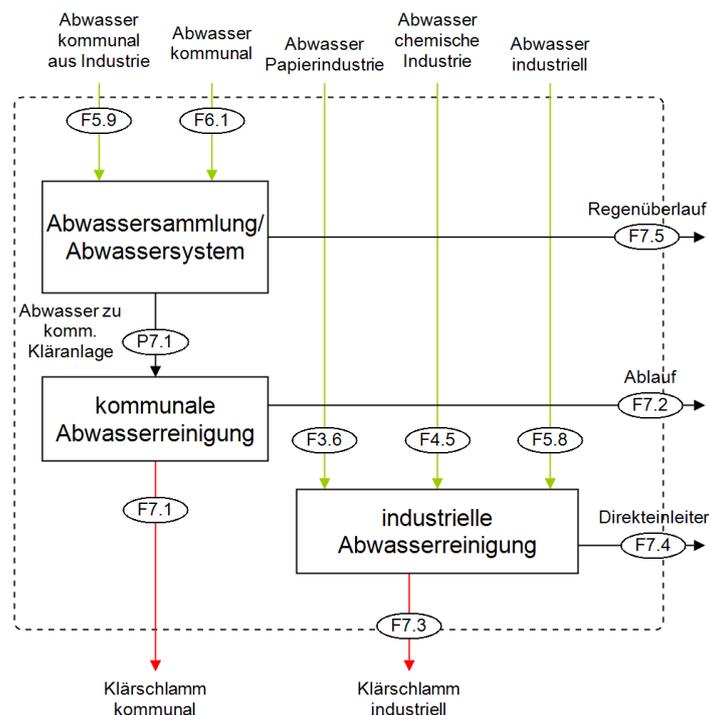


Abbildung 10: Subsystem Abwasserwirtschaft



### 2.6.8 Abfallwirtschaft

Das Subsystem Abfallwirtschaft hat, nicht zuletzt aufgrund seiner Funktion als Senke für phosphorhaltige Abfälle, ähnlich dem Subsystem Abwasserwirtschaft, eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Entwicklung zukünftiger Phosphorrückgewinnungsstrategien und -technologien. Dies veranlasste zu einer sehr genauen Überprüfung, Analyse und Berechnung sämtlicher phosphorhaltigen Abfälle in diesem Subsystem. Ausgehend von diesen Anforderungen entstand ein komplexes Subsystem mit insgesamt 15 Prozessen. Die folgenden neun aufgelisteten Prozesse sind Stand der Technik zur Verwertung, Behandlung und Entsorgung der anfallenden phosphorhaltigen Abfälle.

- Müllverbrennungsanlagen (MVA)
- Monoverbrennungsanlagen (MonoV)
- Mitverbrennung in industriellen Anlagen (Sekundärbrennstoff)
- Mechanisch-biologische Abfallbehandlung (MBA)
- Kompostieranlagen
- Tierkörperbehandlung
- Biogasanlagen
- Altstoffsammlung
- Deponie

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit werden bei der Darstellung des Gesamtsystems Flüsse zwischen den Subsystem teilweise zusammengefasst, die jedoch in den Systemen selbst wieder verschiedenen Prozessen zugeordnet werden. Die sehr detaillierte Beschreibung und die daraus entstehenden zahlreichen Prozesse in der Abfallwirtschaft verlangen für eine übersichtliche Darstellung der einzelnen internen Flüsse sogenannte Distributionsprozesse. Diese werden für die Flüsse Klärschlamm, Restmüll und organische Abfälle angelegt. Auch Outputflüsse werden im Subsystem teilweise zum Zweck der besseren Übersicht zusammengefasst.

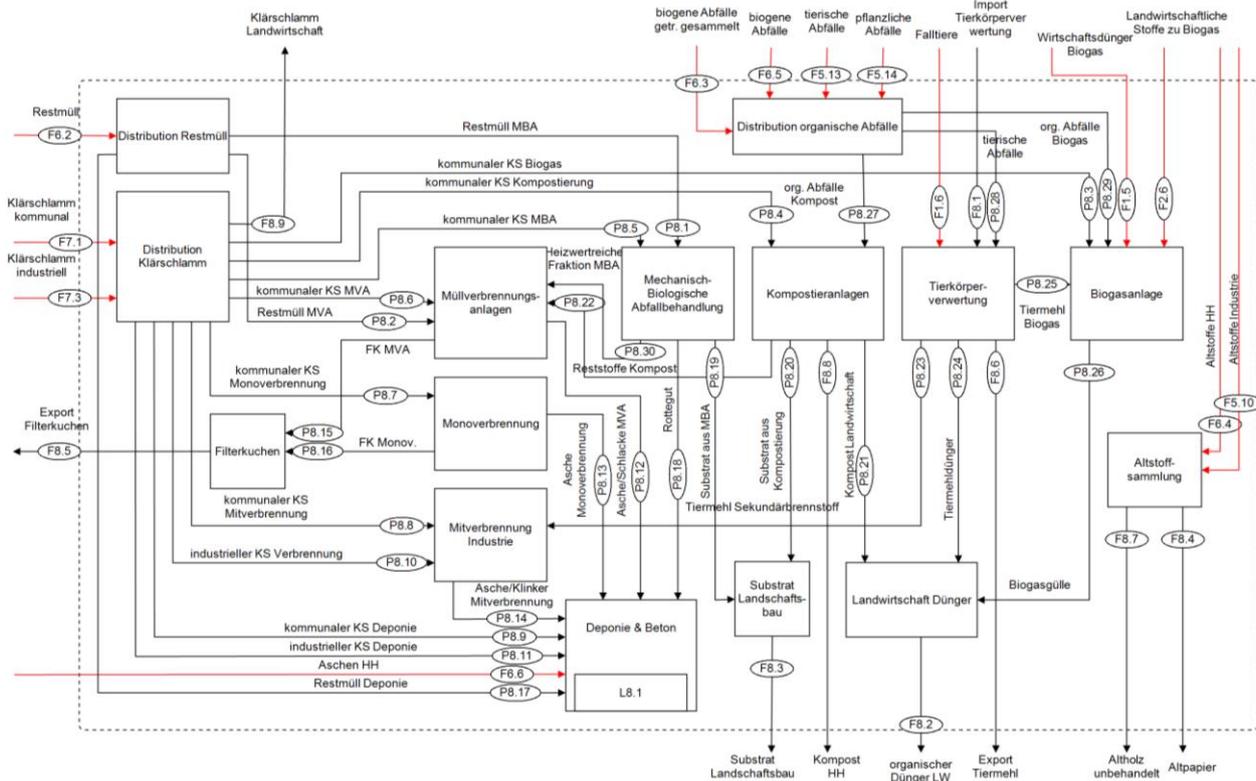


Abbildung 11: Subsystem Abfallwirtschaft

Die Zuflüsse des Subsystems Abfallwirtschaft sind Restmüll (F6.2), getrennt gesammelte biogene Abfälle (F6.3), Altstoffe HH (F6.4), biogene Abfälle (F6.5) und Aschen HH (F6.6) aus dem Subsystem Haushalt, kommunale und industrielle Klärschlämme (F7.1 bzw. F7.3) aus dem Subsystem Abwasserwirtschaft, tierische- und pflanzliche Abfälle (F5.13 bzw. F5.14) und Altstoffe (F5.10) aus der Industrie, Wirtschaftsdünger Biogas (F1.5) und Falltiere (F1.6) aus dem Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung und landwirtschaftliche Stoffe zu Biogas (F2.4) aus dem Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau. Zusätzlich stammen Schlachtabfälle aus dem Import (F8.1), die in die Tierkörperbehandlung fließen.

Der Klärschlamm (KS) im Subsystem Abfallwirtschaft lässt sich in kommunaler KS Biogas (P8.3), kommunaler KS Kompostierung (P8.4), kommunaler KS MBA (P8.5), kommunaler KS MVA (P8.6), kommunaler KS Monoverbrennung (P8.7), kommunaler KS Mitverbrennung (P8.8), und kommunaler KS Deponie (P8.9), sowie industrieller KS Verbrennung (P8.10) und industrieller KS Deponie (P8.11) unterteilen.

Restmüll aus dem Prozess Distribution Restmüll gelangt in die mechanisch-biologische Abfallbehandlung (P8.1), in Müllverbrennungsanlagen (P8.2) und in die Deponie (8.17)

Organische Abfälle fließen als organische Abfälle Kompost (P8.27) in die Kompostierung, als tierische Abfälle (P8.28) in die Tierkörperbehandlung und als organische Abfälle Biogas (P8.29) in die Biogasanlage.

Neben den bereits erwähnten Inputflüssen Klärschlamm und Restmüll in die thermische Verwertung werden auch Reststoffe der Kompostierung (P8.22) und Tiermehl als Sekundärbrennstoff (P8.23) in den thermischen Anlagen verwertet. Die entstehenden Rückstände wie (Flug-)Aschen (P8.12, P8.13) gelangen in den Prozess Deponie (L8.1), während die Filterkuchen (P8.15, P8.16) der Verbrennungsprozesse über den Prozess Export Filterkuchen gebündelt und anschließend exportiert (F8.5) werden.



Die Outputflüsse der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung sind das Rottegut (P8.18) mit Ziel Deponie, das Substrat (P8.19) mit Zielprozess Substrat Landschaftsbau und die heizwertreiche Fraktion (P8.30) mit Zielprozess Müllverbrennungsanlage. Die Flüsse aus der Kompostieranlage gelangen teilweise als Reststoffe Kompost (P8.22) in die Müllverbrennungsanlagen, als Substrat der Kompostierung (P8.20) in den Prozess Substrat Landschaftsbau oder als Kompost (P8.21) in die Landwirtschaft.

Die Tierkörperbehandlung ist, im Hinblick auf die großen Phosphormengen, ein wichtiger Prozess. Endprodukte sind verschiedene Mehle wie Tiermehl, Fleischmehl und Blutmehl, die wiederum als Sekundärbrennstoff (P8.23) in der Mitverbrennung Industrie, als Dünger in der Landwirtschaft (P8.24) und in Biogasanlagen (P8.25) eingesetzt und exportiert (F8.6) werden.

Der phosphorhaltige Outputfluss der Biogasanlage ist die Biogasgülle (P8.26), die über den Prozess Landwirtschaft Dünger zusammen mit dem Tiermehldünger (P8.24) und dem Kompost (P8.21) als organischer Dünger (F8.2) im Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau eingesetzt wird.

Der Prozess Altstoffsammlung beinhaltet die Inputflüsse Altstoff Haushalt (F6.5) und Altstoffe Industrie (F5.10) die diesen Prozess als Altholz unbehandelt (F8.7) und Altpapier (F8.4) wieder verlassen.

Der Prozess Deponie wird als Lager ausgeführt und stellt die Senke für die Flüsse kommunaler KS Deponie (P8.9), industrieller KS Deponie (P8.11), Aschen Haushalt (F6.6), Aschen bzw. Schlacken (P8.12, P8.13) der Verbrennungsprozesse und Rottegut (P8.18) der MBA-Anlagen dar.

## 2.6.9 Prozess Gewässer

90% der österreichischen Fläche wird über die Donau entwässert, wobei bereits eine signifikante P-Fracht über die Donau nach Österreich importiert (F9.1) wird. Durch Erosionen aus Land- und Forstwirtschaft (F2.3, F3.7), Abläufe der kommunalen Abwasserreinigung (F7.2), Direkteinleitungen aus der Industrie (F7.4) und Regenüberläufe (F7.5) wird diese Fracht erhöht. In den Sedimenten und Uferzonen kann es zu Phosphorretentionen, die mit einem Lager (L9.1) berücksichtigt werden.

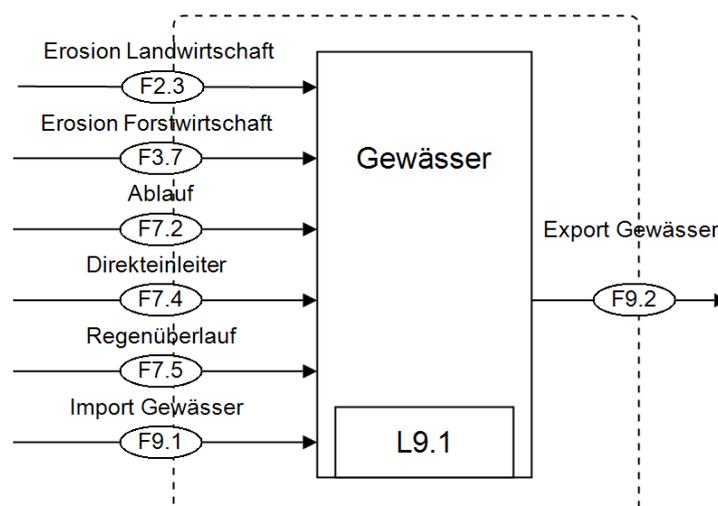


Abbildung 12: Subsystem Gewässer

### 3 Ergebnisse

Ergebnisse der Ausgleichsrechnung der Stoffflussanalyse werden als Grafiken aus dem Programm STAN und in Tabellenform mit den dazugehörigen Prozessflüssen dargestellt. STAN stellt die Flüsse in Form von Pfeilen dar, deren Breite proportional zur P-Fracht ist (Sankey Diagramm). Weiters sind in den Abbildungen die Größe des Lagers und die Lagerveränderung angegeben. In der Ergebnistabelle werden die Input-, Output- und Systeminternen Flüsse, sowie die Lagerveränderung dargestellt. Die Flüsse und Lagerveränderungen werden in t P/a auf zwei signifikante Stellen gerundet und deren Unsicherheit in Prozent angegeben. Lager werden in t P und ebenfalls auf zwei signifikante Stellen angegeben. Die Ergebnistabellen weisen zusätzlich die Stoffflüsse und Lagerveränderungen als einwohnerspezifische Werte in kg P/(E\*a) aus. Die Einwohnerzahl wird als Mittelwert des Beobachtungszeitraums von 2004–2008 mit 8,3 Mio. angenommen. Im Anhang (Kapitel 7.1) werden auch die Abbildungen zu den Stoffflussanalysen aus STAN in kg P/(E\*a), deren Unsicherheit in Prozent und die Lager in kg P/E dargestellt.

Aufgrund der Anwendung der Ausgleichsrechnung stimmt in manchen Fällen das Ergebnis der P-Fracht aus der Berechnung Güterfluss multipliziert mit der Phosphorkonzentration nicht mehr genau mit den angegebenen P-Frachten aus der Ausgleichsrechnung überein. Die P-Konzentrationen beziehen sich auf die eigenhändig berechneten Phosphorfrachten und nicht auf jene, die aufgrund der Ausgleichsrechnung resultieren.

Für bestimmte Flüsse liegen keine bekannten Gütermengen vor. Diese Frachten wurden daher oftmals alternativ berechnet. Deren Berechnungsgrundlage wird im Anhang (7.1) detailliert erklärt. In den Tabellen werden der Güterfluss und die Unsicherheit für diese Flüsse nicht dargestellt.

Im Zuge der detaillierteren Beschreibung der Subsysteme umfasst die tabellarische Darstellung die Herkunfts- bzw. Zielprozesse, den Flussnamen, den Güterfluss in 1.000 t/a, die Unsicherheit in % des Güterflusses, die P-Konzentration in g/kg der Frischmasse (ausgenommen sind Klärschlämme mit g P/kg Trockenmasse) und die mittlere P-Fracht in t/a mit der dazugehörigen Unsicherheit. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgt aufgrund der Zielsetzung in diesem Projekt fortwährend mit Bezug auf Abfall- und Abwasserwirtschaftliche Flüsse und Fragestellungen. Diese soll durch eine Einrahmung deutlich vom gesamten Text hervorgehoben werden. In den Grafiken rot eingefärbte Flüsse verdeutlichen die Zuflüsse zum Subsystem Abfallwirtschaft, grün gefärbte Flüsse den Zufluss zum Subsystem Abwasserwirtschaft. In der nun folgenden Abbildung 13 und der dazugehörigen Tabelle 8 werden die Ergebnisse des Hauptsystems grafisch und jeder Fluss des Hauptsystems (F1.1–F9.1) der österreichischen Phosphorbilanz tabellarisch dargestellt. In den folgenden Kapiteln werden die Ergebnisse anhand der Subsysteme detailliert beschrieben und anschließend in einer Zusammenfassung übergreifend diskutiert.

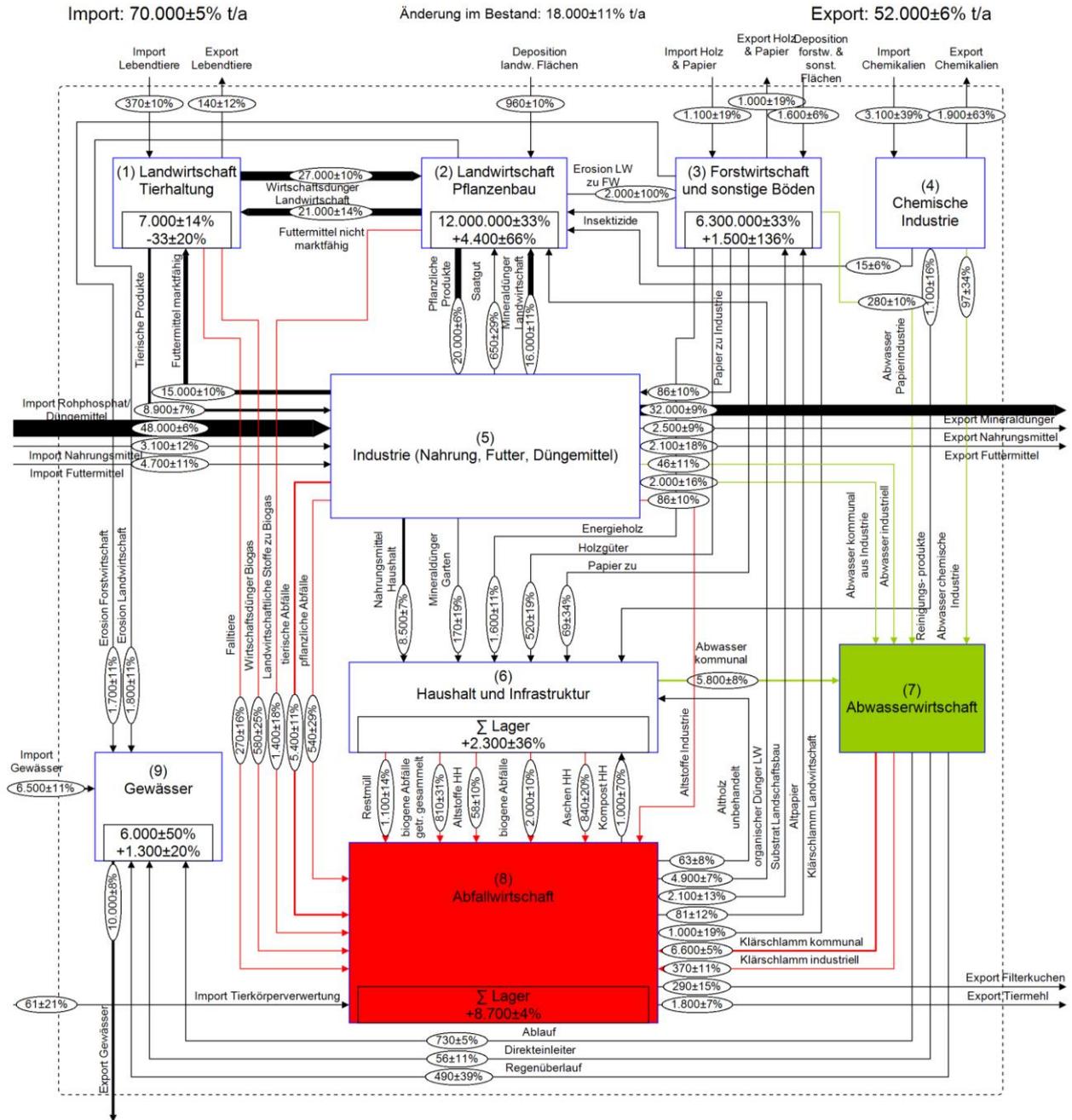


Abbildung 13: Gesamtsystem Phosphorbilanz Österreich (t P/a, auf 2 signifikante Stellen gerundet)

Die nachfolgenden Prozesslisten zeigen die Zu- und Abflüsse der einzelnen Subsysteme des Hauptsystems.

Landwirtschaft - Tierhaltung	Herkunftssystem		P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit	
	Flussname					
Landwirtschaft - Tierhaltung	Import		372	0,05	+/-	10%
	LW - Pflanzenbau	Futter (nicht marktfähig)	21.472	2,60	+/-	14%
	Industrie	Futtermittel	15.179	1,84	+/-	10%
	<b>Zielsystem</b>					
	LW - Tierhaltung	Export Lebendtiere	136	0,02	+/-	12%
	LW - Pflanzenbau	Wirtschaftsdünger LW	27.167	3,29	+/-	10%
	Industrie	Tierische Produkte	8.911	1,08	+/-	7%
	Abfallwirtschaft	Wirtschaftsdünger Biogas	576	0,07	+/-	25%
	Abfallwirtschaft	Falltiere	266	0,03	+/-	16%
Lager	Tierbestand	6.989	0,85	+/-	14%	
<b>Lagerveränderung</b>		<b>Zunahme Tierbestand</b>	<b>-33</b>	<b>&lt;0,01</b>	<b>+/-</b>	<b>20%</b>

Landwirtschaft - Pflanzenbau	Herkunftssystem	Flussname	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit	
	LW - Tierhaltung	Wirtschaftsdünger LW	27.167	3,29	+/- 10%	
	Chemische Industrie	Insektizide	15	<0,01	+/- 6%	
	Industrie	Saatgut	647	0,08	+/- 29%	
	Industrie	Mineraldünger LW	16.349	1,98	+/- 11%	
	Abwasserwirtschaft	Klärschlamm Landwirtschaft	979	0,12	+/- 20%	
	Abfallwirtschaft	org. Dünger LW	4.939	0,60	+/- 7%	
	<b>Zielsystem</b>					
	LW - Tierhaltung	Futter (nicht marktfähig)	21.472	2,60	+/- 14%	
	Industrie	Pflanzliche Produkte	20.122	2,44	+/- 6%	
	Gewässer	Erosion Landwirtschaft	1.840	0,22	+/- 11%	
	Forstwirtschaft	Erosion LW zu FW	2.000	0,24	+/- 100%	
	Abfallwirtschaft	Landwirtschaftliche Stoffe	1.359	0,16	+/- 18%	
	Lager	Landwirtschaftlicher Boden	12.146.619	1.471	+/- 33%	
<b>Lagerveränderung</b>	<b>P-Zunahme in landw. Böden</b>	<b>4.261</b>	<b>0,52</b>	<b>+/- 68%</b>		

Forstwirtschaft und sonstige Böden	Herkunftssystem	Flussname	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit	
	Import	Import Holz & Papier	1.063	0,13	+/- 19%	
	Import	Deposition forstw. und sonst. Flächen	1.559	0,19	+/- 6%	
	Landwirtschaft	Erosion LW zu FW	2.000	0,24	+/- 100%	
	Abfallwirtschaft	Altpapier	81	0,01	+/- 12%	
	Abfallwirtschaft	Substrat Landschaftsbau	2.063	0,25	+/- 13%	
	<b>Zielsystem</b>					
	Export	Export Holz & Papier	1.018	0,12	+/- 19%	
	Haushalt	Holzgüter	523	0,06	+/- 19%	
	Haushalt	Papier Haushalt	69	0,01	+/- 34%	
	Haushalt	Energieholz	1.574	0,19	+/- 11%	
	Industrie	Papier Industrie	86	0,01	+/- 10%	
	Abwasserwirtschaft	Abwasser Papierindustrie	281	0,03	+/- 10%	
	Gewässer	Abfluss/Erosion	1.716	0,21	+/- 11%	
	Lager	Forstwirtschaft	6.211.060	751,94	+/- 1%	
	Lager	sonstige Böden	82.892	10,04	+/- 35%	
	<b>Lagerveränderung</b>	<b>P-Verlust in Forstwirtschaft</b>	<b>-938</b>	<b>-0,11</b>	<b>+/- -216%</b>	
	<b>Lagerveränderung</b>	<b>Zunahme P in sonstigen Böden</b>	<b>2.437</b>	<b>0,30</b>	<b>+/- 11%</b>	

chemische Industrie	Herkunftssystem	Flussname	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit	
	Import	Import Chemikalien	3.082	0,37	+/- 39%	
	<b>Zielsystem</b>					
	Export	Export Chemikalien	1.896	0,23	+/- 63%	
	LW - Pflanzenbau	Insektizide	15	<0,01	+/- 6%	
	Haushalt	Reinigungsprodukte	1.072	0,13	+/- 16%	
Abwasserwirtschaft	Abwasser chemische Industrie	99	0,01	+/- 33%		



	Herkunftssystem	Flussname	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit		
	<b>Industrie</b>	Import	Import Mineraldünger	48.486	5,87	+/-	6%
Import		Import Nahrungsmittel	3.136	0,38	+/-	12%	
Import		Import Futtermittel	4.699	0,57	+/-	11%	
LW - Tierhaltung		tierische Produkte	8.911	1,08	+/-	7%	
LW - Pflanzenbau		pflanzliche Produkte	20.122	2,44	+/-	6%	
Forstwirtschaft		Verpackungsmaterial für Industrie	86	0,01	+/-	10%	
<b>Zielsystem</b>							
Export		Export Nahrungsmittel	2.540	0,31	+/-	9%	
Export		Export Futtermittel	2.053	0,25	+/-	18%	
LW - Tierhaltung		Futtermittel	15.179	1,84	+/-	10%	
LW - Pflanzenbau		Saatgut	647	0,08	+/-	29%	
LW - Pflanzenbau		Mineraldünger LW	16.349	1,98	+/-	11%	
Haushalt		Nahrungsmittel HH	8.534	1,03	+/-	7%	
Haushalt		Mineraldünger Garten	169	0,02	+/-	19%	
Abwasserwirtschaft		Abwasser industriell	46	0,01	+/-	11%	
Abwasserwirtschaft		Abwasser industriell komm. Anlagen	1.979	0,24	+/-	16%	
Abfallwirtschaft		tierische Abfälle	5.355	0,65	+/-	11%	
Abfallwirtschaft		pflanzliche Abfälle	535	0,06	+/-	29%	
Abfallwirtschaft		Altstoffe Industrie	86	0,01	+/-	10%	
<b>Haushalt</b>		Forstwirtschaft	Papier Haushalt	69	0,01	+/-	34%
	Forstwirtschaft	Energieholz	1.574	0,19	+/-	11%	
	Forstwirtschaft	Holzgüter	523	0,06	+/-	19%	
	chemische Industrie	Reinigungsprodukte	1.072	0,13	+/-	16%	
	Industrie	Nahrungsmittel HH	8.534	1,03	+/-	7%	
	Industrie	Mineraldünger Garten	169	0,02	+/-	19%	
	Abfallwirtschaft	Altholz unbehandelt	63	0,01	+/-	8%	
	Abfallwirtschaft	Kompost Haushalt	929	0,11	+/-	78%	
	<b>Zielsystem</b>						
	Abwasserwirtschaft	Abwasser kommunal	5.927	0,72	+/-	8%	
	Abfallwirtschaft	Restmüll	1.121	0,14	+/-	14%	
	Abfallwirtschaft	biogene Abfälle getrennt gesammelt	806	0,10	+/-	21%	
	Abfallwirtschaft	biogene Abfälle	2.015	0,24	+/-	12%	
	Abfallwirtschaft	Altstoffe Haushalt	58	0,01	+/-	10%	
	Abfallwirtschaft	Aschen Haushalt	842	0,10	+/-	25%	
	<b>Lagerveränderung</b>	<b>Zunahme Garten</b>	<b>2.201</b>	<b>0,27</b>	<b>+/-</b>	<b>0,38</b>	
<b>Abwasserwirtschaft</b>	Forstwirtschaft	Abwasser Papierindustrie	279	0,03	+/-	10%	
	Chemische Industrie	Abwasser Chemische Industrie	97	0,01	+/-	34%	
	Industrie	Abwasser industriell	46	0,01	+/-	11%	
	Industrie	Abwasser Industriell komm. Anlagen	1.966	0,24	+/-	16%	
	Haushalt	Abwasser kommunal	5.819	0,70	+/-	8%	
	<b>Zielsystem</b>						
	Abfallwirtschaft	Klärschlamm kommunal	6.567	0,79	+/-	5%	
	Abfallwirtschaft	Klärschlamm industriell	366	0,04	+/-	11%	
	Gewässer	Ablauf	730	0,09	+/-	5%	
	Gewässer	Direkteinleiter	56	0,01	+/-	11%	
	Gewässer	Regenüberlauf	489	0,06	+/-	39%	

	Herkunftssystem	Flussname	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	Unsicherheit		
	<b>Abfallwirtschaft</b>	Import	Import TKV	61	0,01	+/-	21%
LW - Tierhaltung		Wirtschaftsdünger Biogas	575	0,07	+/-	25%	
LW - Tierhaltung		Falltiere	266	0,03	+/-	16%	
LW - Pflanzenbau		Landwirtschaftliche Stoffe	1.358	0,16	+/-	18%	
Industrie		Altstoffe Industrie	86	0,01	+/-	10%	
Industrie		tierische Abfälle	5.352	0,65	+/-	11%	
Industrie		pflanzliche Abfälle	535	0,06	+/-	29%	
Haushalt		Restmüll	1.124	0,14	+/-	14%	
Haushalt		biogene Abfälle	810	0,10	+/-	31%	
Haushalt		Altstoffe Haushalt	58	0,01	+/-	10%	
Haushalt		Asche aus Biomasse	2.018	0,24	+/-	10%	
Haushalt		biogene Abfälle getr. gesammelt	842	0,10	+/-	20%	
Abwasserwirtschaft		Klärschlamm kommunal	6.567	0,79	+/-	5%	
Abwasserwirtschaft		Klärschlamm industriell	366	0,04	+/-	11%	
<b>Zielsystem</b>							
Export		Export Filterkuchen	288	0,03	+/-	15%	
Export		Export Tiermehl	1.832	0,22	+/-	7%	
LW - Pflanzenbau		organischer Dünger LW	4.940	0,60	+/-	7%	
LW - Pflanzenbau		Klärschlamm Landwirtschaft	1.018	0,12	+/-	19%	
Forstwirtschaft		Substrat Landschaftsbau	2.064	0,25	+/-	13%	
Forstwirtschaft		Altpapier	81	0,01	+/-	12%	
Haushalt		Altholz unbehandelt	63	0,01	+/-	8%	
Haushalt		Kompost Haushalt	1.027	0,12	+/-	70%	
<b>Lagerveränderung</b>		<b>Zunahme Deponie</b>	<b>8.650</b>	<b>1,05</b>	<b>+/-</b>	<b>4%</b>	
<b>Gewässer</b>		LW - Pflanzenbau	Erosion Landwirtschaft	1.840	0,22	+/-	11%
		Forstwirtschaft	Erosion Forstwirtschaft	1.716	0,21	+/-	11%
		Abwasserreinigung	Ablauf Abwasserreinigung	730	0,09	+/-	5%
	Abwasserreinigung	Direkteinleiter	56	0,01	+/-	11%	
	Abwasserreinigung	Regenüberlauf	489	0,06	+/-	39%	
	Import	Import Gewässer	6.465	0,78	+/-	11%	
	<b>Zielsystem</b>						
	Export	Export Gewässer	9.996	1,21	+/-	8%	
	Lager	Gewässer	6.000	0,73	+/-	50%	
	<b>Lagerveränderung</b>		<b>Retention</b>	<b>1.300</b>	<b>0,16</b>	<b>+/-</b>	<b>20%</b>

Tabelle 8: Übersicht der Ergebnisse der Flüsse des Hauptsystems



### 3.1 Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung

Die Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung wird von den Flüssen markt- und nicht marktfähige Futtermittel, Wirtschaftsdünger und tierische Produkte dominiert. Der Gesamtinput in das Subsystem wird mit 97 % durch die Futtermittel dominiert. Rund 2/3 der P-Fracht der tierischen Produkte sind auf das Schlachtvieh (inkl. Knochen zurückzuführen). Grund dafür ist der hohe Phosphorgehalt in den Knochen der Tiere (bis zu 7% TS), die in diesem Fluss mitberücksichtigt werden.

Bei Betrachtung der zugeführten Futtermittelmengen und der abgeführten Wirtschaftsdünger und tierische Produkte kann nahezu ein Gleichgewicht festgestellt werden. Die Ausgleichsrechnung des STAN Modelles berechnet jedoch einen Lagerzuwachs, der im Hinblick auf die tatsächliche Anzahl an Tieren in Österreich nicht realistisch erscheint. Daher wird die Lagerveränderung nur auf Basis der tatsächlichen Veränderung des Viehbestandes laut Statistik Austria berechnet. Dabei zeigt sich, dass der Viehbestand leicht abnimmt.

Rund 2% des jährlichen Wirtschaftsdüngeraufkommens (580 t/P\*a) wird in Biogasanlagen eingesetzt.

Mit 270 t P/a werden Falltiere einer Tierkörperbehandlung im System Abfallwirtschaft zugeführt und zu Tier- bzw. Knochenmehl verarbeitet.

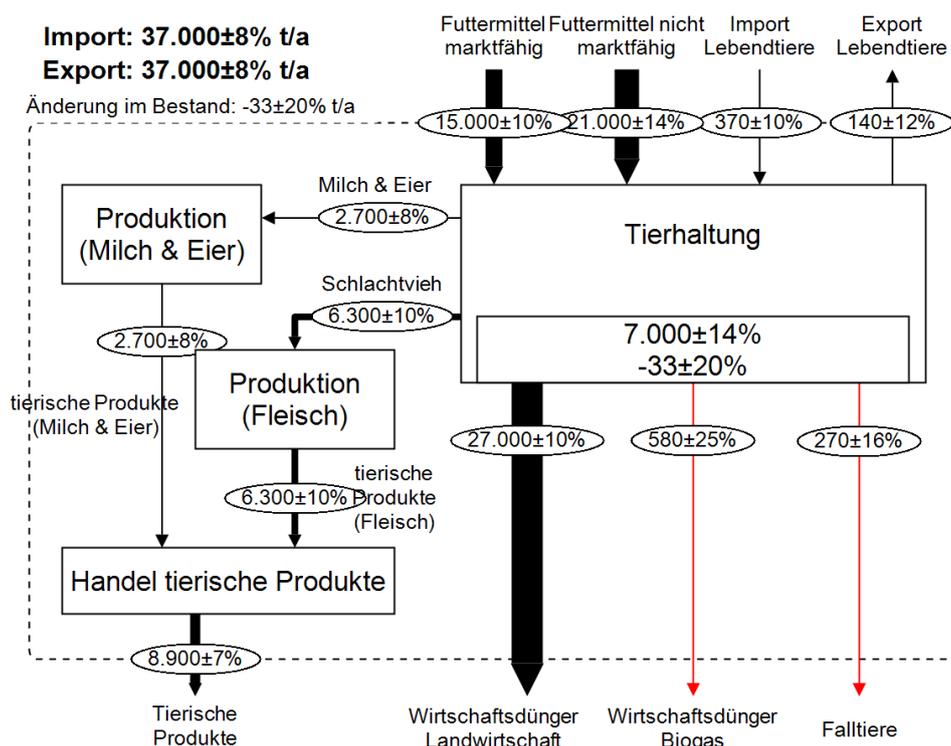


Abbildung 14: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung

Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (gP/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	US %
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
→ F1.1 Import	Tierhaltung	Import Lebendtiere	73	11%	5,1 +/- 2%		372	0,05	+/- 10%
→ F2.1 LW - Pflanzenbau	Tierhaltung	Futter (nicht marktfähig)	7.543	11%	3,0 +/- 2%		21.441	2,60	+/- 14%
→ F5.15 Industrie	Tierhaltung	Futtermittel	4.823	33%	3,6 +/- 9%		15.218	1,84	+/- 10%
Outputflüsse									
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
← F1.2 Tierhaltung	Export	Export Lebendtiere	24	11%	5,1 +/- 2%		136	0,02	+/- 12%
← F1.3 Tierhaltung	LW - Pflanzenbau	Wirtschaftsdünger LW	*	11%	* +/- *		27.177	3,29	+/- 10%
← F1.4 Handel tier. Produkte	Lebensmittelindustrie	Tierische Produkte	4.094	11%	2,1 +/- 2%		8.909	1,08	+/- 7%
← F1.5 Tierhaltung	Biogasanlage	Wirtschaftsdünger Biogas	458	33%	1,3 +/- 20%		575	0,07	+/- 25%
← F1.6 Tierhaltung	Tierkörperbehandlung	Falltiere	30	11%	8,8 +/- 7%		266	0,03	+/- 16%
Systeminterne Flüsse									
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
↔ P1.1 Tierhaltung	Produktion (Milch, Eier)	Milch & Eier	2.963	11%	0,9 +/- 3%		2.656	0,32	+/- 8%
↔ P1.2 Tierhaltung	Produktion (Fleisch)	Schlachtvieh	1.131	11%	5,4 +/- 2%		6.255	0,76	+/- 10%
↔ P1.3 Produktion (Milch, Eier)	Handel tiersch. Produkte	Tierische Produkte (Milch & Eier)	2.963	11%	0,9 +/- 3%		2.656	0,32	+/- 8%
↔ P1.4 Produktion (Fleisch)	Handel tiersch. Produkte	Tierische Produkte (Fleisch)	1.131	11%	5,4 +/- 2%		6.255	0,76	+/- 10%
Lager	Lagername								
LAGER	Tierhaltung		1.051	11%	6,6 +/- 2%		6.989	0,85	+/- 14%
Lagerveränderung							-	-33	<0,01 +/- 20%

Tabelle 9: Prozessliste Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung

### 3.2 Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

Die Gesamtinputmenge an Phosphor über Dünger, Insektizide und Saatgut in das System Landwirtschaft – Pflanzenbau beträgt jährlich rund 51.000 t, wobei die eingetragene Fracht über die Flüsse Insektizide und Saatgut unbedeutend sind. Besonders deutlich wird in diesem System der Stellenwert des Wirtschaftsdüngers im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion (27.000 t P/a). Das entspricht mehr als 50% der im Pflanzenbau importierten Phosphorfracht. Im Vergleich dazu wird über die P-haltigen Mineraldünger rund 17.000 t P/a für die Erzeugung von Futter- und Nahrungsmittel eingesetzt. Die bedeutendsten Outputflüsse sind die Flüsse pflanzliche Produkte (20.000 t P/a) für die Herstellung von Nahrungs- und Futtermittel sowie nicht marktfähig Futtermittel (21.000 t P/a), welche direkt an den Viehbestand im Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung verfüttert werden. Erosion ist bedeutender Faktor im Hinblick auf das Phosphorbudget zum einen im Prozess Landwirtschaft an sich, aber auch im Hinblick auf dessen Einfluss auf die Gewässer in Österreich. Der Fluss Erosion Landwirtschaft mit 1.800 t P/a umfasst gleichzeitig P-Emissionen in das Gewässer über das Grundwasser (620 t P/a), Oberflächenabflüsse (200 t P/a) und Entwässerungssysteme (~12 t P/a). Die tatsächlich mobilisierte Phosphorfracht auf landwirtschaftlichen Flächen ist ungleich größer und kann um den Faktor 10 höher liegen. Angenommen wird daher das ein Teil der mobilisierten Erde (~20%) neben den landwirtschaftlichen Flächen auch auf forstwirtschaftlichen Flächen und sonstigen Böden erodiert wird. Allerdings ist die angenommene Fracht von 2.000 t P/a mit sehr hohen Unsicherheiten behaftet ( $\pm 100\%$ ). Trotz des Nahrungsmittel- und Futtermittelentzug sowie Erosionen ist mit einer jährlichen Lagerzunahme von rund 4.300 t P zu rechnen. Die hohe Unsicherheit mit  $\pm 68\%$  zeigt jedoch gleichzeitig, dass die Lagerbildung hohen Schwankungen unterworfen ist.

Gerade einmal bei 2% am Gesamtinput beträgt der P-Anteil der über den Klärschlamm in die Landwirtschaft eingebracht wird. Zusammen mit den weiteren organischen Düngern wie z.B. Kompost und Biogasgülle liegt der Anteil bei rund 12%. Das entspricht einer jährlichen P-Fracht von etwa 6.000 t P/a.



**Import: 51.000±7% t/a**  
**Export: 47.000±8% t/a**  
 Änderung im Bestand: 4.300±68% t/a

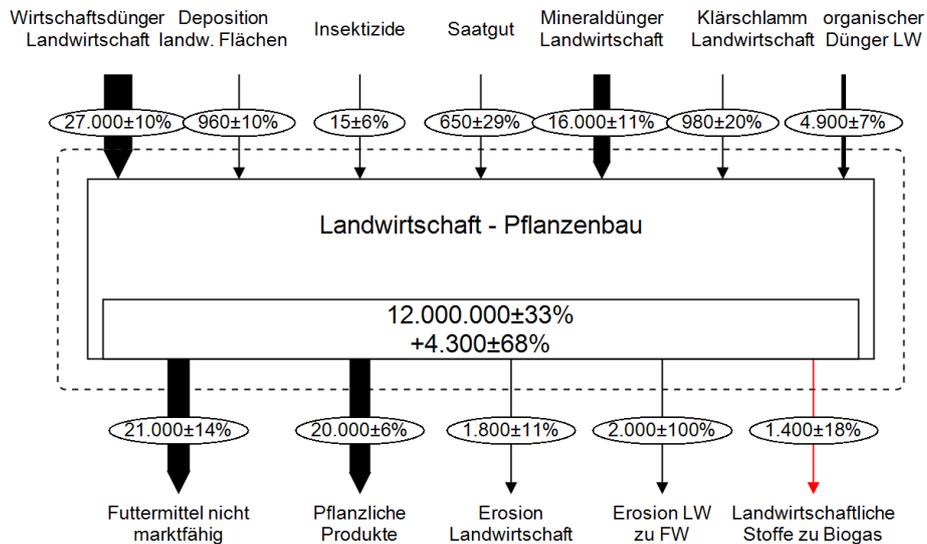


Abbildung 15: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	US %	
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
→ F1.3 Tierhaltung	LW - Pflanzenbau	Wirtschaftsdünger LW	*	-	* +/-	*	27.177	3,29	+/- 10%	
→ F2.5 Import	LW - Pflanzenbau	Deposition landw. Fläche	-	-	- +/-	-	957	0,12	+/- 10%	
→ F4.3 chem. Industrie	LW - Pflanzenbau	Insektizide	-	-	- +/-	-	15	0,00	+/- 6%	
→ F5.4 Industrie	LW - Pflanzenbau	Saatgut	**	-	** +/-	**	647	0,08	+/- 29%	
→ F5.5 Industrie	LW - Pflanzenbau	Mineraldünger LW	-	-	- +/-	-	16.349	1,98	+/- 11%	
→ F7.1 Abwasserwirtschaft	LW - Pflanzenbau	Klärschlamm Landwirtschaft	46	11%	26,5 +/-	6%	1.018	0,12	+/- 19%	
→ F8.2 Abfallwirtschaft	LW - Pflanzenbau	org. Dünger LW	4.506	19%	1,1 +/-	17%	4.940	0,60	+/- 7%	
Outputflüsse										
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
← F2.1 LW - Pflanzenbau	Tierhaltung	Futter (nicht marktfähig)	7.543	11%	3,0 +/-	2%	21.441	2,60	+/- 14%	
← F2.2 LW - Pflanzenbau	Industrie	Pflanzliche Produkte	8.260	11%	2,4 +/-	8%	20.111	2,43	+/- 6%	
← F2.3 LW - Pflanzenbau	Gewässer	Erosion Landwirtschaft	-	-	- +/-	-	1.840	0,22	+/- 11%	
← F2.4 LW - Pflanzenbau	Forstwirtschaft	Erosion LW zu FW	-	-	- +/-	-	2.000	0,24	0 100%	
← F2.6 LW - Pflanzenbau	Abfallwirtschaft	Landwirtschaftliche Stoffe	1.625	33%	0,8 +/-	8%	1.358	0,16	+/- 18%	
Lager	Lagername		Lagerbestand							
<b>LAGER</b>	Pflanzenbau	Boden					12.146.619	1.470,53	+/- 33%	
<b>Lagerveränderungen</b>							<b>+</b>	<b>4.261</b>	<b>0,52</b>	<b>+/- 68%</b>

\*P-Fracht von Wirtschaftsdünger wurde über die Stallplätze ermittelt

\*\*Saatgut wurde über die Erntefläche ermittelt

Tabelle 10: Prozessliste Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

### 3.3 Subsystem Forstwirtschaft und nachgelagerte Prozesse

Aus dem Import von 6.800 t P/a und einem Output von 5.300 t P/a errechnet sich für dieses Subsystem eine positive Bilanz. Ein bedeutender Einflussfaktor auf die positive Bilanz ist die Erosion aus landwirtschaftlichen Flächen, deren Anteil am Gesamtinput bei rund 30% liegt. Gleichzeitig werden über Erosion aus der Landwirtschaft rund 1.700 t P/a aus dem System ausgetragen. Auf etwa ähnlich hohem Niveau liegt der Anteil, der über den Fluss Substrate Landschaftsbau in das System importiert wird. Dazu zählen z.B. Komposte, die aufgrund ihrer Qualität nicht in der Landwirtschaft eingesetzt werden und deshalb im Landschaftsbau zum Einsatz kommen. In Anbetracht des hohen P-Potentials in den Substraten und des niedrigen P-Bedarfs im Landschaftsbau, sind hier Optimierungsmöglichkeiten im Hinblick auf die sinnvolle Nutzung der P-reichen Substrate gegeben. Interessant ist die Tatsache, dass mit rund 25% oder 1.600 t P auch die Deposition wesentlichen Einfluss auf die positive Bilanzierung des Systems Forstwirtschaft.

In Anbetracht der großen Güterflüsse die im System Forstwirtschaft bewegt werden, ist dessen Bedeutung in Bezug auf die P-Frachten eher gering. Zentraler Prozess ist mit einer Inputmenge von rund 3.200 t P/Jahr und den zahlreichen Outputflüssen die Holzverarbeitung. Energieholz mit einer P-Fracht von 1.600 t/a ist zusammen mit der Erosion einer der bedeutendsten P-Austräge aus dem System Forstwirtschaft. Die P-Fracht des Flusses Energieholz und die daraus entstehenden Aschen liegen in der Größenordnung der P-Fracht des Ascheoutputs der Klärschlammmonoverbrennung mit rund 1.800 t/P (Kapitel 3.8).

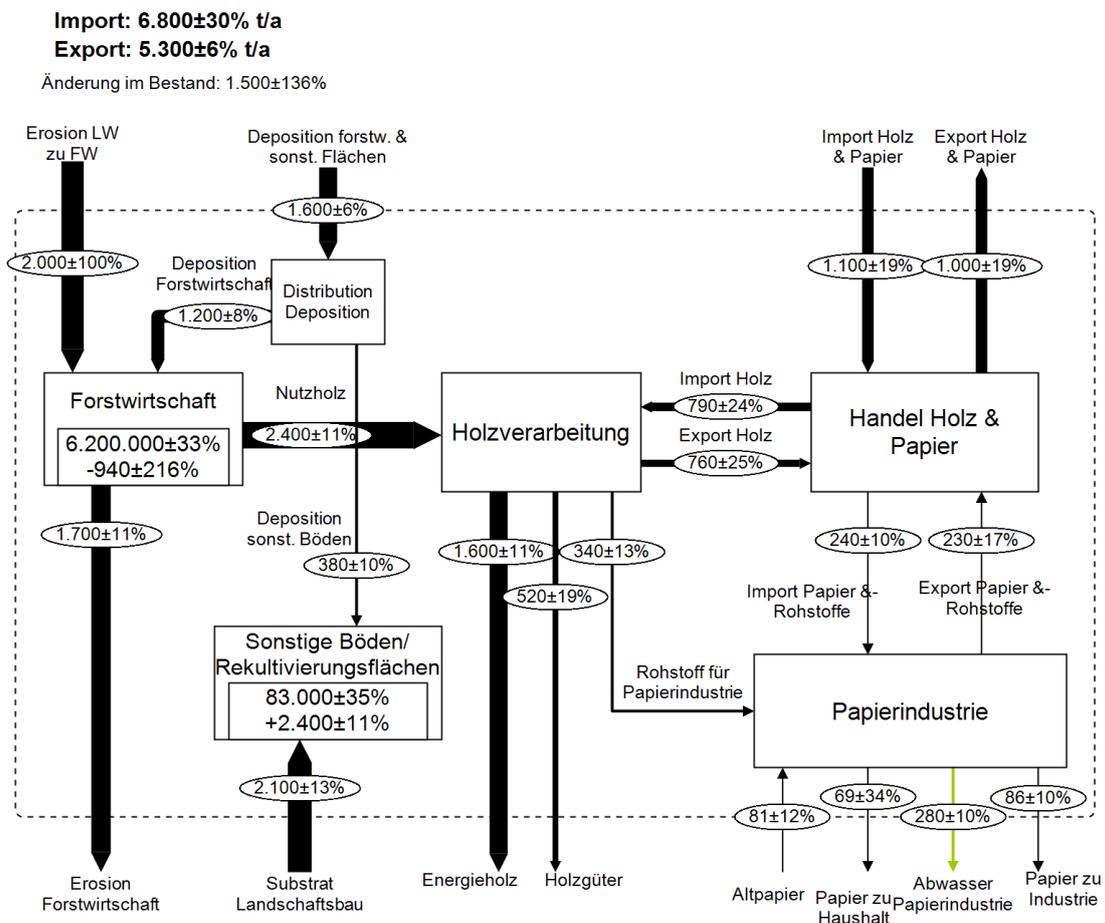


Abbildung 16: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Forstwirtschaft



Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	US %	
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
→ F3.1 Import	Handel Holz & Papier	Import Holz & Papier	9.070	18%	0,13	+/- 6%	1.063	0,13	+/- 19%	
→ F3.9 Import	Forstwirtschaft	Deposition forstw. & sonst. F	-	-	-	+/- -	1.559	0,19	+/- 6%	
→ F2.4 LW - Pflanzenbau	Forstwirtschaft	Erosion LW zu FW	-	-	-	+/- -	2.000	0,24	+/- 100%	
→ F8.4 ARA	Papierindustrie	Altpapier	1.043	11%	0,06	+/- 17%	81	0,01	+/- 12%	
→ F8.3 Substrat Landschaftsbau	sonstige Böden	Substrat Landschaftsbau	-	-	-	+/- -	2.063	0,25	+/- 13%	
Outputflüsse										
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
← F3.2 Handel Holz & Papier	Export	Export Holz & Papier	9.323	18%	0,10	+/- 8%	1.018	0,12	+/- 19%	
← F3.3 Papierindustrie	Verpackung	Papier Industrie	1.071	33%	0,06	+/- 17%	86	0,01	+/- 10%	
← F3.4 Papierindustrie	Haushalt	Papier Haushalt	1.071	33%	0,06	+/- 17%	69	0,01	+/- 34%	
← F3.5 Holzverarbeitung	Energie aus Biomasse	Energieholz	7.527	33%	0,21	+/- 10%	1.574	0,19	+/- 11%	
← F3.6 Papierindustrie	ind. ARA	Abwasser Papierindustrie	-	-	-	+/- -	281	0,03	+/- 10%	
← F3.7 Forstwirtschaft	Gewässer	Abfluss/Erosion	-	-	-	+/- -	1.716	0,21	+/- 11%	
← F3.8 Holz Haushalt	Haushalt	Holzgüter	3.341	33%	0,15	+/- 4%	523	0,06	+/- 19%	
Systeminterne Flüsse										
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
↔ P3.1 Forstwirtschaft	Holzverarbeitung	Nutzholz	12.450	35%	0,17	+/- 7%	2.407	0,29	+/- 11%	
↔ P3.2 Holzverarbeitung	Papierindustrie	Rohstoff für Papierindustrie	2.690	9%	0,14	+/- 4%	341	0,04	+/- 13%	
↔ P3.3 Holzverarbeitung	Handel Holz & Papier	Export Holz	6.310	26%	0,15	+/- 5%	759	0,09	+/- 25%	
↔ P3.4 Handel Holz & Papier	Holzverarbeitung	Import Holz	4.542	36%	0,14	+/- 4%	789	0,10	+/- 24%	
↔ P3.5 Handel Holz & Papier	Papierindustrie	Import Papier & Rohstoffe	2.760	10%	0,09	+/- 9%	242	0,03	+/- 10%	
↔ P3.6 Papierindustrie	Handel Holz & Papier	Export Papier & Rohstoffe	4.423	11%	0,05	+/- 0%	228	0,03	+/- 17%	
↔ P3.7 Forstwirtschaft	sonstige Böden	Deposition sonstige Böden	-	-	-	+/- -	375	0,05	+/- 10%	
↔ P3.8 Distribution Deposition	Forstwirtschaft	Deposition Forstwirtschaft	-	-	-	+/- -	1.184	0,14	8%	
Lager	Lagername	Lagerbestand								
LAGER Forstwirtschaft	Phosphorlager Wald						291.060	35,24	+/- 29%	
LAGER Forstwirtschaft	Phosphorlager Boden						5.920.001	716,71	+/- 35%	
LAGER sonstige Flächen	Phosphorlager Boden						82.892	10,04	+/- 35%	
<b>Lagerveränderung Forstwirtschaft</b>							-	<b>-938</b>	-0,11	+/- -216%
<b>Lagerveränderung sonstige Flächen</b>							+	<b>2.437</b>	0,30	+/- 11%

Tabelle 11: Prozessliste Subsystem Forstwirtschaft

### 3.4 Subsystem chemische Industrie

Jährlich werden über die chemische Industrie phosphorhaltige Chemikalien im Ausmaß von umgerechnet über 3.100 t importiert. Allerdings geht aus den Zahlen der Statistik Austria nicht eindeutig hervor, welche Chemikalien und ob z.B. bereits handelsfähige Reinigungsmittel importiert werden. Der österreichische Bedarf an Reinigungsmittel wird auf Basis der Daten des pro Kopf Verbrauchs in der Schweiz und Deutschland ermittelt (UBA-Deutschland, 2010; Binder et al, 2009). Daraus kann abgeleitet werden, dass rund 1/3 der importierten P-Fracht der chemischen Industrie in Form von Reinigungsmitteln in Österreichs Haushalten eingesetzt wird (1.100 t P/a). Gleichzeitig werden P-haltige Reinigungsmittel im Ausmaß von 1.300 t P/a wiederum exportiert.

Verhältnismäßig gering ist die P-Fracht der Abwässer aus der chemischen Industrie mit maximal 100 t P/a. Insektizide werden in Österreich mit einer P-Fracht von 100 t/Jahr hergestellt, wobei lediglich 5% in der heimischen Landwirtschaft abgesetzt werden und 95% über die Exporte das Land verlassen. Der Anteil des in den Insektiziden enthaltenen Phosphors ist vernachlässigbar gering.

Generell ist eine korrekte Interpretation der Ergebnisse des Prozesses chemische Industrie aufgrund der schlechten Datengrundlage sehr schwierig und mit einer hohen Unsicherheit behaftet. Verdeutlicht werden kann hingegen der Stellenwert der Reinigungsmitteln (1.100 t P/a) an der jährlichen P-Fracht im kommunalen Abwasser (7.800 t P/a).

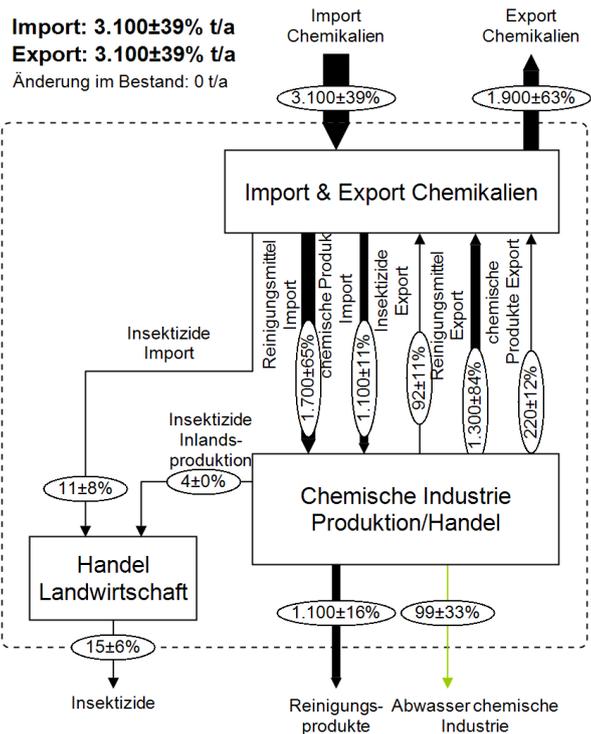


Abbildung 17: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem chemische Industrie

Inputflüsse			Güterfluss	US	P-Konz.	P-Fracht	P-Fracht	US
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname	1.000 t/a	%	(g/kg)	(tP/a)	(kgP/(E*a))	%
F4.1 Import	Import & Export Chemikalien	Import Chemikalien	-	-	+/-	3.082	0,37	+/- 39%
Outputflüsse								
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname						
F4.2 Import & Export Chemikalien	Export	Export Chemikalien	-	-	+/-	1.896	0,23	+/- 63%
F4.3 Handel Landwirtschaft	LW - Pflanzenbau	Insektizide	-	-	+/-	15	0,00	+/- 6%
F4.4 chemische Industrie	Haushalt	Reinigungsprodukte	-	-	+/-	1.072	0,13	+/- 16%
F4.5 chemische Industrie	ind. ARA	Abwasser chemische Industrie	-	-	+/-	99	0,01	+/- 33%
Systeminterne Flüsse								
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname						
P4.1 Import & Export Chemikalien	Handel Landwirtschaft	Insektizide Import	-	-	+/-	11	0,00	+/- 8%
P4.2 chemische Industrie	Handel Landwirtschaft	Insektizide Produktion	-	-	+/-	4	0,00	+/- 0%
P4.3 Import & Export Chemikalien	chemische Industrie	Reinigungsmittel Import	-	-	+/-	1.660	0,20	+/- 65%
P4.4 Import & Export Chemikalien	chemische Industrie	chemische Produkte Import	-	-	+/-	1.133	0,14	+/- 11%
P4.5 chemische Industrie	Import & Export Chemikalien	Insektizide Export	-	-	+/-	92	0,01	+/- 11%
P4.6 chemische Industrie	Import & Export Chemikalien	Reinigungsmittel Export	-	-	+/-	1.302	0,16	+/- 84%
P4.7 chemische Industrie	Import & Export Chemikalien	chemische Produkte Export	-	-	+/-	224	0,03	+/- 12%

Tabelle 12: Prozessliste Subsystem chemische Industrie

### 3.5 Subsystem Industrie (Futter, Nahrungsmittel, Düngemittel)

Aus den beiden Systemen der Landwirtschaft (29.000 t P) und Importen (3.100 t P) werden große P-Mengen in der Lebensmittelindustrie verarbeitet. Jährlich werden aus diesen Zuflüssen Nahrungsmittel für Haushalte mit einer P-Fracht von 8.500 t erzeugt und 2.500 t wiederum exportiert. In erster Linie aus den pflanzlichen Produkten werden Futtermittel mit einer jährlichen P-Fracht von 13.000 t erzeugt. Zusätzlich gelangt über Importe eine P-Fracht von rund 4.700 t in die Futtermittelindustrie. Rund 85% der Futtermittel werden direkt in Österreich verfüttert und lediglich 15% exportiert.

In den verarbeitenden Prozessen der Lebensmittelindustrie fallen tierische Abfälle wie z.B. nicht verwertbare Innereien, Knochen und Blut aber auch z.B. Milch an (5.400 t P/a). In erster Linie ist der hohe P-Anteil in diesem Abfallstrom auf die phosphorreichen Knochen zurückzuführen, die in den



Tierkörperbehandlungsbetrieben zu Tiermehl weiter verarbeitet werden. Bezogen auf die jährlich angewendete P-Fracht in den Mineraldüngern, liegt das theoretische Substitutionspotential der tierischen Abfälle bei fast einem Drittel. Im Vergleich dazu ist die P-Fracht in pflanzlichen Abfällen eher gering (540 t P/a). Ein Grund dafür ist, dass pflanzliche Abfälle der Lebensmittelproduktion überwiegend zu Futtermittel verarbeitet werden. Dazu zählen Nebenerzeugnisse aus Müllereien, Brauereien, Brennereien, der Stärke-, Zucker- und Ölherstellung mit einer mittleren jährlichen P-Fracht von rund 4.500 t P/a.

Die anfallenden Abwässer sind in hauptsächlichen auf die verarbeitende Lebensmittelindustrie zurückzuführen, wobei ein Großteil der industriellen Abwässer (2.000 t P/a) in kommunalen Kläranlagen mitbehandelt wird. Der Anteil der in industriellen Kläranlagen behandelt wird, ist gemessen an der gesamt P-Fracht des industriellen Abwassers gering (~50 t P/a).

Dominiert wird das System Industrie von den Importen und Exporten an Rohphosphaten bzw. P-haltigen Düngemitteln (48.000 t P/a). Allerdings sind die P-Importe mit etwas höheren Unsicherheiten behaftet, da keine gesonderten Daten dazu vorliegen. Die Berechnung wird im Anhang in Kapitel 7.2.5 dargestellt. Etwaige abweichende Importe oder Exporte haben keine Auswirkungen auf P-Flüsse in der Bilanz, da nur die tatsächlich in der Landwirtschaft aufgebrachte P-Fracht von 16.300 t P von Bedeutung ist und der Subprozess Düngemittelindustrie bzw. Handel ansonsten als Durchlaufprozess fungiert. Der größte Anteil des in Österreich abgesetzten Mineraldüngers (97%) wird in der Landwirtschaft eingesetzt und nur 3% in privaten Haushalten oder Gärten. Die P-Flüsse im Subprozess sonstiges Material sind mit < 100 t P/a vernachlässigbar gering.

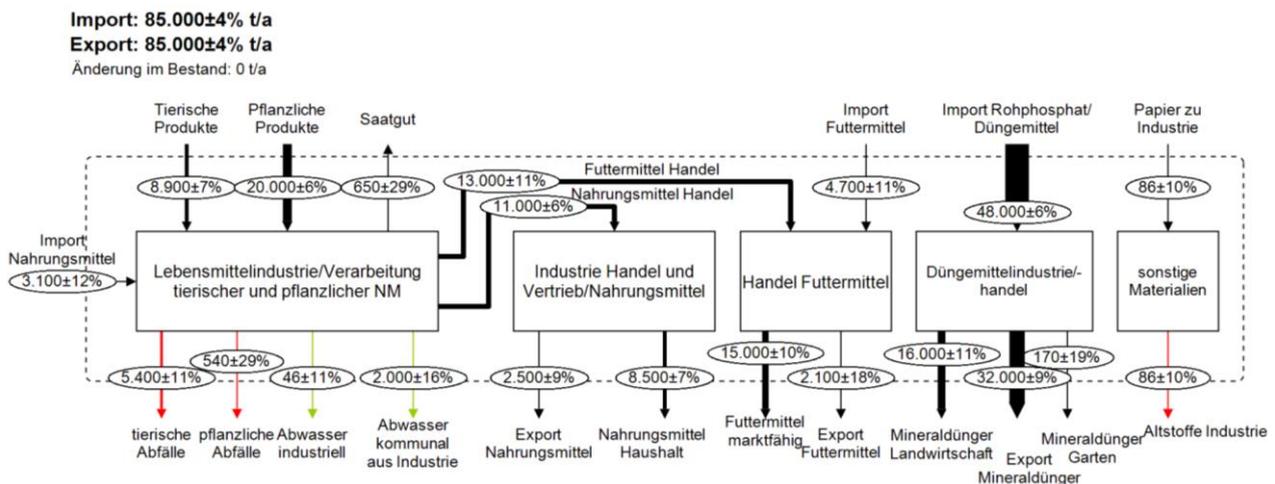


Abbildung 18: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Industrie

Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	US %
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
→ F1.4 Tierhaltung	Lebensmittelindustrie	tierische Produkte	4.094	11%	2,1 +/- 2%	8.911	1,08	+/- 7%	
→ F2.2 LW - Pflanzenbau	Lebensmittelindustrie	pflanzliche Produkte	8.260	11%	2,4 +/- 8%	20.122	2,44	+/- 6%	
→ F3.3 Papierindustrie	Verpackung	Verpackungsmaterial für Industrie	1.071	33%	0,1 +/- 17%	86	0,01	+/- 10%	
→ F5.1 Import	Handel Mineraldünger	Import Mineraldünger	-	11%	- +/- -	48.486	5,87	+/- 6%	
→ F5.2 Import	Lebensmittelindustrie	Import Nahrungsmittel	3.503	11%	1,1 +/- 14%	3.136	0,38	+/- 12%	
→ F5.3 Import	Handel Futtermittel	Import Futtermittel	646	11%	7,1 +/- 6%	4.699	0,57	+/- 11%	
Outputflüsse									
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
← F5.4 Lebensmittelindustrie	LW - Pflanzenbau	Saatgut	-	-	- +/- -	647	0,08	+/- 29%	
← F5.5 Handel Mineraldünger	LW - Pflanzenbau	Mineraldünger LW	-	-	- +/- -	16.349	1,98	+/- 11%	
← F5.6 Handel Nahrungsmittel	Export	Export Nahrungsmittel	2.721	11%	1,1 +/- 14%	2.540	0,31	+/- 9%	
← F5.7 Handel Futtermittel	Export	Export Futtermittel	235	11%	8,9 +/- 4%	2.053	0,25	+/- 18%	
← F5.8 Lebensmittelindustrie	industrielle ARA	Abwasser industriell	-	11%	- +/- -	46	0,01	+/- 11%	
← F5.9 Lebensmittelindustrie	kommunale ARA	Abwasser industriell komm. Anlagen	-	11%	- +/- -	1.979	0,24	+/- 16%	
← F5.10 Verpackung	Altstoffsammlung	Altstoffe Industrie	700	33%	0,1 +/- 10%	86	0,01	+/- 10%	
← F5.11 Handel Nahrungsmittel	Haushalt	Nahrungsmittel HH	9.004	15%	0,8 +/- 20%	8.534	1,03	+/- 7%	
← F5.12 Handel Mineraldünger	Garten	Mineraldünger Garten	-	11%	- +/- -	169	0,02	+/- 19%	
← F5.13 Lebensmittelindustrie	Distribution org. Abfälle	tierische Abfälle	644	11%	9,0 +/- 6%	5.355	0,65	+/- 11%	
← F5.14 Lebensmittelindustrie	Distribution org. Abfälle	pflanzliche Abfälle	258	11%	2,1 +/- 23%	535	0,06	+/- 29%	
← F5.15 Handel Futtermittel	Tierhaltung	Futtermittel	4.823	33%	3,6 +/- 9%	15.179	1,84	+/- 10%	
Systeminterne Flüsse									
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname							
← P5.1 Lebensmittelindustrie	Handel Nahrungsmittel	Nahrungsmittel	errechnet				12.533	1,52	+/- 11%
← P5.2 Lebensmittelindustrie	Handel Futtermittel	Futtermittel	errechnet				11.074	1,34	+/- 6%

Tabelle 13: Prozessliste Subsystem Industrie

### 3.6 Haushalt

Die dominanten Flüsse im Subsystem Haushalt resultieren aus dem Verzehr von Nahrungsmitteln und der damit verbundenen Ausscheidung von Stoffwechselendprodukten wie Exkremete und Urin, die zusammen mit Küchenabfälle, Nahrungsmittelresten und Reinigungsmitteln über das kommunale, aber rein häusliche, Abwasser (5.800 t P), abgeführt werden. Das entspricht rund 1/3 der jährlichen P-Fracht die über Mineraldünger in der Landwirtschaft ausgebracht wird.

Wie bereits im System chemische Industrie dargestellt, wird im System Haushalt der Anteil der Phosphorfracht aus Reinigungsprodukten am rein kommunalen Abwasser deutlich. Der Anteil aus Reinigungsmittel liegt nach Baumann (2003) bei rund 10–15%. Aufgrund des vermehrten Einsatzes von P-haltigen Geschirrspüler Tabs ist der Anteil in den letzten Jahren leicht gestiegen. Dies deckt sich mit den ermittelten P-Frachten von 1.100 t P/a aus den eingesetzten Reinigungsmitteln, deren Anteil am häuslichen Abwasser laut Bilanz bei rund 18% liegt.

Gesamt werden in das Subsystem Haushalt 13.000 t P importiert, die sich zu ~65% aus Nahrungsmitteln, ~16% Holz (Holzgüter, Energieholz, Altholz), ~11% Dünger (Kompost und Mineraldünger) und ~8% Reinigungsmittel zusammensetzen. Durch die Ausbringung von Aschen aus der Energieerzeugung, dem Einsatz von Mineraldüngern in Gärten, der Anwendung von Komposten aus der Abfallwirtschaft aber auch durch Eigenkompostierung ist mit einem jährlichen Lagerzuwachs von 2.300 t P/a zu rechnen. Die Unsicherheiten der zufließenden P-Flüsse und die Unsicherheit des Lagers zeigen jedoch, dass der Lageraufbau in den Gärten der Haushalte starken Schwankungen unterworfen und damit die Aussagekraft zu hinterfragen ist.

Feste Abfälle aus dem Haushalt können in Restmüll (nicht getrennte Sammlung), biogene Abfälle (Biotonne Haushalt; getrennte Sammlung), biogenen Abfälle (Marktabfälle, Strauchschnitt; getrennte Sammlung), Altstoffe aus den Haushalten und Aschen aus der Energiegewinnung untergliedert werden. Im Hinblick auf



ein Recycling sind in erster Linie die getrennt gesammelten biogenen Abfälle mit einem P-Potential von 2.800 t/a zu nennen. Inwieweit der P-haltige Anteil des Restmülls oder auch die Aschen im Sinne einer Kreislaufwirtschaft genutzt werden kann, wird in Kapitel 3.8 dargestellt.

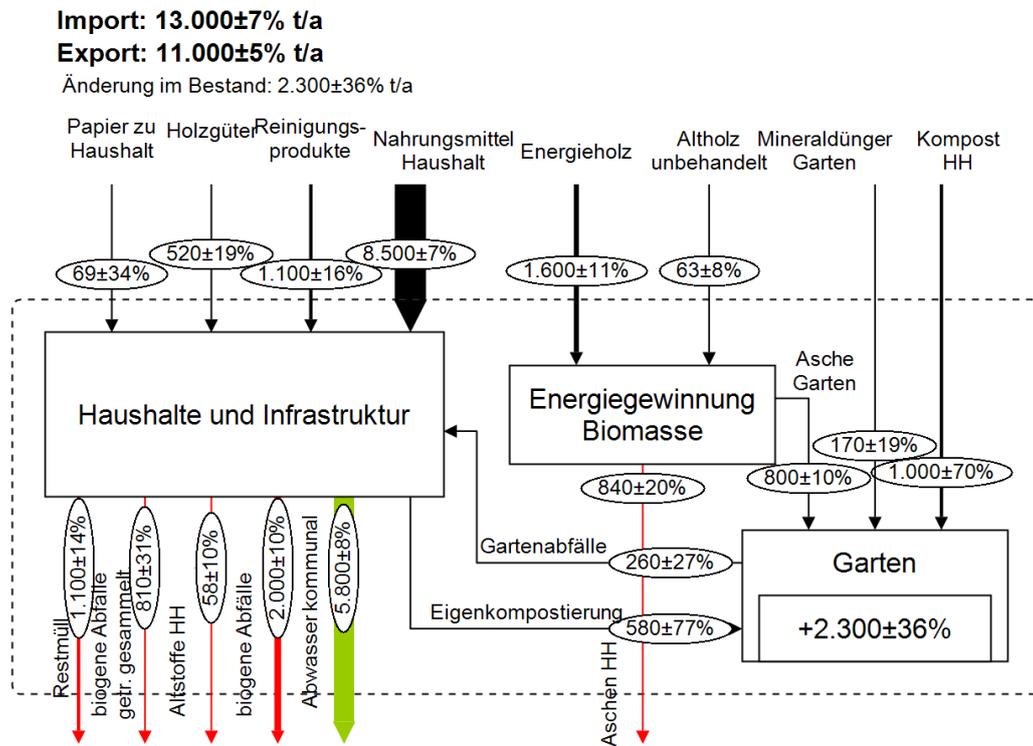


Abbildung 19: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Haushalt

Inputflüsse				Güterfluss	US	P-Konz.	US	P-Fracht	P-Fracht	US
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname		1.000 t/a	%	(g/kg)	%	(tP/a)	(kgP/(E*a))	%
F3.4 Papierindustrie	Haushalt	Papier Haushalt		1.071	33%	0,06 +/-	17%	69	0,01 +/-	34%
F3.5 Holzverarbeitung	Energiegewinnung Biomasse	Energieholz		7.527	33%	0,2 +/-	10%	1.575	0,19 +/-	11%
F3.8 Holzverarbeitung	Haushalt	Holzgüter		3.341	33%	0,2 +/-	4%	522	0,06 +/-	19%
F4.4 chemische Industrie	Haushalt	Reinigungsprodukte		-	-	- +/-	-	1.070	0,13 +/-	16%
F5.11 Industrie Handel und Vertrieb	Haushalt	Nahrungsmittel HH		9.004	15%	0,8 +/-	20%	8.493	1,03 +/-	7%
F5.12 Handel Mineraldünger	Garten	Mineraldünger Garten		-	33%	- +/-	-	169	0,02 +/-	19%
F8.7 Altstoffsammlung	Energiegewinnung Biomasse	Altholz unbehandelt		466	11%	0,14 +/-	4%	63	0,01 +/-	8%
F8.8 Kompostieranlage	Garten	Kompost Haushalt		-	-	- +/-	-	1.027	0,12 +/-	70%
Outputflüsse										
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname		Güterfluss	US	P-Konz.	US	P-Fracht	P-Fracht	US
F6.1 Abwassersystem/Sammlung	Abwasserwirtschaft	Abwasser kommunal		1.120.000.000	-	- +/-	-	5.819	0,70 +/-	8%
F6.2 Haushalt	Distribution Restmüll	Restmüll		1.391	11%	0,9 +/-	15%	1.124	0,14 +/-	14%
F6.3 Haushalt	Distribution org. Abfälle	biog. Abfälle getrennt ges.		641	11%	1,4 +/-	32%	810	0,10 +/-	20%
F6.4 Haushalt	Altstoffsammlung	Altstoffe Haushalt		792	11%	0,1 +/-	12%	58	0,01 +/-	10%
F6.5 Haushalt	Distribution org. Abfälle	biogene Abfälle		2.053	11%	1,0 +/-	11%	2.018	0,24 +/-	12%
F6.6 Energiegewinnung Biomasse	Deponie	Aschen Haushalt		82	15%	12,0 +/-	17%	842	0,10 +/-	25%
Systeminterne Flüsse										
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname		Güterfluss	US	P-Konz.	US	P-Fracht	P-Fracht	US
P6.1 Haushalt	Garten	Eigenkompostierung		1010	33%	1,2 +/-	17%	566	0,07 +/-	79%
P6.2 Energiegewinnung Biomasse	Garten	Asche Garten		67	15%	12,0 +/-	17%	796	0,10 +/-	10%
P6.3 Haushalt	Garten	Gartenabfälle		205	11%	1,2 +/-	17%	259	0,03 +/-	27%
<b>Lagerveränderungen Garten</b>								<b>+ 2.201</b>	<b>0,27</b>	<b>+/- 0,378</b>

Tabelle 14: Prozessliste Subsystem Haushalt

### 3.7 Abwasserwirtschaft

Abwasser mit einer P-Fracht von 7.800 t/a das in kommunalen Kläranlagen gereinigt wird, setzt sich aus den rein häuslichen Abwässern (75%) und industriellen Abwässern (25%) zusammen. Rund 6% oder 490 t P/a des anfallenden Abwassers werden über den Regenüberlauf direkt in die Gewässer geleitet. Das entspricht in etwa jener P-Fracht die in rein industriellen Kläranlagen behandelt wird (425 t P/a).

Für die Abwasserreinigungsanlagen in Österreich wird eine durchschnittliche P-Reinigungsleistung von 90% angenommen. Der in der kommunalen Abwasserreinigung anfallende Klärschlamm enthält damit eine P-Fracht von 6.600 t/a. Das entspricht rund 40% der jährlich in Form von Mineraldüngern eingesetzten P-Menge. Industrieller Klärschlamm weist im Vergleich dazu eine sehr gering P-Fracht von 370 t/a auf.

Über Punktquellen wie Regenüberlaufs und den Ablauf der Abwasserreinigungsanlagen gelangen jährlich rund 1.300 t P in die Gewässer. Der Anteil an der P-Inputfracht in die Gewässer durch ungeklärte und geklärte Abwässer innerhalb der Systemgrenze Österreich beträgt weniger als 30%. Anhand von Tabelle 15 wird dargestellt, wie sich das Klärschlammaufkommen auf die Kläranlagen und deren Ausbaugröße verteilt (EMREG, 2010). An dieser Stelle werden nur die kommunalen Kläranlagen dargestellt (Anzahl 1.838). Die Kläranlagenanzahl weicht damit von den im österreichischen Lagebericht (BMLFUW, 2012) angegebenen 1.841 Anlagen, in welchem zusätzlich drei größere industrielle Kläranlange mit angeführt werden, ab. Deutlich wird, dass 56% des Klärschlammes in Österreich in nur 30 Kläranlagen mit einer Ausbaugröße >100.000 EW anfällt. Werden alle Anlagen mit einer Belastung >2.000 EW berücksichtigt, kann auf 96% des anfallenden Klärschlammes zurückgegriffen werden. Dieses große Potential kann bei Berücksichtigung von nur 1/3 der österreichweit vorhandenen 1.838 Kläranlagen genutzt werden.

Ausbaugröße	Anzahl	Anteil an tatsächlicher Kapazität [%]	P-Potential Klärschlamm [t P/a]
>50-2.000	1.206	2,4	152
2.001-10.000	371	8,2	541
10.001-50.001	200	23,8	1.571
50.001-100.000	31	9,8	647
>100.000	30	55,9	3.689
<b>Gesamt</b>	<b>1.838*</b>	<b>13.085.500 EW</b>	<b>6.600</b>

\*im Gegensatz zum Lagebericht (BMLFUW, 2012) sind 3 Kläranlagen mit überwiegend industriellem Abwasser nicht in der Aufstellung enthalten.

*Tabelle 15: Ausbaugrößen der österreichischen Kläranlagen und Anteil an der tatsächlichen Kapazität und damit Anteil am P-Potential im Klärschlamm (EMREG, 2010)*



Import: 8.200±5% t/a  
 Export: 8.200±5% t/a  
 Änderung im Bestand: 0 t/a

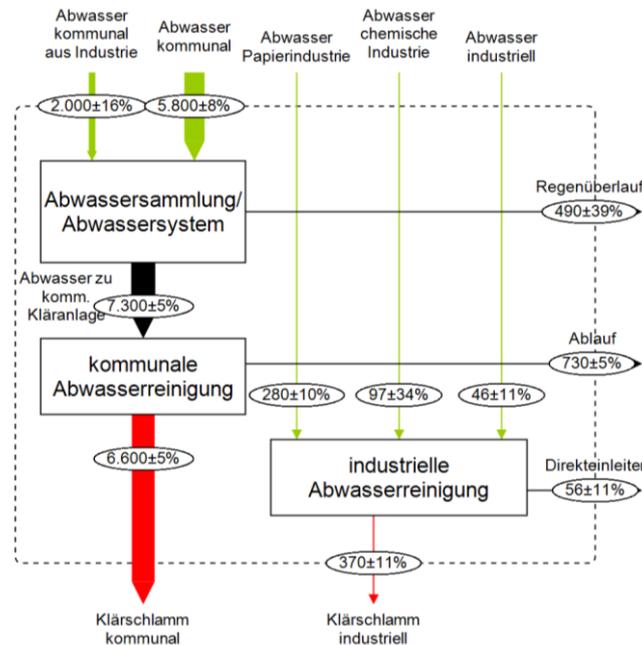


Abbildung 20: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Abwasserwirtschaft

Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (gP/kgFM)	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E·a))	US %
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname						
→ F3.6 Papierindustrie	ind. Abwasserreinigung	Abwasser Papierindustrie	-	-	- +/- -	279	0,03	+/- 10%
→ F4.5 Chemische Industrie	ind. Abwasserreinigung	Abwasser Chemische Industrie	-	-	- +/- -	97	0,01	+/- 34%
→ F5.8 Lebensmittelindustrie	ind. Abwasserreinigung	Abwasser industriell	-	-	- +/- -	46	0,01	+/- 11%
→ F5.9 Lebensmittelindustrie	Abw.sammlung/Abw.system	Abwasser Industriell komm. Anlagen	-	-	- +/- -	1.966	0,24	+/- 16%
→ F6.1 Haushalt	Abw.sammlung/Abw.system	Abwasser kommunal	-	-	- +/- -	5.819	0,70	+/- 8%
Outputflüsse								
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname						
← F7.1 komm. Abwasserreinigung	Distribution Klärschlamm	Klärschlamm kommunal	259	11%	26,0 +/- 6%	6.567	0,79	+/- 5%
← F7.2 komm. Abwasserreinigung	Gewässer	Ablauf	-	-	- +/- -	730	0,09	+/- 5%
← F7.3 ind. Abwasserreinigung	ind. Abwasserreinigung	Klärschlamm industriell	168	33%	2,1 +/- 5%	366	0,04	+/- 11%
← F7.4 ind. Abwasserreinigung	Gewässer	Direkteinleiter	-	-	- +/- -	56	0,01	+/- 11%
← F7.5 Abw.sammlung/Abw.system	Gewässer	Regenüberlauf	-	-	- +/- -	489	0,06	+/- 39%
Systeminterne Flüsse								
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname						
↔ P7.1 Abw.sammlung/Abw.system	komm. Abwasserreinigung	Abwasser zu komm. Kläranlage	-	-	- +/- -	7.383	0,89	+/- 5%

Tabelle 16: Prozessliste Subsystem Abwasserwirtschaft

### 3.8 Abfallwirtschaft

Abbildung 21 verdeutlicht die komplexen Pfade der verschiedenen Flüsse im System Abfallwirtschaft. Zusammenfassend gelangen über die verschiedensten Abfallflüsse eine jährlich P-Fracht von 20.000 t in das System Abfallwirtschaft. Die Abfallflüsse werden behandelt und/oder verwertet und verlassen das System im Umfang von jährlich 11.000 t P. Daraus ergibt sich eine jährliche Bestandsänderung von 8.700 t P, die auf das Lager Deponie und die Einbindung von P in Zement bzw. Beton zurückzuführen ist. Die Einbindung in Zement ist die Folge der Nutzung des Klärschlammes als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie.

Zu den dominierenden Inputflüssen in das Subsystem Abfallwirtschaft zählen:

- kommunaler Klärschlamm (~6.600 t P)
- tierische Abfälle (~5.400 t P)
- getrennt gesammelte biogenen Abfälle aus dem Haushalt (~2.800 t P)
- und die Inputflüsse zu den Biogasanlagen (~2.100 t P)

Werden die P-reichen Stoffflüsse kommunaler Klärschlamm und tierische Abfälle zusammengefasst (12.000 t P/a) könnte bei entsprechender Behandlung der Abfälle rund 70–75% der jährlichen Netto-Mineraldüngerimporte (16.300 t P/a) eingespart werden.

Anhand von Tabelle 17 werden die verschiedenen Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten für den Klärschlamm dargestellt. Deutlich wird dabei, dass nur 16% direkt in der Landwirtschaft verwertet werden. Rund 36% des Klärschlammes wird biologisch stabilisiert (Kompostierung oder Biogasherstellung) und wird zum einen in der Landwirtschaft und zum anderen im Landschaftsbau eingesetzt. In den verschiedenen biologischen Behandlungsmethoden wird Klärschlamm mit weiteren organischen Abfällen vermischt. Damit ist häufig nicht nachvollziehbar, welcher Anteil des Klärschlammes in die Landwirtschaft oder den Landschaftsbau gelangt. Geschätzt wird, dass rund ein Drittel des biologisch behandelten Klärschlammes in Form von Komposten oder Gülle in Landwirtschaft geführt wird. Zusammen mit dem direkt verwerteten Klärschlamm kann rund 1/4 des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors auf landwirtschaftliche Flächen zurückgeführt werden.

Im Vergleich dazu wird 50% des anfallenden Klärschlammes verbrannt oder deponiert. Mit dem Verbot der direkten Klärschlammdeponierung im Jahr 2004 und dem Ende der Übergangsfristen ist davon auszugehen, dass der vormals deponierte Klärschlamm nun thermisch behandelt wird (siehe Linz Monodeponierung Klärschlamm und nun vollständige thermische Behandlung des anfallenden Klärschlammes).

Die anfallenden Aschen und Filterkuchen der Verbrennungsprozesse werden auf Reststoffdeponien bzw. in untertägigen Deponien im Ausland entsorgt.

Klärschlamm	Anteil [%]	P-Fracht [t P/a]
<b>Direkte Verwertung</b>		
Landwirtschaft	15	1.000
<b>Biologische Behandlung</b>		
Kompostierung	21	1.400
Mechanisch-biologische Beh.	14	910
Biogas	2	120
<b>Thermische Behandlung</b>		
Müllverbrennung	8	520
Monoverbrennung	27	1.800
Mitverbrennung Industrie	4	290
<b>Deponierung*</b>	10	690
<b>Gesamt (gerundet)</b>		<b>6.700</b>

Tabelle 17: Klärschlammbehandlung Österreich; Ergebnisse der Ausgleichsrechnung mit STAN



Aus einem Großteil der tierischen Abfälle wird in den Tierkörperbehandlungsbetrieben Tiermehl mit einer jährlichen P-Fracht von rund 4.500 t/a erzeugt. Allerdings wird der Phosphor mit den derzeitigen Behandlungsverfahren stofflich kaum genutzt (Tabelle 18). Der Hauptanteil wird entweder in der Industrie aufgrund des hohen Heizwerts als Sekundärbrennstoff genutzt (2.600 t P/a) oder gar exportiert (1.800 t P/a).

Tiermehl	Anteil [%]	P-Fracht [t P/a]
Sekundärbrennstoff	58	2.600
Export	40	1.800
Landwirtschaft	0,3	130
Biogas	0,02	9
<b>Gesamt (gerundet)</b>		<b>4.500</b>

Tabelle 18: Tiermehlverwertung Österreich; Ergebnisse der Ausgleichsrechnung STAN

Die getrennt gesammelten biogenen Abfälle aus den Haushalten und der Industrie (insgesamt 3.300 t P/a) werden den biologischen Behandlungsanlagen zugeführt. Damit kann für diese P-Flüsse davon ausgegangen werden, dass die Endprodukte wie z.B. Komposte entweder in der Landwirtschaft, dem Landschaftsbau oder in Haushalten eingesetzt wird. Wie bereits bei den Klärschlämmen ist allerdings eine eindeutige Zuordnung zu den Zielprozessen nicht möglich. Vorsicht ist daher bei den für diese Flüsse angegebenen Unsicherheiten geboten. Durch die Ausgleichsrechnung der Software STAN werden oftmals geringere Unsicherheiten, wie ursprünglich angenommen, errechnet. Komposte und Biogasgülle werden als organische Düngemittel zusammengefasst (4.900 t P), die in der Landwirtschaft zum Einsatz kommen. Die P-Fracht der Substrate (Komposte mit minderer Qualität) die im Landschaftsbau eingesetzt werden, kann mit 2.100 t P errechnet werden. Jene Frachten, die über Komposte, die in die Gärten der Haushalte fließen, können mit rund 1.000 t P angenommen werden. Aufgrund der hohen Unsicherheit von 70% ist die Aussagekraft dieser Berechnung beschränkt. Zusammenfassend wird festgehalten, dass über die Verwertungsverfahren MBA, Kompostierung, Tierkörperbehandlung und Biogasanlagen rund 7.000 t P aus dem System Abfallwirtschaft entweder in die Landwirtschaft oder den Landschaftsbau fließen. Das entspricht rund einem Drittel der in das System Abfallwirtschaft importierten P-Fracht.

Über die Verbrennung phosphorhaltiger Abfälle (Restmüll, Klärschlamm und Tiermehl) fließt jährlich eine P-Fracht von insgesamt ~6.200 t über die Flüsse Aschen, Schlacken oder Klinker in den Prozess Deponie & Beton. Weitere Verbrennungsrückstände wie Filterkuchen aus der Rauchgasreinigung enthalten nur geringe P-Konzentrationen, die über den Fluss Filterkuchen (290 t P/a) aus dem System exportiert werden. Die größten Inputmengen der thermischen Anlagen verzeichnet der Prozess Mitverbrennung Industrie mit 3.100 t P (Klärschlamm und Tiermehl), gefolgt von der Monoverbrennung von Klärschlamm mit 1.800 t P/a.

Der Prozess Altstoffsammlung ist mit verhältnismäßig geringen Flussmengen unbedeutend.

Der jährliche Zuwachs im Prozess Deponie & Beton beträgt 8.700 t P. Wie bereits dargestellt entfällt der Hauptanteil der abgelagerten Stoffe mit rund 70% auf die thermischen Rückstände. Bei Betrachtung des Gesamtsystems ist im Prozess Abfallwirtschaft der größte Lagerzuwachs, noch vor den landwirtschaftlichen Böden, zu beobachten.

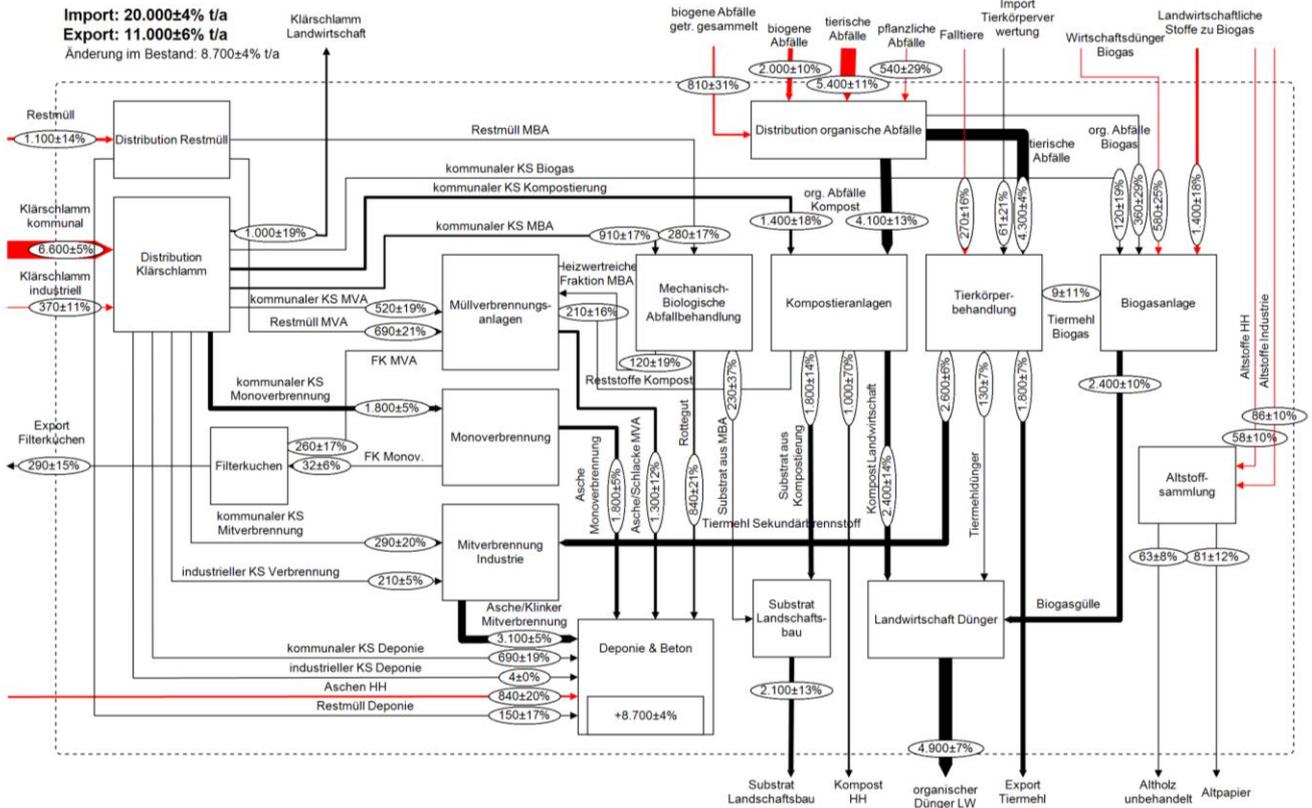


Abbildung 21: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Abfallwirtschaft

Inputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/E*a)	US %	
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
F1.5 Tierhaltung	Biogasanlage	Wirtschaftsdünger Biogas	458	33%	1,3 +/- 20%	575	0,07 +/-	25%		
F1.6 Tierhaltung	Tierkörperbehandlung	Falltiere	30	11%	8,8 +/- 7%	266	0,03 +/-	16%		
F2.4 LW - Pflanzenbau	Biogasanlage	Landwirtschaftliche Stoffe	1.625	33%	0,8 +/- 8%	1.358	0,16 +/-	18%		
F5.10 Verpackung	ARA	Altstoffe Industrie	700	33%	0,1 +/- 10%	86	0,01 +/-	10%		
F5.13 Lebensmittelindustrie	Distribution org. Abfälle	tierische Abfälle	644	11%	9,0 +/- 6%	5.352	0,65 +/-	11%		
F5.14 Lebensmittelindustrie	Distribution org. Abfälle	pflanzliche Abfälle	258	11%	2,1 +/- 23%	535	0,06 +/-	29%		
F6.3 Haushalt	Distribution Restmüll	Restmüll	1.391	11%	0,9 +/- 15%	1.124	0,14 +/-	14%		
F6.4 Haushalt	Distribution org. Abfälle	biogene Abfälle	2.053	11%	1,0 +/- 11%	810	0,10 +/-	31%		
F6.5 Haushalt	ARA	Altstoffe Haushalt	792	11%	0,1 +/- 12%	58	0,01 +/-	10%		
F6.6 Haushalt	Deponie	Asche aus Biomasse	82	15%	12,0 +/- 17%	2.018	0,24 +/-	10%		
F6.7 Haushalt	Distribution org. Abfälle	biogene Abfälle getr. gesammelt	641	11%	1,4 +/- 32%	842	0,10 +/-	20%		
F7.1 Abwasserwirtschaft	Distribution Klärschlamm	Klärschlamm kommunal	259	11%	26,5 +/- 6%	6.567	0,79 +/-	5%		
F7.2 Abwasserwirtschaft	Distribution Klärschlamm	Klärschlamm industriell	168	33%	2,1 +/- 5%	366	0,04 +/-	11%		
F8.1 Import	Tierkörperbehandlung	Import TKV	35	11%	1,8 +/- 14%	61	0,01 +/-	21%		
Outputflüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/E*a)	US %	
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
F8.2 Landwirtschaft Dünger	LW - Pflanzenbau	organischer Dünger LW	4.506	19%	1,1 +/- 13%	4.940	0,60 +/-	7%		
F8.3 Substrat Landschaftsbau	sonstige Flächen	Substrat Landschaftsbau	*	*	* +/- -	2.064	0,25 +/-	13%		
F8.4 ARA	Papierindustrie	Altpapier	1.043	11%	0,1 +/- 17%	81	0,01 +/-	12%		
F8.5 Filterkuchen	Export	Export Filterkuchen	-	-	- +/- -	288	0,03 +/-	15%		
F8.6 Tierkörperverwertung	Export	Export Tiermehl	32	11%	- +/- 7%	1.832	0,22 +/-	7%		
F8.7 ARA	Energiegewinnung Biomasse	Altholz unbehandelt	466	11%	0,1 +/- 4%	63	0,01 +/-	8%		
F8.8 Kompostieranlagen	Garten	Kompost Haushalt	-	-	- +/- -	1.027	0,12 +/-	70%		
F8.9 Distribution Klärschlamm	LW, Pflanzenbau	Klärschlamm Landwirtschaft	41	232890%	26,5 +/- 6%	1.018	0,12 +/-	19%		
Systeminterne Flüsse			Güterfluss 1.000 t/a	US %	P-Konz. (g/kg)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/E*a)	US %	
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname								
P8.1 Distribution Restmüll	MBA	Restmüll MBA	308	33%	0,9 +/- 17%	283	0,03 +/-	17%		
P8.2 Distribution Restmüll	Müllverbrennungsanlage	Restmüll MVA	880	33%	0,9 +/- 28%	692	0,08 +/-	21%		
P8.3 Distribution Klärschlamm	Biogasanlage	Rest/Klärschlamm	5	33%	26,5 +/- 19%	115	0,01 +/-	19%		
P8.4 Distribution Klärschlamm	Kompostieranlagen	komm. KS Kompostierung	55	33%	26,5 +/- 6%	1.274	0,15 +/-	20%		
P8.5 Distribution Klärschlamm	MBA	komm. KS MBA	35	33%	26,5 +/- 6%	896	0,11 +/-	18%		
P8.6 Distribution Klärschlamm	Müllverbrennungsanlage	komm. KS MVA	21	11%	26,5 +/- 6%	524	0,06 +/-	19%		
P8.7 Distribution Klärschlamm	Monoverbrennung	komm. KS Monoverbrennung	67	11%	26,5 +/- 6%	1.791	0,22 +/-	5%		
P8.8 Distribution Klärschlamm	Mitverbrennung Industrie	komm. KS Mitverbrennung	11	11%	26,5 +/- 6%	297	0,04 +/-	19%		
P8.9 Distribution Klärschlamm	Deponie	komm. KS Deponie	27	11%	26,5 +/- 6%	650	0,08 +/-	20%		
P8.10 Distribution Klärschlamm	Mitverbrennung Industrie	Industr. KS Mitverbrennung	102	33%	2,1 +/- 5%	214	0,03 +/-	5%		
P8.11 Distribution Klärschlamm	Deponie	Industr. KS Deponie	2	33%	2,1 +/- 5%	4	0,00 +/-	0%		
P8.12 Müllverbrennungsanlage	Deponie	Schlacke/Asche MVA	258	68%	4,8 +/- 17%	1.290	0,16 +/-	12%		
P8.13 Monoverbrennung	Deponie	Flugasche Monoverbrennung	19	11%	96,0 +/- 6%	1.759	0,21 +/-	5%		
P8.14 Mitverbrennung Industrie	Deponie	Asche/Klinker Mitverbrennung	-	-	- +/- -	3.135	0,38 +/-	5%		
P8.15 Müllverbrennung	Müllverbrennungsanlage	Export Filterkuchen MVA	**	**	** +/- **	256	0,03 +/-	17%		
P8.16 Monoverbrennung	Monoverbrennung	Export Filterkuchen Monoverbrenn	**	**	** +/- **	32	0,00 +/-	6%		
P8.17 Distribution Restmüll	Deponie	Restmüll Deponie	160	33%	0,9 +/- 17%	146	0,02 +/-	17%		
P8.18 MBA	Deponie	Rottegut aus MBA	64	22%	15,3 +/- 37%	825	0,10 +/-	21%		
P8.19 MBA	Substrat Landschaftsbau	Substrat aus MBA	16	22%	15,3 +/- 37%	234	0,03 +/-	37%		
P8.20 Kompostieranlagen	Substrat Landschaftsbau	Substrat aus Kompostierung	374	31%	4,9 +/- 14%	1.829	0,22 +/-	14%		
P8.21 Kompostieranlagen	Landwirtschaft Dünger	Kompost Landwirtschaft	398	31%	6,0 +/- 16%	2.395	0,29 +/-	14%		
P8.22 Kompostieranlagen	Müllverbrennungsanlage	Reststoffe Kompost	50	33%	4,2 +/- 16%	209	0,03 +/-	16%		
P8.23 Tierkörperbehandlung	Mitverbrennung Industrie	Tiermehl Sekundärbrennstoff	46	11%	56,0 +/- 7%	2.624	0,32 +/-	6%		
P8.24 Tierkörperbehandlung	Landwirtschaft Dünger	Tiermehldünger	2	11%	56,0 +/- 7%	126	0,02 +/-	7%		
P8.25 Tierkörperbehandlung	Biogasanlage	Tiermehl Biogas	0,2	11%	56,0 +/- 7%	9	0,00 +/-	11%		
P8.26 Biogasanlage	Landwirtschaft Dünger	Biogasgülle	1.667	33%	1,4 +/- 15%	2.418	0,29 +/-	10%		
P8.27 Distribution org. Abfälle	Kompostieranlage	org. Abfälle Kompost	1.867	31%	2,2 +/- 15%	4.088	0,49 +/-	13%		
P8.28 Distribution org. Abfälle	Tierkörperbehandlung	tierische Abfälle	312	11%	13,9 +/- 6%	4.263	0,52 +/-	4%		
P8.29 Distribution org. Abfälle	Biogasanlage	org. Abfälle Biogas	367	33%	1,0 +/- 30%	360	0,04 +/-	29%		
P8.30 Kompostieranlagen	Müllverbrennungsanlage	Heizwertreiche Fraktion MBA	133	11%	0,9 +/- 19%	121	0,01 +/-	19%		
Lagerveränderungen Deponie							+	8.650	1,05 +/-	4%

\*lediglich die resultierende P-Fracht berechnet

\*\*P-Fracht über Transferkoeffizienten für Verbrennungsanlagen berechnet

Tabelle 19: Prozessliste Subsystem Abfallwirtschaft

### 3.9 Gewässer

90% der Fläche Österreichs wird über die Donau entwässert. Zusätzlich dazu und aufgrund der Datengrundlage wird die Donau als einziges Gewässer betrachtet. Über die Donau gelangt jährliche eine P-Fracht von rund 6.500 t P/a nach Österreich. Die Fracht wird durch zusätzliche Einträge aus diffusen Quellen (~3.500 t P; Erosion von land- und forstwirtschaftlichen Flächen) und Punktquellen (~1.300 t P; Regenüberlauf, Ablauf Kläranlagen, Direkteinleiter) deutlich erhöht. Für die Gewässer wird angenommen, dass in den Sedimenten und Uferflächen jährlich rund 1.300 t P rückgehalten werden. Allerdings sind sowohl diese Ablagerungen als auch die angenommen bestehenden Lager in Sedimenten und Uferbereichen von 6.000 t P durch veränderliche Abflussbedingungen wie z.B. Hochwässer starken Veränderungen unterworfen, die nicht nachvollziehbar quantifiziert werden können. Für das österreichische Staatsgebiet

errechnet sich unter den genannten Annahmen eine Zunahme der Fracht in der Donau von jährlich 3.500 t P/a.

**Import: 11.000±7% t/a**  
**Export: 10.000±8% t/a**  
 Änderung im Bestand: 1.300±20% t/a

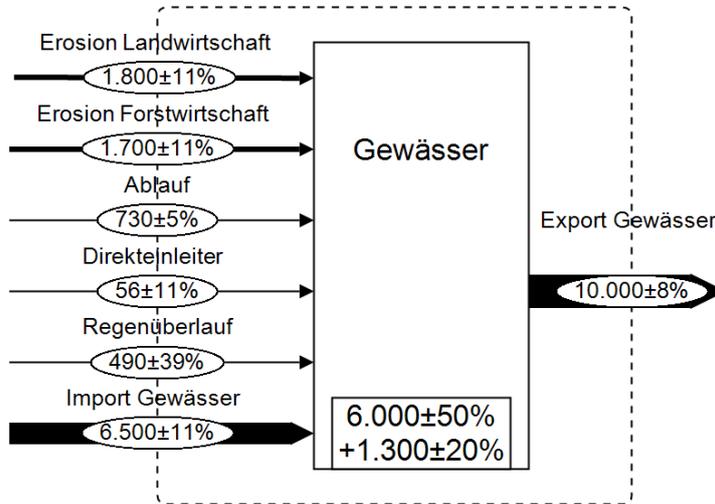


Abbildung 22: Ergebnis der Modellrechnung Subsystem Gewässer

Inputflüsse			P-Fracht (tP/a)	US %	P-Fracht (tP/a)	P-Fracht (kgP/(E*a))	US %
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname					
→ F2.3 LW - Pflanzenbau	Gewässer	Erosion Landwirtschaft	1840	11 +/-	200	1.840	0,22 +/- 11%
→ F3.7 Forstwirtschaft	Gewässer	Erosion Forstwirtschaft	1716	11 +/-	187	1.716	0,21 +/- 11%
→ F7.2 komm. ARA	Gewässer	Ablauf Abwasserreinigung	1041	11 +/-	113	730	0,09 +/- 5%
→ F7.4 ind. ARA	Gewässer	Direkteinleiter	56	33 +/-	18	56	0,01 +/- 11%
→ F7.5 Abw.sammlung/Abw.system	Gewässer	Regenüberlauf				489	0,06 +/- 39%
→ F9.1 Import	Gewässer	Import Gewässer	6465	11 +/-	703	6.465	0,78 +/- 11%
Outputflüsse							
Herkunftsprozess	Zielprozess	Flussname					
← F9.2 Export	Gewässer	Export Gewässer	11087	11 +/-	11	9.996	1,21 +/- 8%
Lager		Lagername	Lagerbestand				
LAGER	Gewässer					6.000	0,73 +/- 50%
<b>Lagerveränderung Gewässer</b>						1.300	0,16 +/- 20%

Tabelle 20: Prozessliste Subsystem Gewässer



### 3.10 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei Betrachtung des Gesamtsystems wird deutlich, dass Österreich mit jährlich 70.000 t P deutlich mehr Phosphor importiert als exportiert (52.000 t P). Die Differenz wird als Lagerveränderung in den Subsystemen Landwirtschaft – Pflanzenbau, Forstwirtschaft, Haushalt und Infrastruktur, Abfallwirtschaft und Gewässer sichtbar (+18.000 t P/a). Aufgrund der recht undurchsichtigen Datengrundlage hinsichtlich der Importe an Rohphosphate und/oder bereits handelsfähigen Düngemitteln kann deren importierte Fracht deutlich geringer oder höher ausfallen als in der Bilanz dargestellt. Allerdings hat eine Veränderung der Importe und die damit direkt im Zusammenhang stehenden Exporte keinen Einfluss auf die P-Flüsse im System an sich, da die tatsächlich in der Landwirtschaft ausgebrachte P-Fracht in Form von Mineraldüngern bekannt ist. Eine etwaige Lagerung der erzeugten Mineraldünger bei den Herstellern wird nicht berücksichtigt. Damit fungiert der Subprozess Düngemittelindustrie quasi als Durchlaufprozess und beeinflusst lediglich den Import- und Export des österreichischen Gesamtsystems. Auch der Prozess Gewässer kann als Durchlaufprozess betrachtet werden, dessen Import an Phosphor als nicht relevant für das Gesamtsystem Österreich ist.

In weiterer Folge wird bei der Berechnung von Flüssen in Bezug auf die Importe der Begriff Nettoimport und Bruttoimport verwendet. Beim Nettoimport wird der Import über die Gewässer vernachlässigt und für die Rohphosphate/Düngemittel nur die tatsächlich aufgebrauchte Mineraldüngermenge als Import berücksichtigt. Daraus errechnet sich ein jährlicher Import von 32.000 t P/a, während beim Bruttoimport sämtliche Importe an Rohphosphate bzw. handelsfähigen Düngemitteln und über die Gewässer berücksichtigt werden (70.000 t P/a). Wird nur der Nettoimport berücksichtigt gelangt rund 80–90% des importierten Phosphors entweder direkt in Form von Nahrungsmitteln oder als Betriebsmittel wie Mineraldünger und Futtermittel zur Produktion von Nahrungsmitteln, Futtermitteln und anderen landwirtschaftlichen Produkten nach Österreich. Die verbleibenden Importmengen entfallen auf Depositionen, Holz & Papier, Chemikalien und tierische Abfälle zur Tierkörperbehandlung. Rund 55% oder 18.000 t P/a der importierten P-Fracht in Österreich trägt zur Lagerbildung in den verschiedenen Systemen bei.

Bei genauerer Betrachtung der neun Subsysteme wird der intensive Austausch phosphorhaltiger Stoffströme zwischen den beiden landwirtschaftlichen Bereichen Tierhaltung und Pflanzenbau deutlich. Dies ist auf die Flüsse Wirtschaftsdünger (27.000 t P/a) und nicht marktfähige Futtermittel (21.000 t P/a) zurückzuführen. In weiterer Folge nimmt auch die Industrie einen großen Stellenwert ein. Zum einen gelangen Importe an Nahrungsmittel, Importe Futtermittel und sämtliche landwirtschaftlichen tierischen und pflanzlichen Produkte zur Verarbeitung in die Industrie und zum anderen fungiert dieser Prozess als Verteiler und Produzent der importierten Rohphosphate und handelsfähiger Mineraldünger. In der Realität gelangen die marktfähigen Futtermittel häufig direkt in das System Landwirtschaft – Tierhaltung und werden nicht über das System Industrie geführt. Insgesamt ergeben sich für die Industrie Zuflüsse von 53.000 t P. Als Durchlaufsystem teilen sich die Phosphorflüsse der Industrie wie folgt auf (berücksichtigt wird nur die tatsächlich aufgebrauchte Mineraldüngermenge):

Verteilung P-Output Industrie	P-Fracht [t P/a]	[%]
Landwirtschaft (Futtermittel, Saatgut und Mineraldünger)	31.950	60
Haushalt (Nahrungsmittel, Mineraldünger)	8.670	16
Abfallwirtschaft (tierische und pflanzliche Abfälle)	5.940	11
Export (Nahrungs- und Futtermittel)	4.600	9
Abwasser	2.050	4
<b>Gesamt</b>	<b>53.210</b>	

Tabelle 21: Verteilung Outputflüsse des Subsystems Industrie

In der österreichischen Phosphorbilanz spielen die beiden Systeme Forstwirtschaft und chemische Industrie nur eine untergeordnete Rolle. Trotz der großen Güterflüsse, gerade im Bereich der Forstwirtschaft, sind die Phosphorflüsse aufgrund der sehr geringen Konzentrationen unbedeutend. Interessant ist die P-Fracht von 1.600 t P im Energieholz, welche nach der Verbrennung in der Asche vorliegt. Diese P-Fracht entspricht in etwa der Größenordnung des monoverbrannten Klärschlammes.

Aus der chemischen Industrie haben die erzeugten Reinigungsmittel im Hinblick auf die P-Fracht im kommunalen Abwasser mit rund 1.100 t P einen signifikanten Einfluss. Rund 18% der P-Fracht im rein häuslichen Abwasser (5.800 t P/a) stammen aus der Anwendung phosphorhaltiger Reinigungsmittel. Ein Verbot, wie bei den P-haltigen Waschmitteln, hätte auch Auswirkung auf die Abwasserwirtschaft und deren Outputflüsse (Regenüberlauf, Klärschlamm, Ablauf).

Rund 7.800 t P gelangt jährlich über das kommunale Abwassersystem zu den über 1.800 Kläranlagen >50 EW in Österreich. Unter Berücksichtigung des Regenüberlaufs und einer 90 %igen P-Elimination ist im kommunalen Klärschlamm mit einer P-Fracht von 6.600 t Phosphor zu rechnen. Gleichzeitig gelangen über den Regenüberlauf und den Ablauf rund 1.300 t P/a in die Gewässer. Mit rund 400 t P/a im industriellen Abwasser ist der Stellenwert im Vergleich zum kommunalen Abwasser sehr gering. Nichtsdestotrotz liegt im industriellen Klärschlamm ein P-Potential von 370 t vor.

Die Gesamtmenge an Phosphor, die in das System Abfallwirtschaft gelangt beträgt ca. 20.000 t, was in etwa der jährlichen P-Fracht der pflanzlichen Produkte aus der Landwirtschaft in die Industrie entspricht. Die Hauptabfallfraktionen sind Klärschlämme mit 35% und tierische Abfallprodukte mit 30%. Über die zahlreichen in der Abfallwirtschaft bekannten Behandlungs- und Verwertungsprozesse können 40% oder 8.000 t P über die organischen Abfälle direkt im Sinne einer Kreislaufwirtschaft in der Landwirtschaft, im Landschaftsbau oder in Gärten verwertet werden. Unmöglich ist jedoch eine deutliche Aufgliederung der Verwertungswege von Klärschlamm. Während der im Klärschlamm enthaltene Phosphor in der Landwirtschaft eine Düngefunktion hat, wird Phosphor im Landschaftsbau nicht in diesen Mengen benötigt. Hauptgrund für eine Anwendung im Landschaftsbau ist der Bodencharakter der Endprodukte. Die vorhandene Datenlage lässt eine detailliertere Aufschlüsselung der Verwertung der verschiedenen Klärschlamm(folge-)produkte nicht zu

Aus dieser Bilanz geht auch hervor, dass der Lagerzuwachs (+8.700 t P) in der Abfallwirtschaft in den Deponien größer als in der Landwirtschaft (+4.400 t P) ist. Dies ist eine starke Veränderung gegenüber der Situation in den 80iger und 90iger Jahren, wo der Lagerzuwachs in den landwirtschaftlichen Böden aufgrund des höheren Mineraldüngereinsatzes um ein Vielfaches höher war. Rund 70% des jährlichen Lagerzuwachses der Deponien ist auf die verschiedenen Verbrennungsprozesse zurückzuführen. Weiters



kann nachgewiesen werden, dass Restmüll nur ein Phosphorpotential von 1.100 t hat und die P-Konzentration zu gering ist, dass dies als eine mögliche zukünftige P-Ressource in Frage kommt.

Die jährlich über die Donau importierte P-Fracht beträgt rund 6.500 t. Über diffuse und punktuelle Quellen erfährt das System Gewässer eine Erhöhung der P-Fracht um 4.800 t. Nach Abzug der Retention von 1.300 t P resultierte eine Gesamtfracht von 10.000 t die als Export aus dem System fließt.

### 3.10.1 Optimierungspotential

#### P-Recycling

Bezogen auf die P-Fracht die jährlich in Form von Mineraldünger (16.300 t P/a) in der Landwirtschaft ausgebracht wird, besteht die Möglichkeit einer direkten Substitution (z.B. direkte landwirtschaftliche Verwertung) oder indirekten Substitution durch Aufbereitung P-haltiger Abfallströme (z.B. Kompost aus biogenen Abfällen, Sekundärdünger aus verschiedenen Phosphorrückgewinnungsverfahren). Deren theoretisches Substitutionspotential wird in Tabelle 22 dargestellt. Stoffflüsse, die in einer Biogasanlage behandelt werden, werden nicht berücksichtigt, da von einer bereits bestehenden vollständigen landwirtschaftlichen Nutzung der anfallenden Gülle ausgegangen wird. Getrennt gesammelte biogene Abfälle und in weitere Folge Komposte werden in dieser Liste aufgeführt. Grund ist, dass der Zielprozess der anfallenden Komposte nicht eindeutig nachvollziehbar ist und damit der Anteil, der in der Landwirtschaft eingesetzten Komposte unsicher ist.

Relevante Flüsse P-Recycling	P-Fracht [t P/a]	Substitutionspotential [%]
Kommunales Abwasser	7.800	~49%
Kommunaler Klärschlamm	6.600	~41%
Tiermehl	4.500	~28%
Getrennt gesammelte biogene Abfälle	2.800	~18%
<b>Gesamt in Abfällen</b>	<b>13.900</b>	<b>~87%</b>

Tabelle 22: Substitutionspotential verschiedener Abfallflüsse

#### Vermeidung P-Verluste

Neben der Rückgewinnung- und Nutzung potentieller P-reiche Flüsse ist auch die Reduktion etwaiger Verluste eine Möglichkeit die Abhängigkeit von Importen zu reduzieren. Als Verlust wird in diesem Fall jener Teil der P-Fracht gesehen, der über die Gewässer verloren geht (Tabelle 23). Allerdings ist offensichtlich, dass diffuse und Punktquellen nie ganz vermieden werden können. Ein Verbesserungspotential besteht dennoch.

P-Verluste über Gewässer	P-Fracht [t P/a]
Erosion Landwirtschaft	1.800
Erosion Forstwirtschaft	1.700
Regenüberlauf	490
Ablauf kommunale Kläranlage	730
Ablauf industrielle Kläranlage	60
<b>Gesamt</b>	<b>4.780</b>

Tabelle 23: Theoretisches Vermeidungspotential P-Verluste über Gewässer

### **Verbot P-haltiger Reinigungsmittel**

Eine Möglichkeit die P-Import nach Österreich zu reduzieren, ist ein Verbot P-haltiger Reinigungsmittel. Gegenwärtig wird eine P-Fracht von rund 1.100 t jährlich eingesetzt und gelangt über das kommunale Abwasser zu den Kläranlagen.

### **Angemessene Düngemittelanwendung**

Untersuchungen österreichischer Böden (Springer, 2012) zeigen eine gute P-Versorgung für landwirtschaftliche Nutzflächen. Dauerkulturflächen für Obst und Wein sind ausreichend bis hoch versorgt, der Entzug gleichzeitig gering und damit der Düngebedarf ebenfalls gering. Ackerflächen mit tierhaltenden Betrieben weisen zumeist eine ausgeglichene P-Bilanz auf. Für Ackerflächen mit Marktfruchtbetrieb liegt der P-Entzug zumeist über der P-Zufuhr. Der P-Vorrat von Grünflächen ist zumeist auf niedrigem Niveau, wobei der P-Bedarf über Wirtschaftsdüngerzufuhr gedeckt ist. Das bedeutet, dass eine mögliche Reduktion der Mineraldüngerimport hauptsächlich auf den Ackerflächen mit Marktfruchtbetrieb möglich ist. Die Abschätzung einer möglichen P-Importreduktion ist aufgrund der unterschiedlichen Nutzpflanzen und der fehlenden Informationen über den konkreten Düngemiteleinsatz auf den einzelnen Flächen kaum möglich.



### 3.11 Take-Home Message

- 1) Laut Bilanz ist noch immer ein erheblicher Lagerzuwachs in landwirtschaftlichen Böden feststellbar (+4.000 t P/a)
- 2) Die P-Bilanz bestätigt ein großes aber häufig ungenutztes P-Potential in den Sektoren Abfall- und Abfallwirtschaft.
- 3) Das Substitutionspotential von P-haltigen Mineraldüngern durch bisher nicht landwirtschaftlich verwerteten Klärschlamm und Tiermehl liegt bei 60–70% (Bilanzzeitraum 2004–2008).
- 4) Bei Betrachtung der gesamten P-Fracht des Klärschlammes (6.600 t P/a) und der Tiermehle (4.500 t P/a) liegt das Substitutionspotential bei den aktuellen Düngemittelabsätzen von rund 12.800 t P/a (Wirtschaftsjahr 2010/11) bei bis zu 85%.
- 5) Nur rund 16% des anfallenden Klärschlammes wird direkt in die Landwirtschaft verwertet. Tendenz abnehmend.
- 6) Rund 50% des anfallenden Klärschlammes wird derzeit einer thermischen Behandlung zugeführt und die anfallenden Aschen bzw. Schlacken und der Hauptanteil des darin enthaltenen Phosphors in den heimischen Deponien in Form von Schlacke/Asche abgelagert oder als Filterkuchen exportiert.
- 7) Die anfallende Klärschlamm-Monoverbrennungasche (hohe P-Konzentration) mit einer Fracht von 1.800 t P/a wird mit weiteren Verbrennungsrückständen verdünnt und steht damit einer möglichen zukünftigen Rückgewinnung kaum zur Verfügung.
- 8) Verwertungsverfahren für organische Abfälle wie Kompostier- und Biogasanlagen stellen Produkte bzw. Dünger her, die in einem Ausmaß von jährlich 4.900 t P in die Landwirtschaft geführt werden.
- 9) 8.700 t P ist die jährliche Lagerzunahme auf Deponien bzw. Zement und Beton. Das entspricht dem doppelten Lagerzuwachs auf landwirtschaftlichen Böden oder der Hälfte der über Mineraldünger importierten P-Fracht.
- 10) Über Tiermehlexporte gelangen jährlich 1.800 t P ins Ausland.
- 11) Über Bodenerosion gelangt mit 3.500 t P eine nicht zu unterschätzender Phosphorfracht über die Vorfluter außer Landes
- 12) Punktquellen sind für weniger als 1/3 der jährlichen P-Emissionen von 4.800 t in die Gewässer verantwortlich.
- 13) In Haushalten ist neben den landwirtschaftlichen Böden und der Abfallwirtschaft ebenfalls ein signifikanter P-Zuwachs von bis zu 2.300 t/a zu beobachten. Für diese Lagerveränderung sind im Vergleich jedoch sehr hohe Unsicherheiten zu berücksichtigen.

## 4 Möglichkeiten der Steuerung phosphorhaltiger Flüsse

Auf der Grundlage der erarbeiteten österreichischen Phosphorbilanz werden zwei Szenarien ausgearbeitet. Dabei soll zum einen das gegenwärtig ungenutzte Phosphorpotential aufgezeigt werden und gleichzeitig die Veränderungen dargestellt werden, die im Rahmen eines verbesserten P-Managements bereits heute möglich sind. Diese Szenarien sollen auf Basis gezielter Steuerung von Phosphorflüssen und z.B. dem Einsatz von neuen Phosphorrecyclingverfahren erstellt werden. Hierbei werden in erster Linie die phosphorhaltigen Abfallströme der Abwasser- und der Abfallwirtschaft betrachtet. Jene Flüsse die in den Szenarien behandelt werden und die Einfluss auf den Phosphorhaushalt in Österreich haben, werden orange hervorgehoben.

### 4.1 Szenario 1

Dieses Szenario betrachtet die bedeutenden Phosphorflüsse kommunaler Klärschlamm und Tiermehl. Annahme ist eine vollständige Verbrennung dieser beiden Abfallströme in Monoverbrennungsanlagen und eine daran anschließende Phosphorrückgewinnung mit gezielter Schadstoffentfrachtung durch ein bekanntes P-Rückgewinnungsverfahren. In Aschen von Monoverbrennungsanlagen können zirka 97% des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors wiedergefunden werden. Für die P-Rückgewinnungstechnologie kann für Phosphor ein Transferkoeffizient von 99% angenommen werden (Lederer et al., 2010). Abbildung 23 zeigt die veränderten Flüsse infolge der Umsetzung von Szenario 1. Auf eine Darstellung der Behandlungsverfahren im Prozess Abfallwirtschaft, die aufgrund der Anforderungen von Szenario 1 nicht mehr benötigt werden, wird verzichtet. Die anschließende Abbildung 24, welche die derzeitige Situation zeigt, soll die resultierenden Veränderungen durch Szenario 1 verdeutlichen.

#### Veränderung

Durch das Szenario 1 ist nur mehr die Monoverbrennung das Ziel der P-reichen Abfallflüsse Klärschlamm und Tiermehl. Zusammen kann für diese beiden Flüsse eine P-Fracht von ca. 11.000 Tonnen ermittelt werden. Über den Prozess P-Recycling aus Asche gelangt der neue Fluss Sekundär P-Dünger mit einer P-Fracht von 11.000 t in die Landwirtschaft. Dadurch kann zum einen die Mineraldüngermenge signifikante auf rund 6.600 reduziert und zum anderen die Importe deutlich verringert werden. In dieser Berechnung wird der gesamte Klärschlamm, auch jener der ansonsten in die Landwirtschaft fließt mit in diese Berechnung einbezogen. Der Lagerzuwachs im Prozess Abfallwirtschaft reduziert sich von vormals 8.700 t P/a auf knapp 2.000 t/a (Abbildung 24).

Betrachtet man das Gesamtsystem verringert sich dadurch der Phosphorimport von 70.000 t auf 61.000 t. Der Lagerzuwachs kann auf rund 11.000 t P/a reduziert werden. Die Exportfracht reduziert sich im Vergleich dazu deutlich geringer von 52.000 t auf 50.000 t Phosphor.

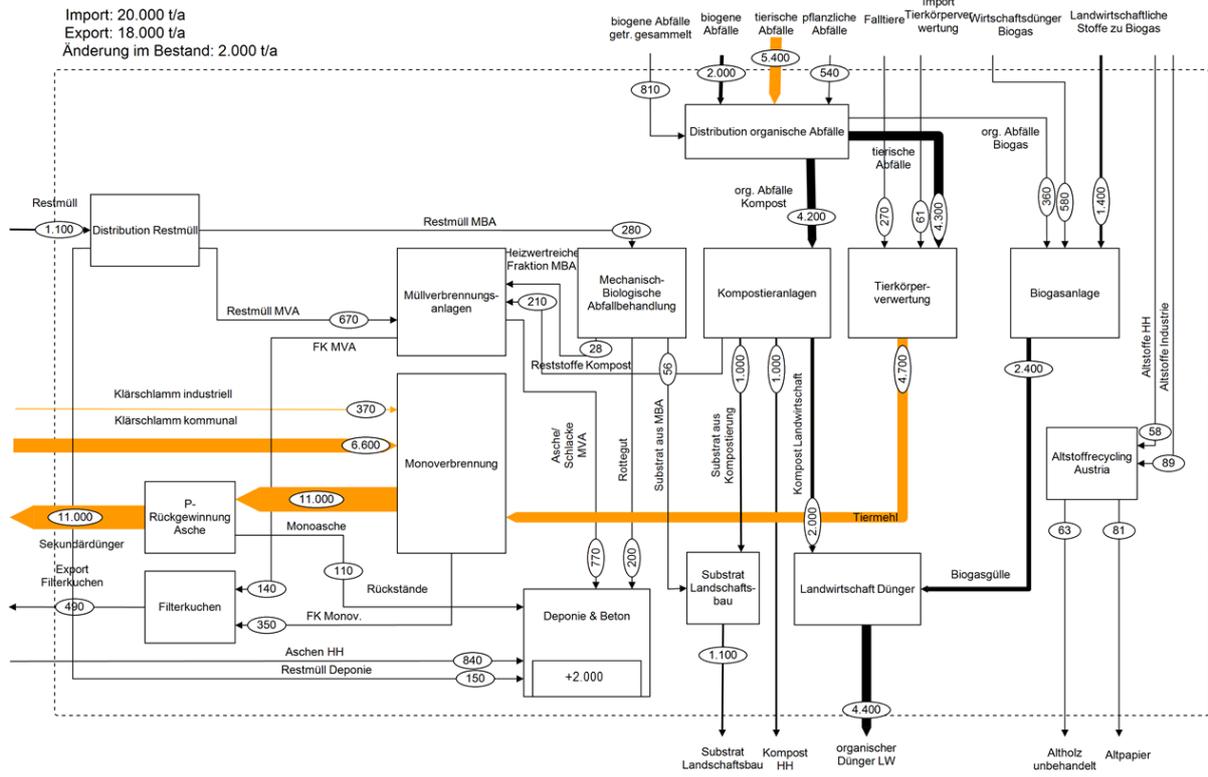


Abbildung 23: Subsystem Abfallwirtschaft – Szenario 1

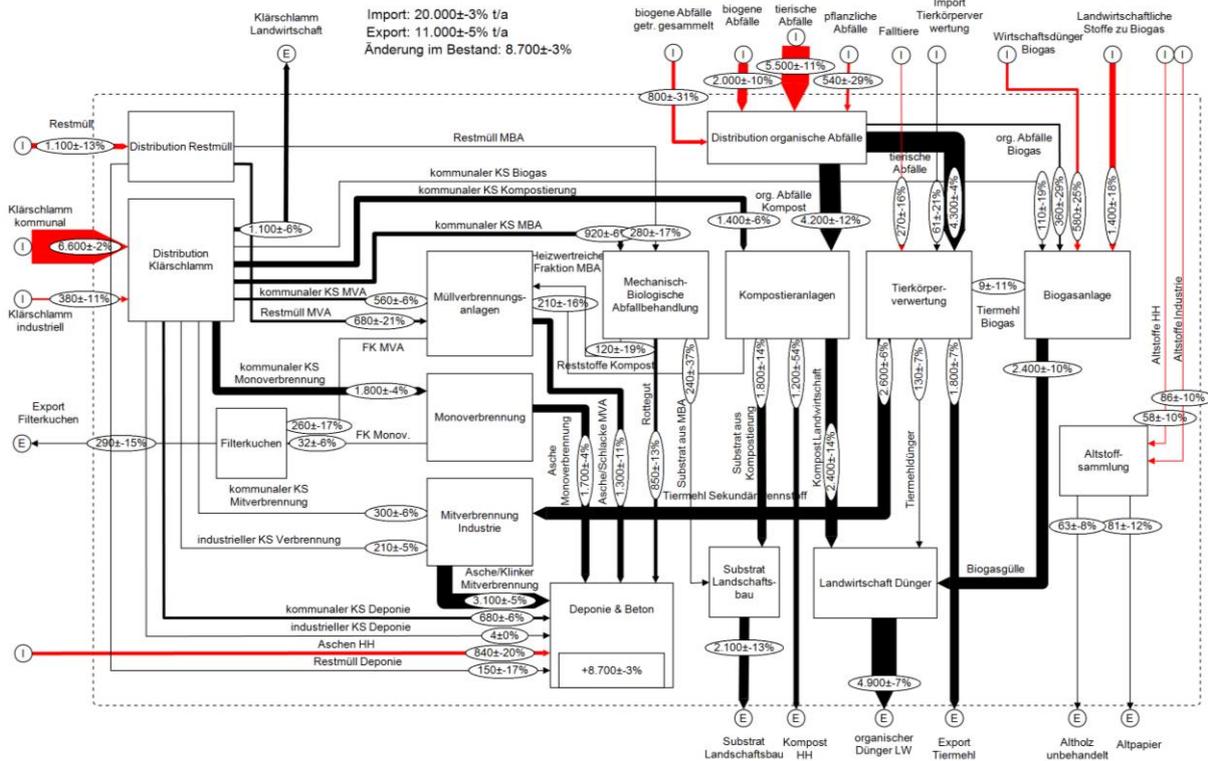


Abbildung 24: Subsystem Abfallwirtschaft – Gegenwärtige Situation

# Möglichkeiten der Steuerung phosphorhaltiger Flüsse

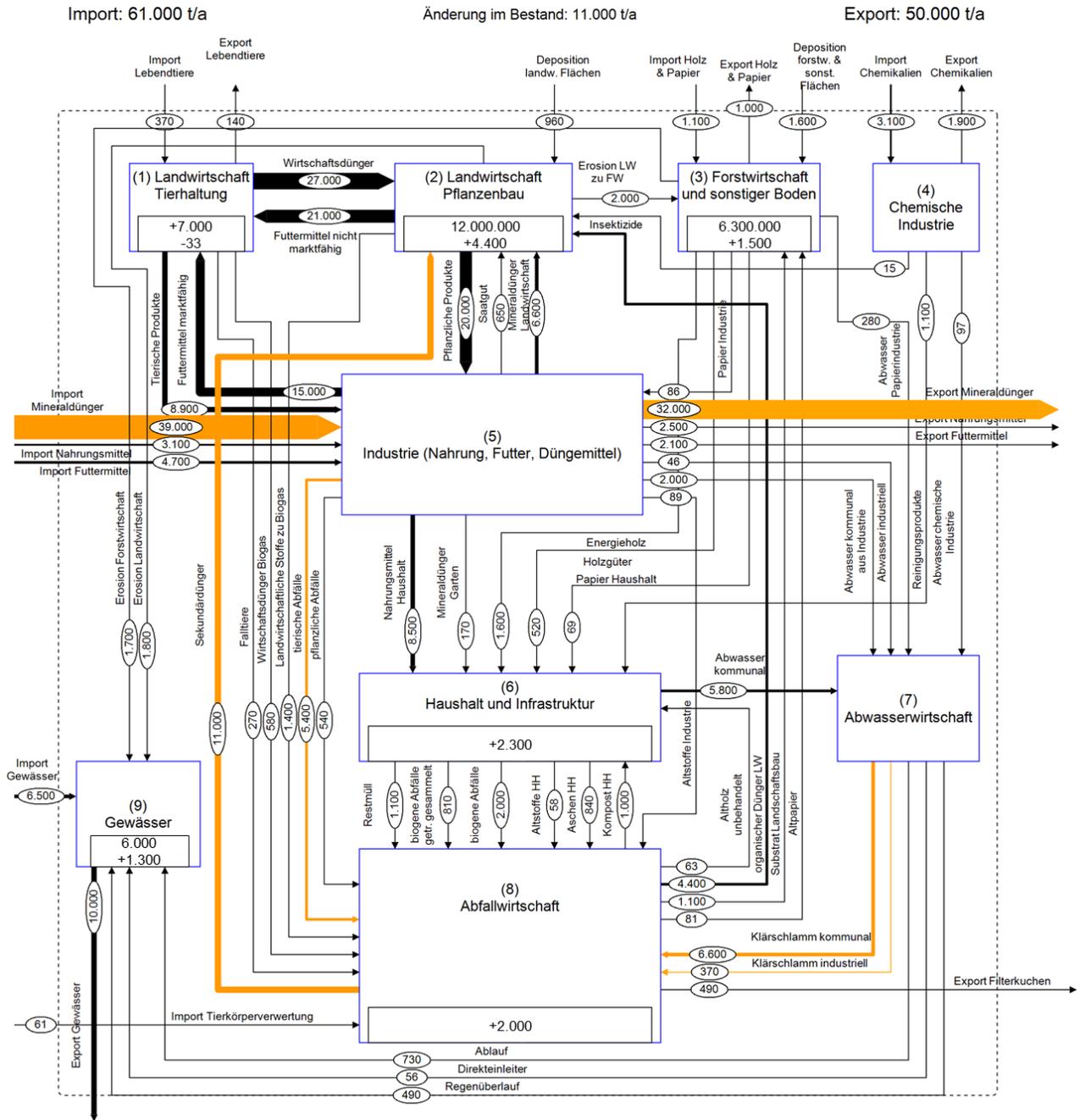


Abbildung 25: Phosphorbilanz Österreich Szenario 1



## 4.2 Szenario 2

Für Szenario 2 steht nur der anfallende kommunale Klärschlamm im Mittelpunkt. Durch Implementierung einer P-Rückgewinnungstechnologie im Anschluss an die Kläranlagen können in Abhängigkeit des Verfahrens 50–80% des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors rückgewonnen werden. Für dieses Szenario 2 wird mit einer Rückgewinnungsquote von 65% gerechnet. Die anfallenden Reststoffe der Rückgewinnungsverfahren und damit auch der nicht rückgewinnbare P-Anteil wird eine thermische Verwertung mit anschließender Deponierung der Asche zugeführt. Angenommen wird, das Rückgewinnungsverfahren auf allen 30 Kläranlagen >100.000 EW (=56% des kommunalen Abwassers bzw. 3.700 t P/a) implementiert wird. Eine Implementierung auf kleineren Kläranlagen ist ökonomisch nicht zielführend (siehe P-Recycling aus dem Abwasser).

### Veränderungen

Aufgrund der eingeführten Technologie im Anschluss an die kommunale Abwasserreinigung kann ein Sekundärdünger mit einer jährlichen P-Fracht von 2.400 t in der Landwirtschaft genutzt werden. Gleichzeitig kann der anfallende Reststoff mit einer P-Fracht von 1.300 t/a abhängig von der eingesetzten Technologie thermisch behandelt (nasschemische Rückgewinnungsverfahren) oder direkt abgelagert (nassoxidative Verfahren) werden. Für eine Rückgewinnung ist P im Reststoff nicht mehr verfügbar. Im Hinblick auf die Nutzung der P-Ressource wäre dies sinnvoll, wenn z.B. der Klärschlamm ansonsten nur thermisch behandelt wird. Würde man den Klärschlamm in der Kompostierung oder Biogaserzeugung nutzen und die Endprodukte dieser Prozesse in der Landwirtschaft einsetzen, so wäre ein nahezu 100%iges P-Recycling gegeben. Im Falle des Einsatzes der Rückgewinnungstechnologie liegt das Recyclingpotential bei nur 65%. Damit ein Optimierungsfall gegeben ist, wird angenommen, dass nur Klärschlamm zur Rückgewinnung verwendet wird, der ansonsten thermische behandelt oder deponiert wird. Damit bleiben auch die P-Frachten in den organischen Düngern konstant.

Infolge der Rückführung an P aus dem Rückgewinnungsverfahren kann auf knapp 15 % der importierten P-haltigen Mineraldünger verzichtet werden. Demnach wird die Lageränderung in der Deponie von 8.700 t P/a auf rund 6.300 t P/a reduziert. Für das Gesamtsystem verringert sich der Phosphorimport nur geringfügig von 70.000 t auf rund 67.500 t. Der Export von P bleibt unverändert (Abbildung 26).

# Möglichkeiten der Steuerung phosphorhaltiger Flüsse

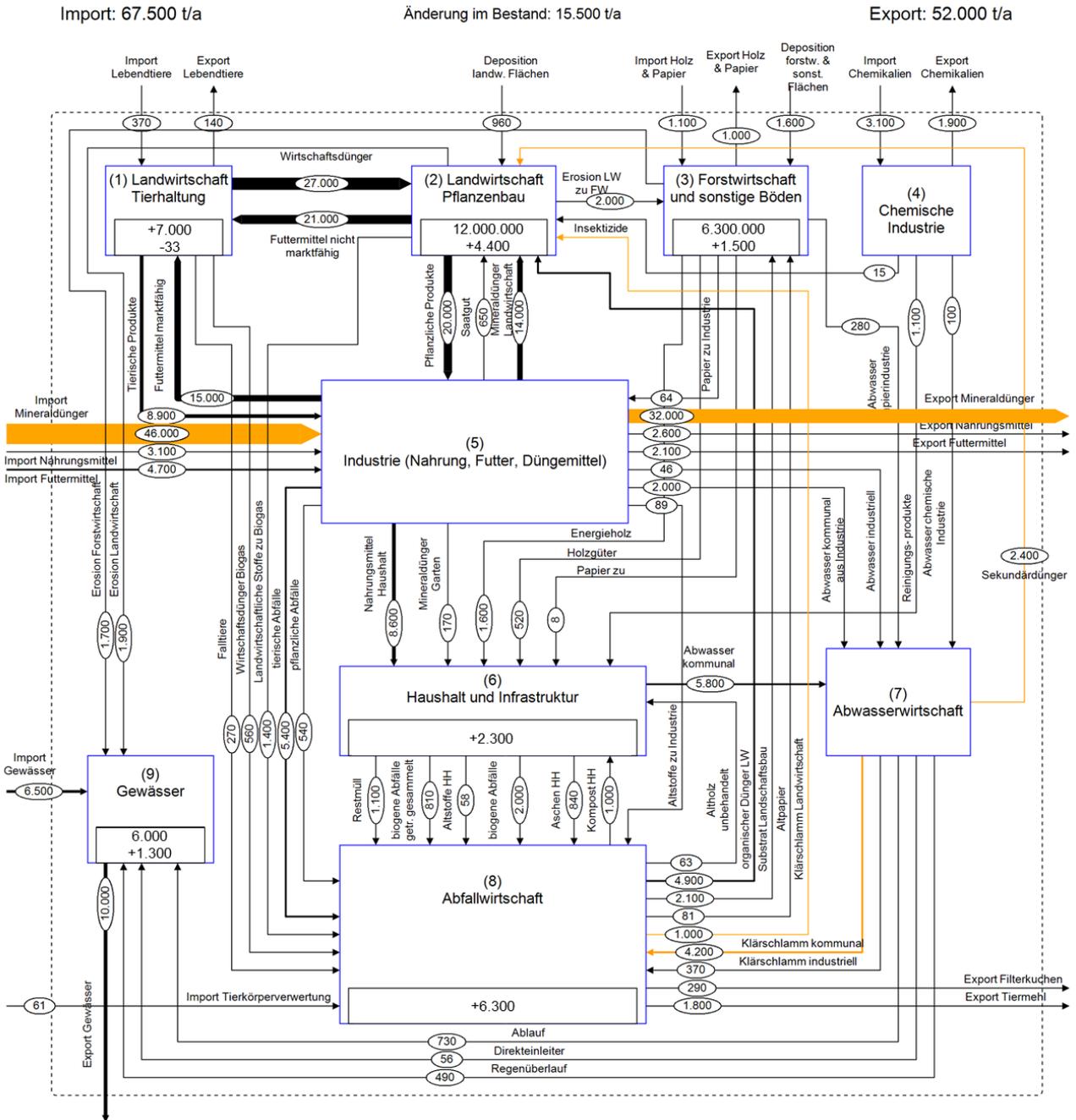


Abbildung 26: Phosphorbilanz Österreich Szenario 2



## 5 Resümee und Ausblick

### 5.1 Phosphorpotential in Klärschlamm und Tiermehl

Diese Bilanz verdeutlicht das Phosphorpotential zahlreicher Abfallströme. Besonders hervorzuheben ist Klärschlamm und Tiermehl mit einem theoretischen Substitutionspotential an mineralischem Phosphordünger von rund 70%. Bereits bei einer separaten Betrachtung des Klärschlammes kann bei dem derzeitigen Aufkommen von einem Substitutionspotential von rund 40% ausgegangen werden.

Bezogen auf das im kommunalen Abwasser enthaltene theoretische Phosphorpotential, werden derzeit nur rund 13% des Phosphors im Sinne einer Kreislaufführung direkt auf landwirtschaftliche Flächen rückgeführt. Von der anfallenden Klärschlammmenge werden daher ca. 16% des Phosphors direkt in der Landwirtschaft verwertet.

Die Bilanz zeigt die möglichen biologischen Behandlungswege für Klärschlamm wie MBA, Kompostierung und Biogaserzeugung. Zusammengefasst werden über diese Prozesse rund 36% der Klärschlammbehandlung. Die Verwertungswege der entstehenden Endprodukte sind aufgrund der schlechten Datengrundlage kaum nachvollziehbar. Es muss aber angenommen werden, dass ein großer Anteil der P-reichen Substrate im Landschaftsbau eingesetzt wird. Im Vergleich zur Landwirtschaft, ist der Phosphorbedarf im Landschaftsbau nur sehr gering. Auf eine dortige Anwendung sollte verzichtet werden. Der Einsatz von P-armen Substraten sollte angestrebt werden.

Rund 40% des Klärschlammes wird in thermischen Behandlungsanlagen eingesetzt. In Müllverbrennungsanlagen wird Klärschlamm mit weiteren Abfallarten vermischt. Eine Verdünnung der P-Konzentration im Endprodukt Schlacke ist die Folge. Bei der Mitverbrennung in der Industrie (Zement oder Kohlekraftwerk) wird Phosphor in den Klinker transferiert oder mit Kohleaschen vermischt und wiederum verdünnt. Lediglich die Klärschlamm-Monoverbrennung ermöglicht eine Aufkonzentration des Phosphors und stellt somit eine mögliche Ressourcenquelle für eine P-Rückgewinnung dar. Derzeit wird nur in einer Anlage in Österreich (Fernwärme Wien) der Klärschlamm quasi monoverbrannt. Durch die Vermischung der anfallenden Asche mit anderen Verbrennungsrückständen und der Nutzung des sogenannten Asche/Schlackebeton als Baumaterial in Deponien wird einer möglichen Phosphorrückgewinnung entgegengewirkt (Brandstätter, 2007). Im Hauptbericht „Phosphorrecycling aus dem Abwasser“ wird darauf hingewiesen, dass eine Rückgewinnung des Phosphors aus der Klärschlamm-Asche im Vergleich zu den handelsüblichen Düngern derzeit noch nicht wirtschaftlich ist. Eine Überlegung geht daher dahin, die Asche aus der Monoverbrennung temporär in dafür geeigneten Monodeponien abzulagern und zu einem späteren Zeitpunkt als P-Ressource heranzuziehen.

## 5.2 Verbesserung der Datengrundlage

Die Recherchen zur Erhebung der Datengrundlage für diese Bilanz haben gezeigt, dass zahlreiche Flüsse aufgrund fehlender und ungenauer Angaben sehr schwer zu berechnen sind und daher nur mit großen Unsicherheiten angegeben werden können. Während für die landwirtschaftlichen Stoffflüsse jährliche Erhebungen vorliegen, stammen Daten über abfallrelevante Flüsse oftmals aus älteren Publikationen. Daraus resultiert in der Bilanz ein zeitliches Ungleichgewicht zwischen den landwirtschaftlichen Sektoren und den abfall- und abwasserwirtschaftlichen Bereichen. Generell liegen die Daten der landwirtschaftlichen Bereiche vollständig vor und können mit geringen Unsicherheiten ermittelt werden. Im Gegensatz dazu war die Berechnung der Flüsse für den Bereich Abfallwirtschaft aufgrund der oftmals geringen bzw. fehlenden Daten nur mit großen Unsicherheiten möglich und dass, obwohl in Österreich, im Vergleich zu anderen Ländern eine detaillierte Aufstellung der Abfallstoffe im Abfallwirtschaftsplan vorliegt.

Sollte Österreich ein optimiertes Phosphormanagement anstreben, könnte diese Bilanz als Grundlage herangezogen werden, um etwaige Veränderungen beobachten und nachweisen zu können (Monitoring). Somit ist eine detailreichere Darstellung, gerade im Hinblick auf Verwertung von Abfallgruppen notwendig. Nur so können die Unsicherheiten dieser Flüsse minimiert und eine noch aussagekräftigere Bilanz erstellt werden.

Es werden nun jene Flüsse angeführt, deren Datengrundlage für diese Bilanz unzureichend war. Gleichzeitig werden Vorschläge, z.B. für den Abfallwirtschaftsplan formuliert, um eine exaktere Erstellung der österreichischen Phosphorbilanz zu gewährleisten.

### **Klärschlamm**

Die anfallenden Klärschlammengen werden im Bundesabfallwirtschaftsplan ausreichend detailliert dargestellt. Bei den Behandlungsmöglichkeiten fehlt jedoch eine genauere Aufteilung. Die Begriffe sonstige Verwertung bzw. sonstige Behandlung überschneiden sich inhaltlich und lassen keine eindeutige Zuordnung der Klärschlamme auf die Behandlungsprozesse im System Abfallwirtschaft zu.

### Empfehlung

Eine klare Zuordnung zu den Verfahren wie mechanisch-biologische Behandlung, Kompostierung und Biogasanlage wäre nötig. Für die thermische Behandlung ist ebenfalls eine weitere Aufteilung nach der Behandlung in Müllverbrennungsanlagen, Monoverbrennungsanlagen und Mitverbrennung in der Industrie notwendig.

### **Pflanzliche Abfälle Industrie**

Der Bundesabfallwirtschaftsplan liefert grobe Daten über die pflanzlichen Abfälle der Industrie und unterteilt diese in

- Nahrungs- und Genussmittelabfälle (Überlagerte Lebensmittel, Spelze, Spelzen- und Getreidestaub, Rübenschnitzel, Rübenschwänze, Malztreber, Melasse, Futtermittel u. a.)
- Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse (ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien; Ölsaatenrückstände, Inhalte von Fettabscheidern, Fette, Molke u. a.) und



- Andere Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte  
Rückstände aus der Kartoffelstärke- und der Maisstärkeproduktion u. a.

Mengen liegen für diese Abfälle nur für die gesamten Abfallgruppen vor. Die Verwertungswege sind nicht bekannt, können aber über zusätzliche Publikationen erhoben werden. Ungeachtet dessen, weisen diese Flüsse hohe Unsicherheiten auf. Der Anteil, der im System Abfallwirtschaft in Kompostierung oder Biogasanlagen gelangt, kann damit nur sehr ungenau errechnet werden.

#### Empfehlung

Eine detaillierter Aufgliederung nach den einzelnen Abfallfraktionen wäre anzustreben, sowie deren Verwertungswege.

### **Tierische Abfälle Industrie**

Die anfallenden tierischen Abfallmengen und die Unterteilung der unterschiedlichen Fraktionen aus der Industrie werden im Bundesabfallwirtschaftsplan ausführlich beschrieben. Somit kann die Menge als auch die Zuordnung der einzelnen Fraktionen gut errechnet werden. Die Darstellung der Behandlungsverfahren der jeweiligen tierischen Abfallfraktion kann aus diesen Ausführungen nur unvollständig entnommen werden.

#### Empfehlung

Wie bei den biogenen Abfällen aus der Industrie sollen die Verwertungswege der einzelnen Fraktionen (Küchen- und Speiseabfälle, Schlachtabfälle Schlachtung, Schlachtabfälle Tierverarbeitung, Molkereiabfälle) detailliert aufgezeigt werden.

### **Tiermehl**

Im Bundesabfallwirtschaftsplan wird Tiermehl ausschließlich gemeinsam mit Tierfett angeführt. Obwohl eine sehr genaue Aufgliederung dieser Abfallfraktion veröffentlicht wird, kann aufgrund der gemeinsamen Darstellung schwer auf die Entsorgungswege von Tiermehl als eigene Abfallfraktion geschlossen werden.

#### Empfehlung

Tiermehl ist aufgrund seiner hohen P-Konzentration eine sehr bedeutende Abfallfraktion. Daher wäre eine deutliche getrennte Darstellung von Tiermehl und Tierfett, sowie deren Behandlungs- bzw. Entsorgungswege anzustreben.

### **Biogene Abfälle Haushalt**

Die anfallende Menge an biogenen Abfällen in Haushalten können über den Bundesabfallwirtschaftsplan sehr gut errechnet werden. In welche Behandlungsverfahren diese Abfälle jedoch geführt werden ist nicht nachvollziehbar. Während die Verwertungswege für getrennt gesammelte biogene Abfälle einfach nachzuvollziehen sind, sind die Behandlungswege für Speise- und Küchenabfälle sowie Marktabfälle nicht erhebbbar.

#### Empfehlung

Eine detailliertere Aufgliederung nach den Verwertungswegen der einzelnen Abfallfraktionen wäre anzustreben.

### **Reinigungsprodukte**

Inlandsabsatzdaten oder auch Aussenhandelsdaten über Reinigungsprodukte werden nicht veröffentlicht. Deshalb wurde die P-Fracht aufgrund der vorhandenen Daten aus den benachbarten Ländern Schweiz und Deutschland errechnet.

#### Empfehlung

Ausreichend wäre bereits eine Offenlegung der Absatzdaten bzw. der Aussenhandelsdaten der Geschirrspülmittel bzw. Geschirrspülmitteltabs. Aus diesen ließe sich die P-Fracht gut abschätzen.

#### **Kompost**

Die Menge an aerob behandelten Abfällen und deren Endprodukt Kompost kann einfach berechnet werden. Aufgrund der unterschiedlichen Inputmaterialien (Klärschlamm, biogene Abfälle Industrie, biogenen Abfälle Haushalt usw.) und der daraus resultierenden Kompostqualitäten sind die Einsatzort der Komposte schwer nachzuvollziehen.

#### Empfehlungen

Aufgliederung der Kompostmengen nach deren Einsatz in der Landwirtschaft, als Substrat auf sonstigen Böden oder in Gärten.

#### **MBA Material**

Während die Inputmengen in MBA Anlagen noch mit relativ hohen Unsicherheiten abgeschätzt werden können, sind die Flüsse des stabilisierten Materials nicht mehr nachzuvollziehen.

#### Empfehlung

Detaillierte Erhebung jener Menge an MBA-Outputmaterial, das in Deponien oder als Substrat in den Landschaftsbau fließt.

## **5.3 Verwendung der Bilanz**

### **1.1.1 Quasi Dynamische Modellierung**

Im Rahmen des Doktorandenprogramms "Vienna Doctoral Programme on Water Resource Systems" an der TU Wien werden das Modell und die Daten dieser Arbeit für die Erstellung eines quasi-dynamischen Modells herangezogen, um Trends in der Vergangenheit aber auch für zukünftige Szenarien analysieren zu können. Ein weiterer Fokus wird dabei auf die Unsicherheit der Datengrundlage und die mögliche Fehlerfortpflanzung im System gelegt ([www.waterresources.at](http://www.waterresources.at)).

### **1.1.2 Monitoring P-Haushalt Österreich**

Auf Grundlage dieser detaillierten Phosphorbilanz und einer Umsetzung der in Kapitel 5.2 geforderten Verbesserung der Datengrundlage kann in Zukunft eine systematische Erfassung von Veränderungen und deren Auswirkung auf den Phosphorhaushalt mithilfe eines Monitoring-Tools durchgeführt werden. Dadurch können Auswirkungen von Maßnahmen, die im Zuge eines österreichweiten Phosphormanagements eingeführt wurden, fortlaufend beobachtet, quantifiziert und bewertet werden.



## Methodik

### 1. Exceltabelle

Sämtliche neun Subsysteme und die darin enthaltenen Prozesse werden im Programm Excel dargestellt. Ziel ist eine Eingabemaske, in welche die aktuellsten verfügbaren Daten, deren Unsicherheit sowie deren mögliche veränderte Transferkoeffizienten eingegeben werden, während im Hintergrund alle Berechnungen laufen. Die Berechnungen beinhalten die P-Konzentrationen der eingegebenen Flüsse, deren Zuordnung zum Zielprozess und deren Senke. Neue Prozesse, wie z.B. P-Rückgewinnungsverfahren können einfach eingefügt werden und mit geringen Veränderungen in das System implementiert werden. Zusätzliche liegen in diesen Files die Verweise zu den Publikationen vor, aus welchen die nötigen Daten entnommen werden können.

### 2. Transfersheet

Endprodukt ist eine Tabelle, die sämtliche Flüsse aus der Phosphorbilanz des Programmes STAN enthält und automatisch mit den aktualisierten Werten und Unsicherheiten der Berechnung ergänzt wird.

### 3. Transfer

Diese Tabelle kann ohne weitere Veränderung über einen Copy-Paste Befehl in das Stoffflussanalyseprogramm STAN übertragen werden.

### 4. Aktualisiertes P-Bilanz

Nach einlesen der Daten und dem Befehl „Berechnen“ im STAN, liegt die aktualisierte P-Bilanz vor.

## 1.1.3 Szenarien: Optimierung der Phosphorflüsse

Mithilfe der Phosphorbilanz kann die Bedeutung einer Umsetzung von Phosphorrückgewinnungsverfahren auf die Siedlungswasserwirtschaft bzw. gesamt Österreich dargestellt werden. Verschiedene Szenarien z.B.: Implementierung von Rückgewinnungsverfahren können mit der Bilanz sehr gut untersucht und die Veränderungen bzw. Verbesserungen zur derzeitigen Situation dargestellt werden.

## 6 Literatur

- AGRO-TRADE (2010) Persönliche Mitteilung von Franz Heinzlmaier am 30.9.2010, Sales Manager des Düngeherstellers Linzer AGRO TRADE.
- Aichberger, K. (1991) Situation of sewage sludge in Austria – Use in agriculture, national guidelines and laws, future aspects (A general view). In: Hermite, P. (1991) Treatment and use of sewage sludge and liquid agricultural wastes. Proceedings of a symposium held in Athens, Greece from Oct. 1–4, 1990. Elsevier Applied Science, London New York.
- ARA (2005–2009) ARA Leistungsreport 2005–2009. Altstoffrecycling Austria. Wien.
- Austropapier (2010) Statistiken der Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie und des Fachverbandes der Papierindustrie, <http://www.austropapier.at/index.php?id=81>.
- Bärnthaler, J., Bergmann, H., Drosig, B., Hornbachner, D., Kirchmayr, R., Konrad, G., Resch, C. (2008) Technologien, Logistik und Wirtschaftlichkeit von Biogas-Großanlagen auf Basis industrieller biogener Abfälle. HEI Consulting GmbH. Energiesysteme der Zukunft - eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovationen und Technologie.
- BAWP (2006) Bundesabfallwirtschaftsplan 2006. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI/3. Wien.
- BAWP (2009) Bundesabfallwirtschaftsplan, Statusbericht 2009. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VI/3. Wien.
- BFW (2003) Österreichische Waldinventur (ÖWI). Bundesamt und Forschungszentrum für Wald. <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=1586>.
- Binder, C., De Baan, L., Wittmer, D. (2009) Phosphorflüsse in der Schweiz. Stand, Risiken und Handlungsoptionen. Abschlussbericht. Umwelt-Wissen Nr. 0928. Bundesamt für Umwelt, Bern.
- Blume, H. P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögler-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B. M. (2010) Scheffer/Schachtschabel - Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag.
- BMLFUW (2001) 292. Verordnung Kompost. Verordnung über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich vom 14. August 2001. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- BMLFUW (2003) Gewässerschutzbericht 2002 gem. § WRG. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Wien.
- BMLFUW (2005) Grüner Bericht 2005 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2004, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/5. Wien.



- BMLFUW (2006a) Grüner Bericht 2006 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2005, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/5. Wien.
- BMLFUW (2006b) Richtlinie für die sachgerechte Düngung, Anleitung zur Interpretation von Bodenuntersuchungsergebnissen in der Landwirtschaft, 6. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- BMLFUW (2007) Grüner Bericht 2007 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2006, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/5. Wien.
- BMLFUW (2008) Grüner Bericht 2008 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2007, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/5. Wien.
- BMLFUW (2009a) Grüner Bericht 2009 - Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2008, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung II/5. Wien.
- BMLFUW (2009b) Holzeinschlag 2008, Holzeinschlagsmeldungen über das Kalenderjahr 2008. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/1. Wien.
- BMLFUW (2010) Nationaler Bewirtschaftungsplan 2009 - NGP 2009. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Wien.
- BMLFUW (2012) Kommunale Abwasserrichtlinie der EU - 91/271/EWG Österreichischer Bericht 2012 Gemäß Artikel 16 der Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser für den Zeitraum 2009-2010. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Wien.
- Brandstätter, P. (2007) Behandlung von Aschen/Schlacken in Wien. „Wiener Lösung“ – Ein sicheres Modell für die Zukunft. Vortrag. Sicher und sauber – Entsorgungssicherheit und saubere Stadt. 26.-28. November 2007. Wien.
- Cencic, O.; Rechberger, H. (2008) Material Flow Analysis with Software STAN. *Journal of Environmental Engineering and Management* 18 (1), 5.
- Cornel, P. (2002) Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm und Klärschlammaschen. *Nachrichten aus dem Institut für Technische Chemie, Geo- und Wassertechnologie*, 1. Jahrgang, Heft 3, pp. 102–114. Institut WAR, Technische Universität Darmstadt.
- Demeyer, A., Voundi, J. C., Verloo, M. G. (2001) Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview, *Bioresource Technology* 77, pp. 287–295.
- DVO (2004) Deponieverordnung 2004. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- E-Control (2010) Ökostrombericht 2010. Bericht der Energie-Control GmbH gemäß § 25 Abs 1 Ökostromgesetz. Energie-Control GmbH, Wien.

- EMREG (2010) Emissionsregisterverordnung Oberflächenwasser. Auszug aus dem elektronisches Register zur Erfassung aller wesentlichen Belastungen von Oberflächenwasserkörpern durch Emissionen von Stoffen aus Punktquellen (EmRegV-OW). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- Energieagentur (2007) Holzströme in Österreich. Österreichische Energieagentur, im Auftrag der klima:aktiv energieholz, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- Energieagentur (2009) Empfohlene Umrechnungsfaktoren für Energieholzsortimente bei Holz- bzw. Energiebilanzrechnungen. Österreichische Energieagentur, im Auftrag für klima:aktiv energieholz, Umweltministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- EPEA (2008) Ökologisches Leistungsprofil von Verfahren zur Behandlung von biogenen Reststoffen, Kompass für die Entscheidungsfindung vor dem Hintergrund der geplanten Überarbeitung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes. EPEA International Umweltforschung GmbH, Hamburg.
- Hedbrant, J., Sörme, L. (2000) Data vagueness and uncertainties in urban heavy-metal data collection. *Water, Air and Soil Pollution, Focus 1*: pp. 43–53.
- Hoppenheidt, K., Hirsch, P., Kottmair, A., Pitschke, T., Nordsieck, H., Swerev, M., Rommel, W., Mücke, W., Kübler, H., Nimmrichter, R. (1998) Gemeinsame Behandlung von biogenen Abfällen aus Haushalten und Gewerbe am Beispiel der Co-Vergärungsanlage der Fa. Högl in Dietrichsdorf, Lkr. Kelheim. Im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz.
- Hoppenheidt, K., Hirsch, P., Kottmair, A., Nordsieck, H., Mücke, W., Kübler, H., Nimmrichter, R. (2000) Co-Vergärung von Bioabfällen und organischen Gewerbeabfällen - Ergebnisse eines großtechnischen Pilotvorhabens, VDI-Seminar "Biogene Abfälle/Holz/Klärschlamm - Verwertung/Behandlung/Beseitigung" - 13.4.–15.4.2000, Bamberg.
- ICPDR (2009) Danube river basin district management plan, Part A - Basin-wide overview. International Commission for the protection of the Danube River (ICPDR). Wien.
- Kalt, G. (o.J) Perspektiven für die energetische Holznutzung bis 2050 unter Berücksichtigung der stofflichen Verwertung. Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft. TU Wien.
- KGVÖ (o.J) Kompost in der Landwirtschaft. Infoblatt. Herausgeber: Kompostgüteverband Österreich (KGVÖ). Weibern.
- Kroiss, H., Zessner, M., Deutsch, K., Schaar, W., Kreuzinger, N. (1998) Nährstoffbilanzen der Donauanrainerstaaten - Erhebungen für Österreich. Studie im Auftrag des österreichischen Bundeskanzleramtes. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU Wien.
- Kroiss, H. (2005) Danubs - Nutrient Management in the Danube Basin and its Impact on the Black Sea, Section 5, Section 6 - Final Report. Insitute for Water Quality and Waste Management. Vienna University of Technology.
- Lederer, J., Rechberger, H. (2010) Comparative goal oriented assessment of conventional and alternative sewage sludge treatment options. *Waste Management 30*, pp. 1043–1056.



- Lettner, F., Wetscherek, W., Knaus, W. (1998) Tiermehl in der Schweinemast, Die Bodenkultur - Journal for Land Management, Food and Environment 43 (3), pp. 201–207.
- LFL (2010) Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). 32. Auflage.
- Lindtner, S., Zessner, M. (2003) Abschätzung von Schmutzfrachten in der Abwasserentsorgung bei unvollständiger Datenlage. In: Kroiss, H. (2003) Wiener Mitteilungen: Wasser - Abwasser - Gewässer. Band 183, Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft. Technische Universität Wien, Wien.
- LLFG (2007) Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau. Düngungsrichtlinien für die Untersuchung und Beratung. Richtwerte zur novellierten Düngeverordnung. 2. Ergänzung zur 4. Auflage der Richtwertbrochüre der LLFG. Sachsen-Anhalt.
- Mattenberger, H., Fraissler, G., Brunner, T., Herk, P., Hermann, L. Obernberger, I. (2008) Sewage sludge ash to phosphorus fertiliser: Variables influencing heavy metal removal during thermochemical treatment. Waste Management 28, pp. 2709–2722.
- Obernosterer, R., Reiner, I. (2003) Stickstoffbilanz Österreich, Beitrag der Abfallwirtschaft zum Stickstoffhaushalt Österreichs. Villach.
- ÖNORM (2005a) ÖNORM S 2096-1. Stoffflussanalyse Teil 1: Anwendung in der Abfallwirtschaft - Begriffe. Österreichisches Normungsinstitut. Wien.
- ÖNORM (2005b) ÖNORM S 2096-2. Stoffflussanalyse Teil 2: Anwendung in der Abfallwirtschaft – Methodik. Österreichisches Normungsinstitut. Wien.
- ÖPUL (2000) Sonderrichtlinie für das Österreichische Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft. Lebensministerium.
- ÖWAV (2004) Regelblatt 17, Landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Pettersson, A., Amand, L.-E., Steenari, B.-M. (2008) Leaching from ashes from co-combustion of sewage sludge and wood - Part 1: Recovery of phosphorus. Biomass and Bioenergy 32 (3), pp. 224–235.
- Scharf, S., Schneider, M., Zethner, G. (1997) Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich. Monographien, Band 095, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Schiemenz, K., Eichler-Löbermann, B. (2010) Phosphordüngung mit Biomasse-Aschen? Ergebnisse aus Feld- und Gefäßversuchen, Workshop zum Thema "Ascheverwertung bei der energetischen Biomassennutzung zur Schließung von Stoffkreisläufen" am ZSW in Stuttgart, 23.06.2010.
- Skutan, S., Brunner, P. H. (2006) SEMBA - Stoffbilanzen mechanisch-biologischer Anlagen zur Behandlung von Restmüll. Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft. TU-Wien.
- Smil, V. (2000) Feeding the World: A challenge for the 21st Century. The MIT PRESS, Cambridge.

- Springer, J. (2012) Düngemittel aus recyceltem Phosphor in der österreichischen Landwirtschaft - Voraussetzungen zum Erfolg. Round Table Phosphor-Recycling, Wien, 17.10.12.
- Statistik Austria (2009a) Futtermittelaufkommen und -Verteilung 2004–2008; unveröffentlicht.
- Statistik Austria (2009b) Versorgungsbilanzen für tierische Produkte 2009.
- Statistik Austria (2009c) Versorgungsbilanz für pflanzliche Produkte 2009.
- Statistik Austria (2010a) Versorgungsbilanz für Fleisch nach Arten 2004–2009.
- Statistik Austria (2010b) Versorgungsbilanz für Rohmilch und Milchprodukte 2004–2009.
- Statistik Austria (2010c) Versorgungsbilanz für Eier 2004–2009.
- Statistik Austria (2010d) ISIS-Datenbankauswertung der Aussenhandelsdaten. Bereitstellung der Daten durch Frau Ines Gold am 12.10.10.
- Statistik-Austria (2010e) Persönliche Mitteilung von Frau Bader (Statistik Austria) vom 12.11.2010.
- STMUGV (2008) Internationales Klärschlamm-symposium - Wege zu einer verantwortungsvollen Klärschlamm-entsorgung. 30.6.–2.7.2008 Veranstaltungsform Fürstenfeld. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München.
- TIMAC-AGRO (2010) Persönliche Mitteilung von Max Strasser am 2.10.2010, Vertriebsmanager des Düngemittelherstellers TIMAC AGRO.
- TLL (2006) REINHOLD, G., BREITSCHUH, G., HEROLD, L., ZORN, W. Standpunkt zur Ermittlung der Nährstoffgehalte und zur Nährstoffbilanzierung bei Einsatz von Biogasgülle. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- UBA-Deutschland (2010) Umweltbundesamt Deutschland, <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodent=2292#f1>, Zugriff am 13.10.2010.
- UBA (2001) GRECH, H., ANGERER, T., SCHEIBENGRAF, M.: Bestandsaufnahme der thermischen Entsorgung von verarbeiteten tierischen Proteinen in Österreich. Bericht BE-192, Umweltbundesamt, Wien.
- UBA (2005) WINTER, B., SZEDNYI, I., REISINGER, H., BÖHMER, S., JANHSEN, T.: Abfallvermeidung und -Verwertung: Aschen, Schlacken und Stäube in Österreich. Report REP-0003, Umweltbundesamt, Wien.
- UBA (2006) NEUBAUER, CH., ÖHLINGER, A.: Ist-Stand der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung (MBA) in Österreich, Zustandsbericht 2006. Report REP-0071, Umweltbundesamt, Wien.
- UBA (2009) OLIVA, J., BERHARDT, A., REISINGER, H., DOMENIG, M., KRAMER, H.J.: Klärschlamm - Materialien zur Abfallwirtschaft. Report REP-0221, Umweltbundesamt, Klagenfurt, Wien.
- Wagner, M. (2005) Rohphosphat - Verfügbarkeit und Verbrauch. 38. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft 2005 in Aachen. In: Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser Nr. 198. Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp, Aachen.



- Zessner, M., Lampert, Ch. (2002) The use of regional material balances in water quality management. *Urban Water* 4, pp. 73–83.
- Zessner, M., Kovacs, A., Gabriel, O., Thaler, S., Hochedlinger, G., Schilling, C., Windhofer, G. (2011) Stoffbilanziermodellierung für Nährstoffe auf Einzugsgebietsebene als Grundlage für Bewirtschaftungspläne und Maßnahmenprogramme (STUBIMO-Nährstoffe). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien.
- Zessner, M., Steinmüll, H., Wagner, K.H., Krachler, M.M., Thaler, S., Fazeni, K., Helmich, K., Weigl, M, Ruzicka, K., Heigl, S., Kroiss, H. Gesunde Ernährung und Nachhaltigkeit – Grundlagen, Methodik und Erkenntnisse eines Forschungsprojektes in Rahmen des proVISION Programmes des BMWF. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 63(5), pp. 87–94.

# 7 Anhang

## 7.1 STAN P-Frachten (kg P/E\*a)

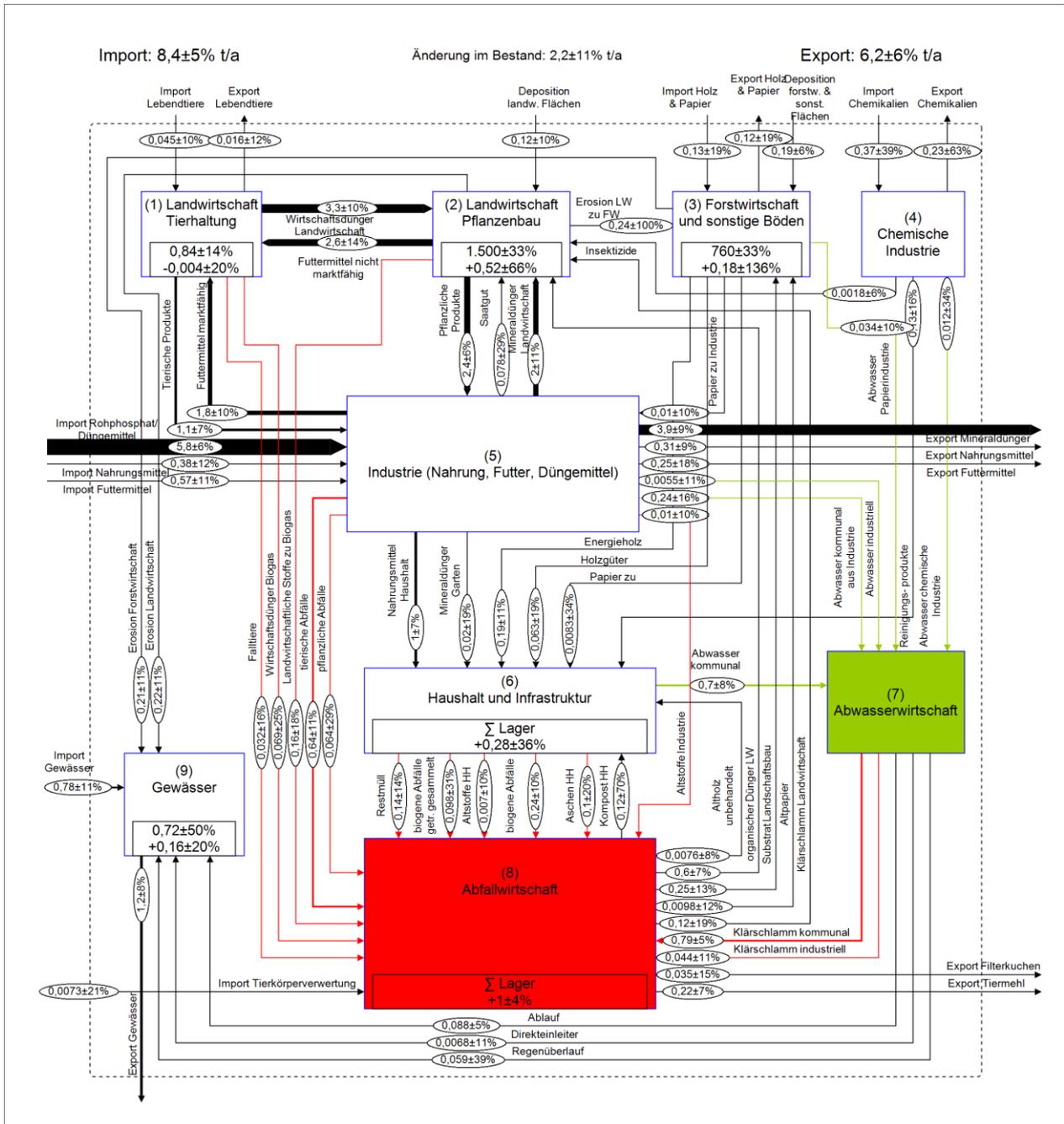


Abbildung 27: Ergebnis Phosphorbilanz Österreich P-Fracht (kg P/E\*a)

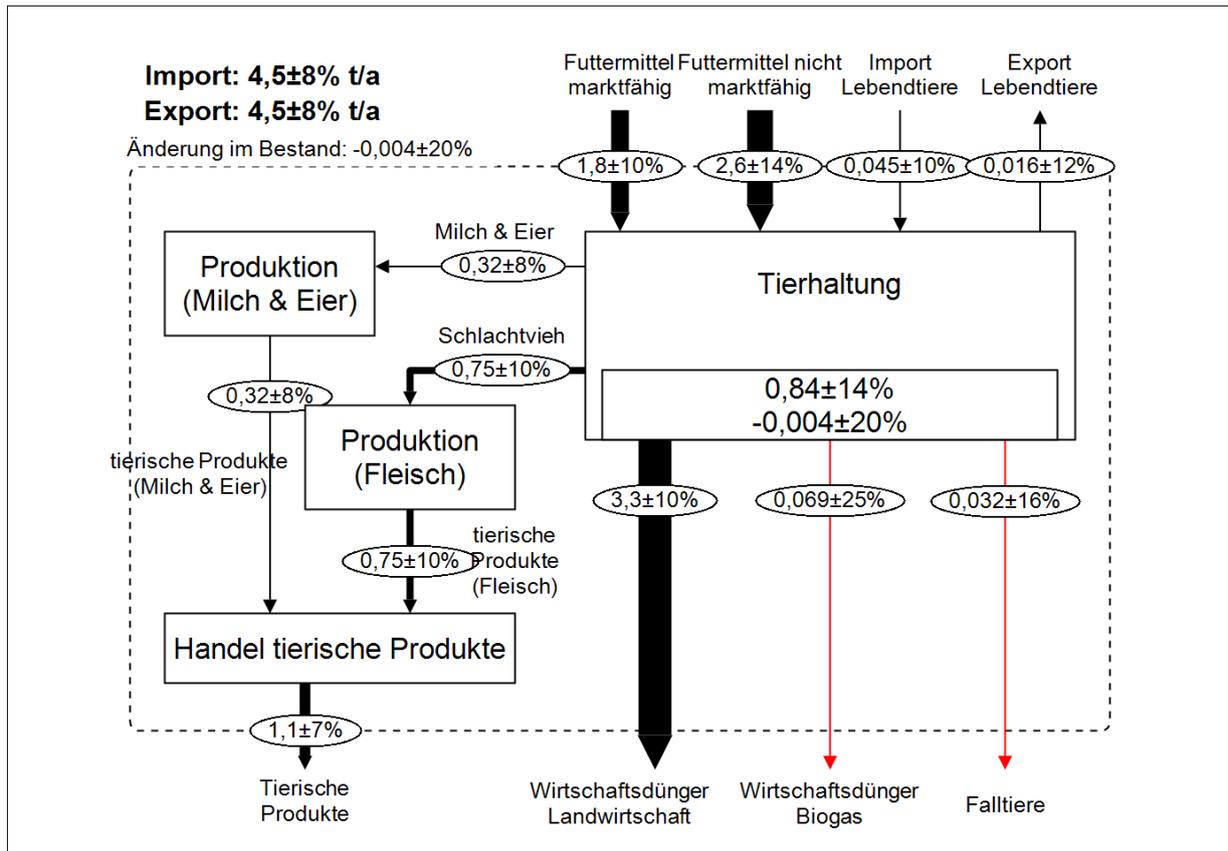


Abbildung 28: Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung (kg P/E\*a)

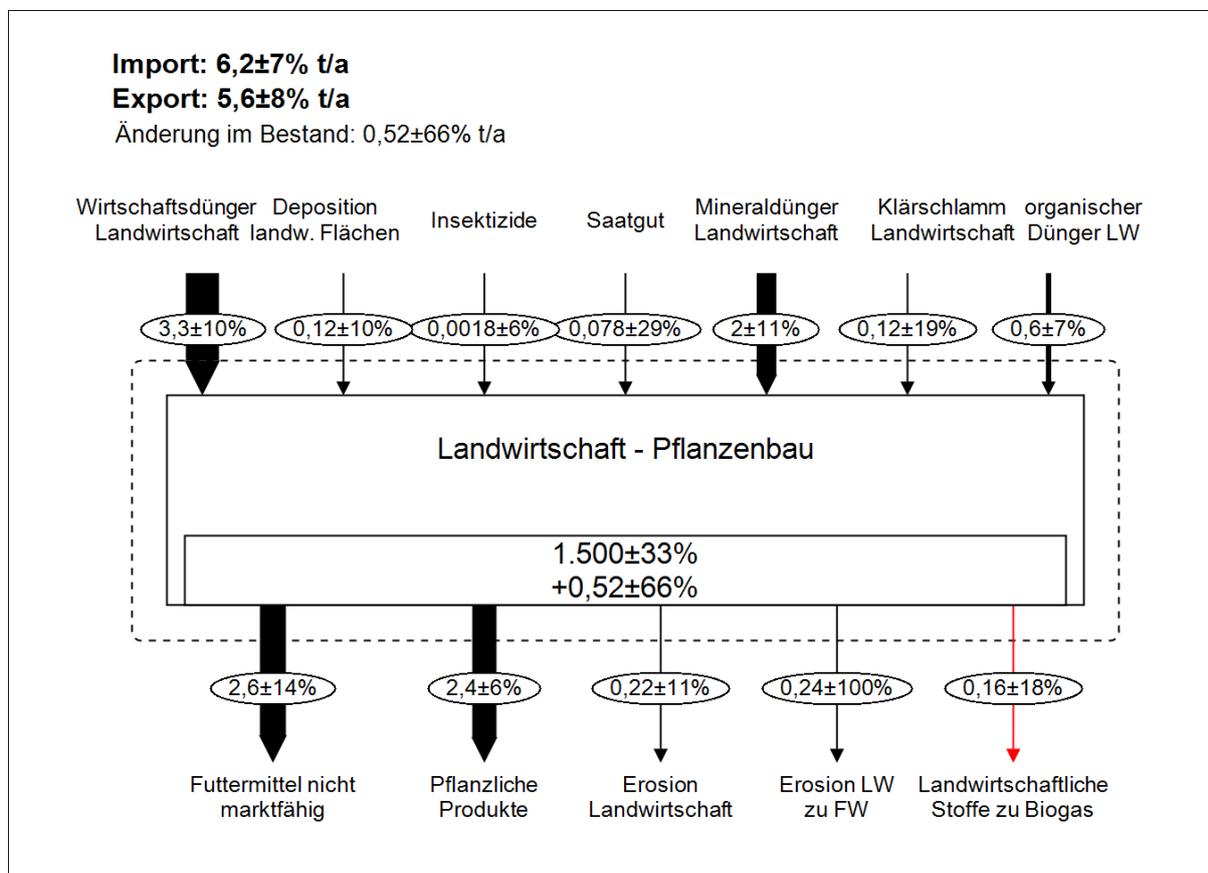


Abbildung 29: Ergebnis Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau (kgP/E\*a)

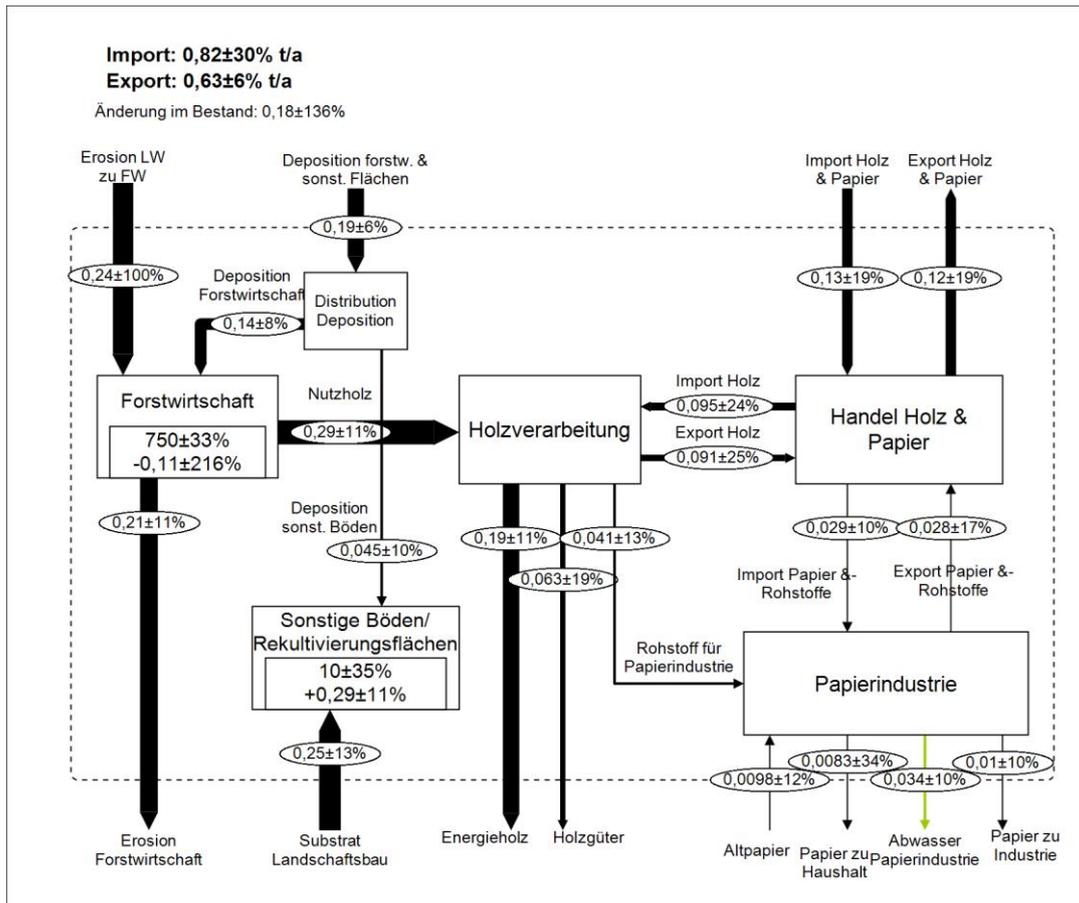


Abbildung 30: Ergebnis Subsystem Forstwirtschaft (kg P/E\*a)

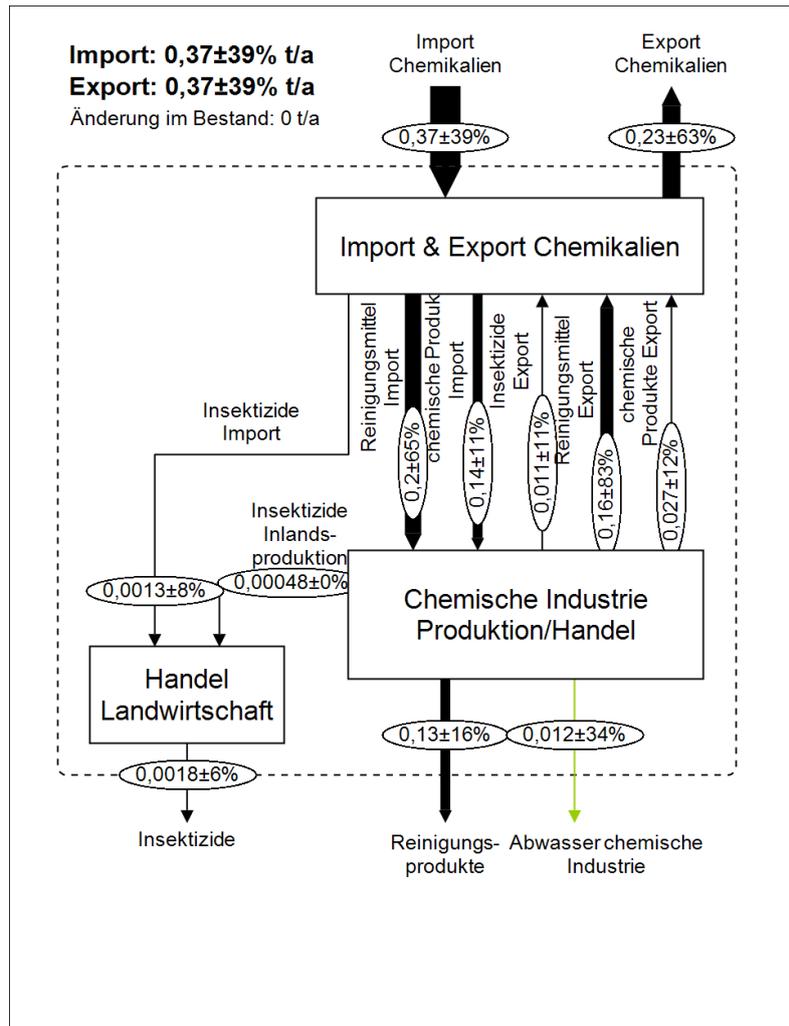


Abbildung 31: Ergebnis Subsystem chemische Industrie (kgP/E\*a)

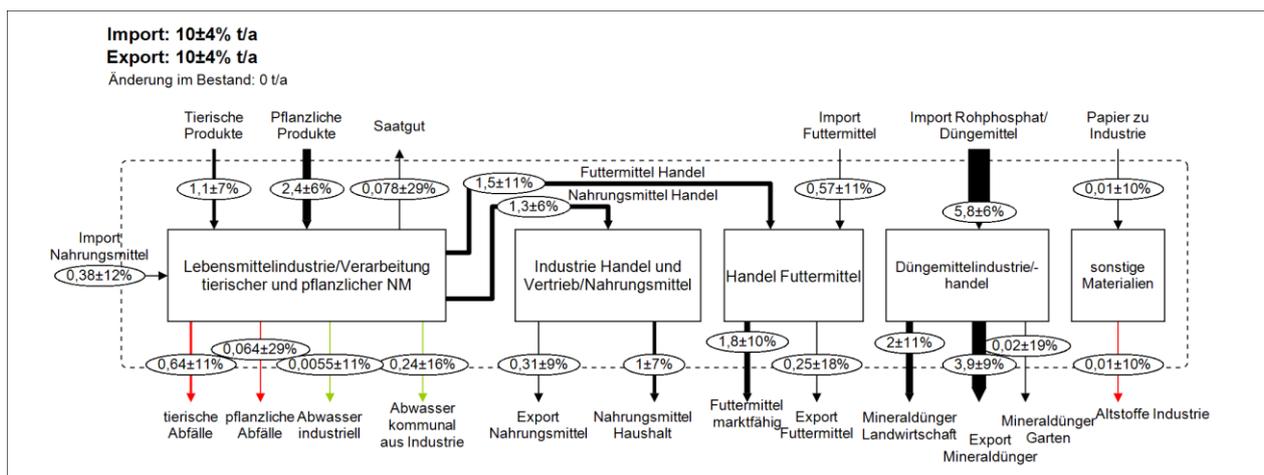


Abbildung 32: Ergebnis Subsystem Industrie (kg P/E\*a)

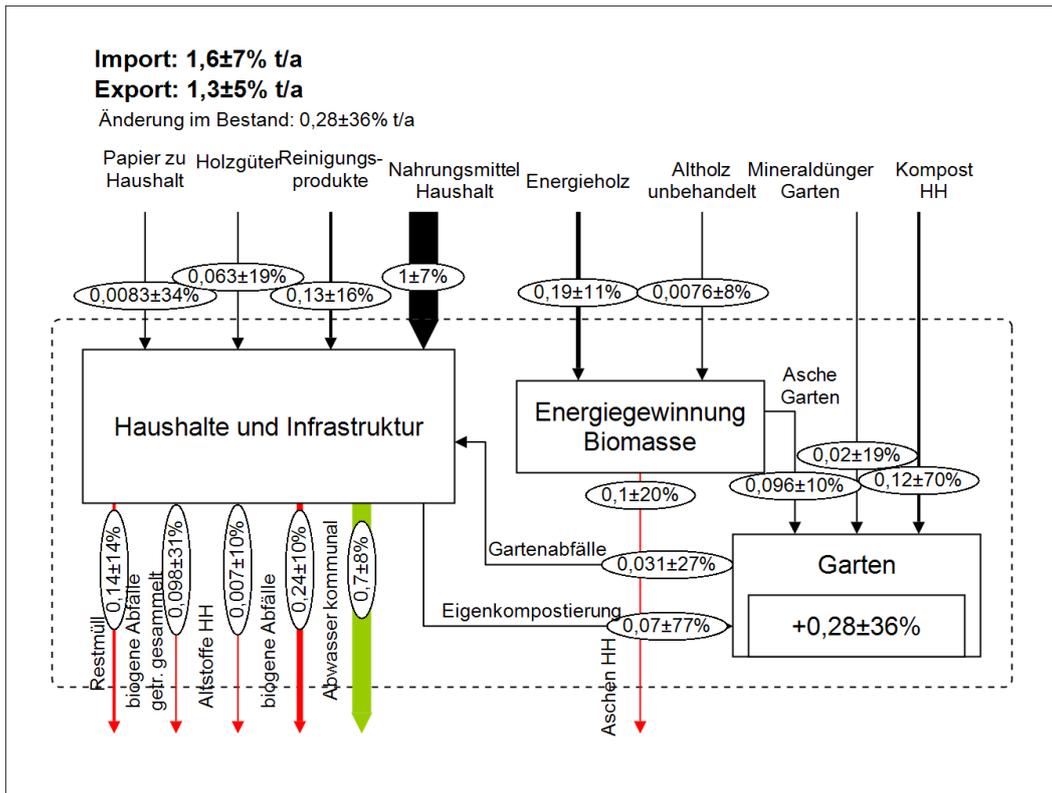


Abbildung 33: Ergebnis Subsystem Haushalt und Infrastruktur (kg P/E\*a)

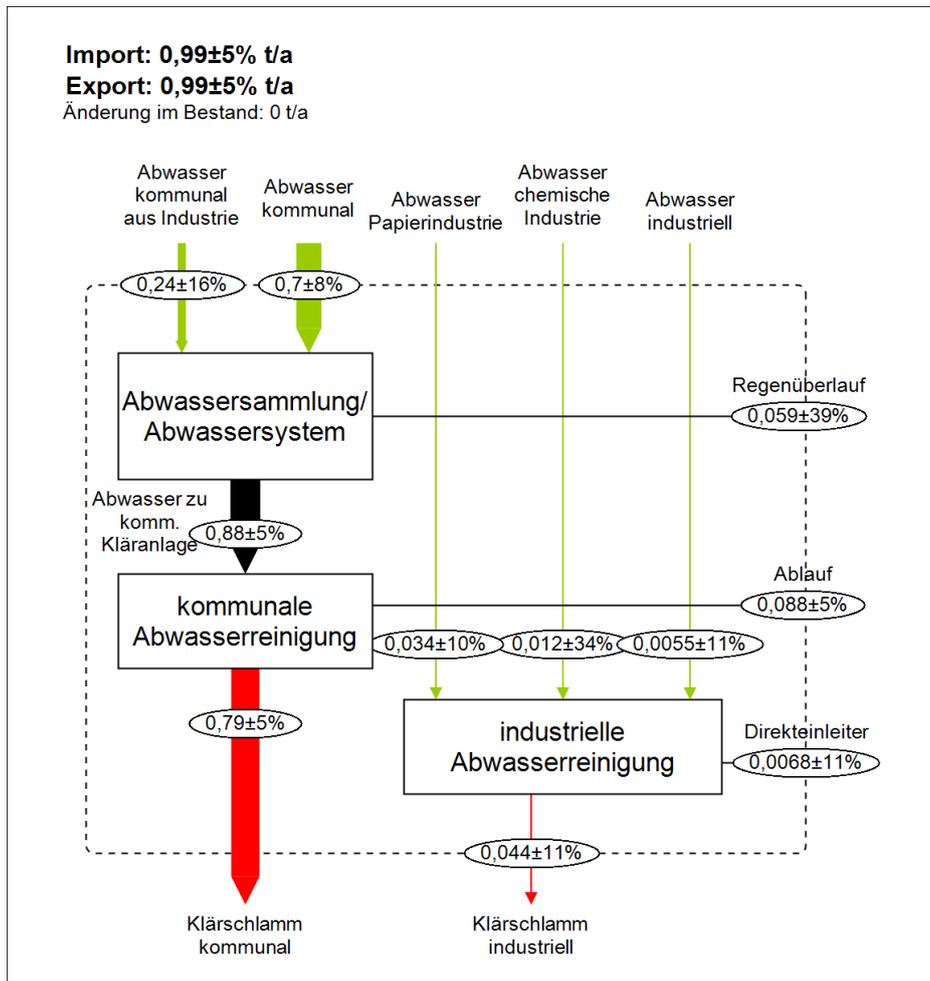


Abbildung 34: Ergebnis Subsystem Abwasserwirtschaft (kgP/E\*a)

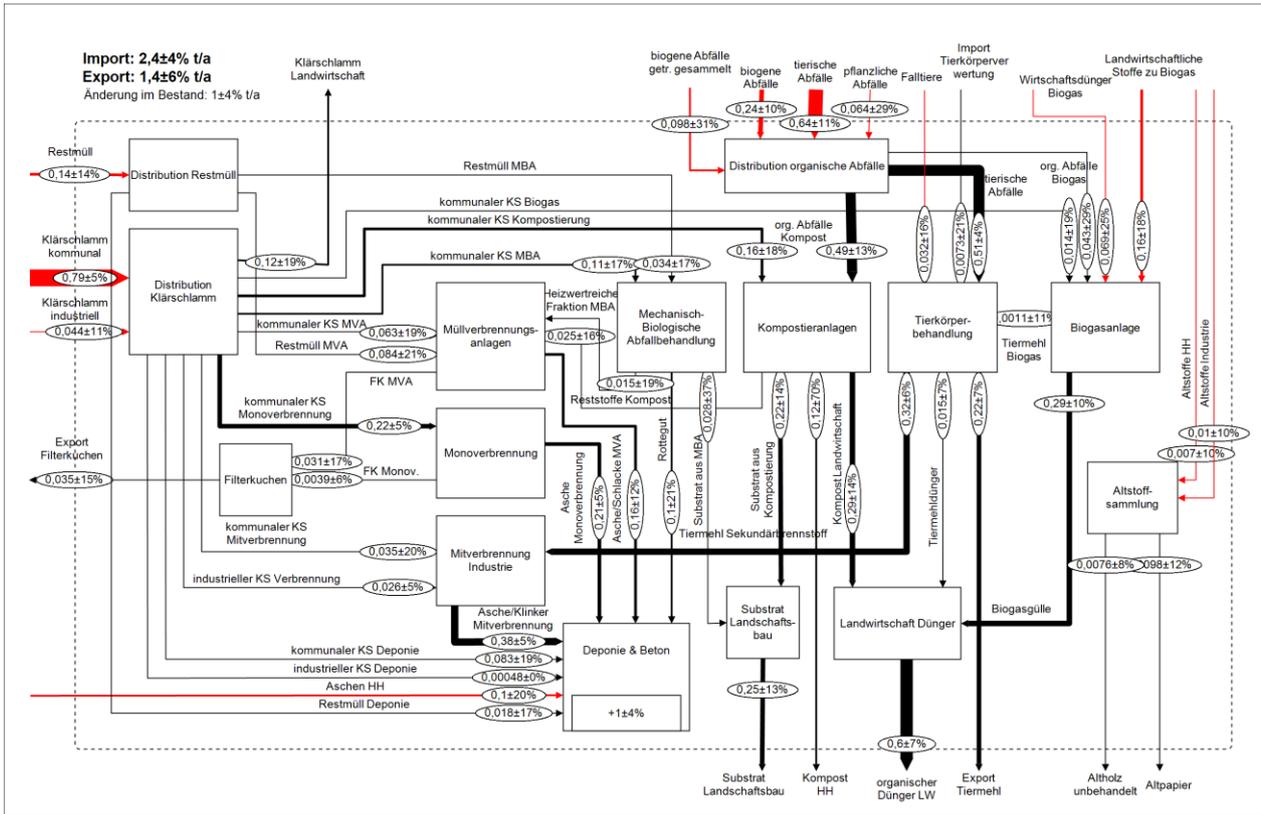


Abbildung 35: Ergebnis Subsystem Abfallwirtschaft (kgP/E\*a)

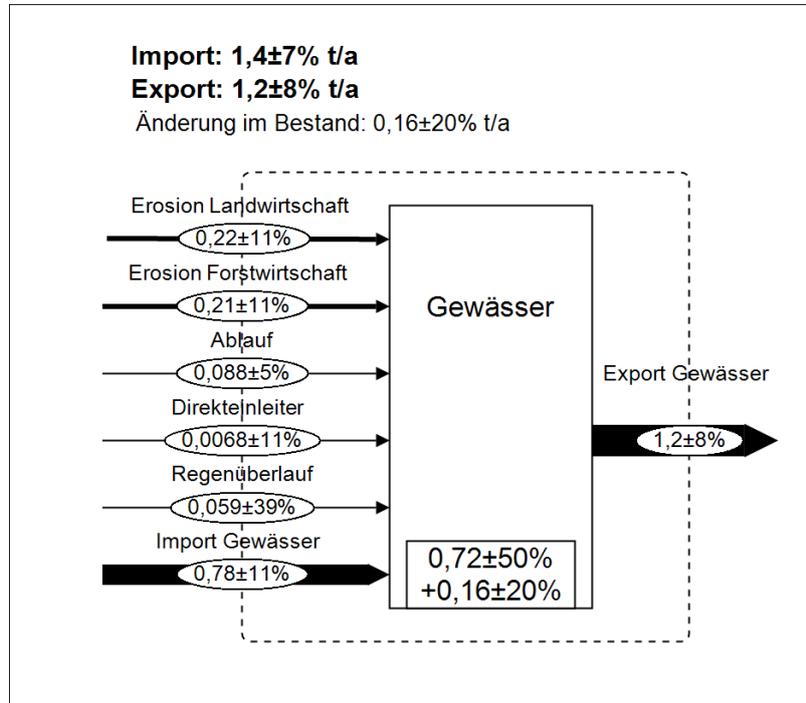


Abbildung 36: Ergebnis Subsystem Gewässer (kg P/E\*a)

## 7.2 Flussbeschreibung, Datenherkunft, Rechenverfahren

Systematisch werden alle Hauptflüsse und die systeminternen Flüsse den Subsystemen zugeordnet dargestellt. Die Darstellung beinhaltet:

- Beschreibung der Zusammensetzung und Berechnung der Flüsse
- Quellen der Datenerhebung
- Quellen der erforderlichen P-Konzentration

Die Phosphorkonzentrationen der einzelnen landwirtschaftlichen Produkte stammen aus der Nährstoffbilanz 1998 (Kroiss et al., 1998) und wird für alle Flüsse im Bereich Landwirtschaft und Nahrungsmittel herangezogen. Diese Quelle wird bei den einzelnen Flüssen nicht mehr explizit angeführt.

### 7.2.1 Flüsse Landwirtschaft – Tierhaltung

#### Hauptflüsse

##### F1.1 Import und F1.2 Export Lebewesen

Anhand der Versorgungsbilanz für Fleisch nach Arten der Statistik Austria für die Jahre 2004–2008 (Statistik Austria, 2010a) und der jeweiligen P-Konzentrationen kann die P-Fracht der importierten und exportierten Lebewesen wie Rind und Kalb, Schwein, Schaf und Ziege, Pferd, Innereien, Geflügel und sonstiges, angegeben in Schlachtgewicht in Tonnen, berechnet werden. Wild und Fisch werden in diesen Flüssen nicht berücksichtigt.

##### F1.3 Wirtschaftsdünger

Als Grundlage für die Berechnung der P-Fracht von Wirtschaftsdünger, wurden die Tierzahlen aus den Grünen Berichten (BMLFUW, 2005, 2009) und die Nährstoffausscheidungen der verschiedenen Tierarten in Tonnen pro Stallplatz und Jahr bei Standardfütterung herangezogen (BMLFUW, 2006b). Für Zuchtwild wurde der Wert von Schafen verwendet. Ausbringungs- und Lagerungsverlust müssen nicht berücksichtigt werden. Unterschieden wurde in Weiden, Fest- und Flüssigmist und andere Haltungssysteme.

##### F1.5 Wirtschaftsdünger Biogas

Inputmaterial für Biogasanlagen sind Rinder- und Schweinegülle und Rindermist. Die Menge an Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen errechnet sich aus einer eigenen Hochrechnung aus den Daten der E-Control (E-Control, 2010) über 200 der insgesamt 344 Biogasanlagen in Österreich. 18%, also ca. 460.000 t FM an Wirtschaftsdünger gelangen jährlich in eine anaerobe Behandlung. Die Grundlage für die Berechnung der mittleren P-Konzentration von Wirtschaftsdüngern liefert die Grubertabelle (LFL, 2010).

##### F1.6 Falltiere

Jene Tiere die während der Haltung, dem Transport oder aus sonstigen Gründen verenden werden Falltiere genannt. Diese dürfen nicht verzehrt werden und gelangen auf direktem Wege in den Prozess Tierkörperbehandlung im Subsystem Abfallwirtschaft (BAWP, 2006, 2009).

##### F5.15 Futtermittel marktfähig

Futtermittel werden in der Praxis teilweise ohne den Umweg der Industrie in der Tierhaltung verwendet. Zur Verdeutlichung der großen Mengen und aus Gründen der Übersichtlichkeit wird jegliches marktfähige Futter



über die Industrie geleitet. Zum diesem Fluss zählen Futtermittel aus dem Ackerbau (z.B.: Weizen, Körnermais, Hülsenfrüchte usw.), Futtermittel aus den Nebenerzeugnissen der Industrie (Müllerei, Brauerei, Brennerei, Stärke-, Zucker- und Ölherstellung), Futtermittel tierischen Ursprungs und die importierten Mengen an eiweißhaltigen Futterpflanzen aus dem Ausland (Statistik Austria, 2009a). Fehlende Daten wurden nach persönlichen Mitteilungen von Frau Bader der Statistik Austria (Statistik Austria, 2010e) ergänzt.

### **F2.1 Futtermittel nicht marktfähig**

Futter nicht marktfähig bezeichnet den Fluss aus dem Prozess Landwirtschaft – Pflanzenbau und inkludiert Futtermittel aus Wirtschaftsgrünland, Dauergrünland und Feldfutter aus dem Grünland. Verluste aus Lagerung, Verfütterung wurden nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass die „Verluste“ auf dem landwirtschaftlichen Boden verbleiben (BMLFUW, 2009a). Kuppelprodukte wie Stroh/Spreu werden zu den nicht marktfähigen Futtermitteln dazugezählt. Die Berechnung der Phosphorgehalte erfolgt über die Nettoerträge, multipliziert mit den Konzentrationen.

### **F1.4 Tierische Produkte**

Dieser Fluss setzt sich aus den geschlachteten Tieren (Rinder, Kälber, Schweine, Pferde, Schafe, Ziegen, Geflügel und Wild), sowie deren Produkten Milch und Eier zusammen und fließt für weitere Verarbeitungsschritte in den Prozess Industrie. Als Datengrundlage dient die Versorgungsbilanz der Statistik Austria (Statistik Austria, 2010a). Für die Berechnung der Phosphormenge wurden die geschlachteten Stückzahlen mittels der durchschnittlichen Lebend- und Schlachtgewicht errechnet. Jene Milchmengen, die als Futtermittel im Betrieb bleiben, wurden nicht der tierischen Produktion angerechnet.

## **Systemintern**

### **P1.1 Milch & Eier**

Datengrundlage dafür ist die Versorgungsbilanz Eier sowie Rohmilch und Milchprodukte, der Statistik Austria (Statistik Austria, 2010b,c)

### **P 1.2 Schlachtvieh**

Datengrundlage dafür ist die Versorgungsbilanz Fleisch nach Arten der Statistik Austria (Statistik Austria, 2010a).

### **P1.3 tierische Produkte (Milch & Eier)**

Siehe P1.1 Milch & Eier

### **P1.4 tierische Produkte (Fleisch)**

Siehe P 1.2 Schlachtvieh

### **L1.1 Lager Tierhaltung**

Der Prozess Tierhaltung wird mit einem Lager berücksichtigt, der alle lebenden Tiere der Landwirtschaft berücksichtigt. Diese Zahlen können aus den Tabellen „Tierbestände“ der Statistik Austria entnommen werden. Veränderungen ergeben sich aus den Importen und Exporten von Lebewesen sowie Schlachtungen zur Nahrungsmittelproduktion und Falltieren.

## 7.2.2 Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

### Hauptflüsse

#### F1.3 Wirtschaftsdünger

Jener Fluss der zusammen mit den mineralischen Düngern hauptverantwortlich für die Phosphorversorgung der landwirtschaftlichen Böden ist. Siehe Fluss F1.3 Wirtschaftsdünger im Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung.

#### F2.5 Deposition landwirtschaftliche Fläche

Über die Deposition aus der Atmosphäre gelange jährlich 0,2–0,4 kg P/ha auf Österreichische Böden. Bei einer landwirtschaftlichen Fläche von ca. 3,2 Mio. ha entspricht dies im Mittel einer Phosphorfracht von 960 t/a.

#### F4.3 Insektizide

Siehe Subsystem chemische Industrie.

#### F5.4 Saatgut

Die als Saatgut verwendeten Mengen aus der pflanzlichen Produktion kann aus den Grünen Berichten (BMLFUW, 2005, 2009) entnommen werden. Aus den Anbauflächen zur Saatgutproduktion und der dazugehörigen Flächen können die P-Frachten errechnet werden.

#### F 5.5 Mineraldünger

Die abgesetzten phosphorhaltigen Mineraldüngermengen (angegeben als  $P_2O_5$ ) können aus den Grünen Berichten (BMLFUW, 2005, 2009) entnommen werden und mittels des Multiplikationsfaktors 0,436 auf den elementaren P umgerechnet werden. Aufgrund von möglichen Schwankungen durch Lagerbildung, wurde von jeweils zwei Jahren das arithmetische Mittel gebildet.

#### F7.1 Klärschlamm

Ungefähr 16% des jährlich anfallenden Klärschlammes wird in der Landwirtschaft verwertet. Weitere Informationen siehe Subsystem Abwasserwirtschaft.

#### F8.2 Organischer Dünger LW

Der Fluss organischer Dünger setzt sich aus P8.21 Kompost Landwirtschaft, P8.24 Tiermehldünger und P8.26 Biogasgülle zusammen. Dessen jährliche P-Fracht beträgt insgesamt 5.000 t. Für weitere Informationen siehe Subsystem Abfallwirtschaft.

#### F2.1 Futtermittel nicht marktfähig

Siehe Futter Prozess „Landwirtschaft – Tierhaltung“.

#### F2.2 Pflanzliche Produkte

Anhand der Anbaufläche und der Erntemenge (BMLFUW, 2005, 2009) für Feldfrüchte, Wein, Gemüse und Obst wurden mit den durchschnittlichen P-Konzentrationen die jährlichen Nährstofffrachten ermittelt. Für Nahrungsmittel wie Mohn, Hirse, Lein, usw., das entspricht ca. 18.000 ha Fläche, konnte keine Erntemenge erhoben werden. Ersatzweise wurde für diese Flächen mit einem durchschnittlichen Nährstoffentzug pro ha



gerechnet, welcher aus den vorhandenen Daten als Mittelwert des Nährstoffentzuges über die entsprechende Fläche erhoben wurde.

### **F2.3 Erosion Landwirtschaft**

Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und somit die Phosphoreinträge in die Gewässer wurden im Rahmen des STOBIMO – Projektes (Zessner et al., 2011) mithilfe des Programm MONERIS modelliert. Jährlich gelangen über die landwirtschaftlichen Flächen rund 1.800 t P in die Gewässer

### **F2.4 Landwirtschaftliche Stoffe Biogas**

Inputmaterial für Biogasanlagen aus der Landwirtschaft – Pflanzenbau sind Silagen aus Mais, Gras und Roggen, sowie sonstige Gräser wie Luzerne und Sudangras. Die landwirtschaftlichen Stoffe haben einen bedeutenden Anteil an der gesamten Biogasininputmenge von ca. 63%, das entspricht ca. 1.600.000 t Frischmasse. Umgerechnet gelangen jährlich ungefähr 1.200–1.500 t Phosphor aus dem Subsystem Landwirtschaft–Pflanzenbau in Biogasanlagen. Diese Mengen stammen aus eigenen Hochrechnungen anhand von Daten über 200 der insgesamt 344 Biogasanlagen in Österreich (E-Control, 2010).

### **L2.1 Lager Landwirtschaft Boden**

Die Phosphormenge der Böden wird über die gesamte landwirtschaftliche Fläche (Grüner Bericht) und den durchschnittliche P-Gehalte pro ha in den oberen Bodenschichten (30 cm) errechnet (Kroiss et al., 1998). Lagerveränderungen entstehen hauptsächlich durch die Zuflüsse Düngung und Austräge infolge der Ernte oder Erosion.

## **7.2.3 Subsystem Forstwirtschaft**

### **Hauptflüsse**

#### **F3.1 Import Holz und Papier**

Grundlagen für die Berechnung der importierten Holz- und Papiermenge sind die Holzstromanalyse der österreichischen Energieagentur (Energieagentur, 2007) und die Geschäftsberichte der Vereinigung der Österreichischen Papierindustrie (Austropapier, 2010). Eine Aktualisierung der Importholzmenge erfolgt anhand der prognostizierten prozentuellen Veränderungen der produzierenden Holzindustrieindustrie (Kalt, o.J.). Die produzierte Nutzholzmenge weist keine Veränderung auf (BMLFUW, 2009b). In den importieren Papiermengen ist sowohl fabrikneues Papier, als auch Altpapier enthalten.

#### **F3.2 Export Holz und Papier**

Siehe Import Holz und Papier Subsystem Forstwirtschaft.

#### **F3.3 Papier Industrie**

Der jährliche Papierverbrauch liegt bei ungefähr 2,1 Mio. Tonnen (Austropapier, 2010). Aufgrund der sehr geringen Phosphorkonzentration (0,005 bis 0,007%) im Papier spielt dieser Fluss nur eine untergeordnete Rolle in der österreichischen Phosphorbilanz, wird aber der Vollständigkeit halber angeführt. Angenommen wird, dass 50% der Papierprodukte in die Industrie und 50% in die Haushalte fließen.

#### **F3.4 Papier Haushalt**

Siehe F3.3 Papier Industrie

### F3.5 Energieholz

Unter Energieholz versteht man Holz, das für die Verbrennung in Klein-, Mittel- und Großbiomasseanlagen zur Energiegewinnung verwendet werden. Als Endprodukt entsteht Energie (Strom oder Wärme) und phosphorreiche Asche. In Österreich gelangen so jährlich 1.600 t Phosphor in feste Biomasseanlagen. Die Grundlage für die Ermittlung der Frachten liefert die österreichische Energieagentur (Energieagentur, 2007).

### F3.6 Abwasser Papierindustrie

Die Abwässer der Papierindustrie sind phosphorarm und lassen sich aus den Emissionen der industriellen Kläranlagen in die Gewässer errechnen. Die Gesamt P-Fracht der industriellen Betriebe beträgt 420 t/Jahr. Die drei gewichtigsten Emittenten sind die Papierindustrie, die chemische Industrie und die verarbeitende Industrie. Die Aufschlüsselung lautet (ICPDR, 2009):

Abwasser Industrie	[%]	Absolut
Papierindustrie	66%	275 t P
Chemische Industrie	23%	98 t P
Sonstige Industrie	11%	46 t P
<b>Gesamt</b>	<b>100%</b>	<b>419 t P</b>

Tabelle 24: Aufschlüsselung P-Fracht der Direkteinleiter

### F3.7 Erosion Forstwirtschaft

Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden können aus STOBIMO entnommen werden, in dem die Phosphoreinträge mithilfe des Programm MONERIS modelliert wurden (Zessner et al., 2011) Jährlich gelangen über die forstwirtschaftlichen und sonstigen Flächen rund 1.700 t P in die Gewässer-

### F3.8 Holzgüter

Holzgüter sind jene Güter, die entweder direkt als Holzprodukt oder in weiterer verarbeiteter Form (z.B.: Plattenindustrie) in die Haushalte gelangen. Die Grundlage für die Ermittlung der Frachten liefert die österreichische Energieagentur (Energieagentur, 2007).

### F3.9 Deposition forstwirtschaftliche Flächen

Die Berechnung erfolgt analog zum Fluss Deposition landwirtschaftliche Fläche (F2.5). In diesem Fluss werden die forstwirtschaftlichen und sonstigen Flächen zusammenaddiert, was einer Gesamtfläche von ca. 5,2 Mio. ha entspricht. Der Anteil der sonstigen Flächen wird über den Prozess Forstwirtschaft geführt und gelangt von dort als Fluss Deposition sonstige Böden (P3.7) in den Prozess sonstige Böden/Rekultivierungsfläche.

### F8.3 Substrat Landschaftsbau

Das Substrat für den Landschaftsbau setzt sich aus den Flüssen P8.19 Substrat aus mechanisch-biologischen Anlagen und P8.20 Substrat aus Kompostieranlagen zusammen.

### F8.4 Altpapier

Jährlich fallen aus Haushalten und Industrie 1,4 Mio. Tonnen Altpapier an, die derzeit noch über das Sammelsystem der Altstoffrecycling Austria in die Papierindustrie gelangt (Austropapier, 2010). Wie bereits erwähnt, haben die Papierströme aufgrund der geringen Phosphorkonzentration keine große Bedeutung innerhalb der Phosphorbilanz.



## **Systeminterne Flüsse**

### **P3.1 Nutzholz**

Das Nutzholz setzt sich aus Sägerundholz, Industrierundholz, Brennholz, Rinde, Kappholz und Waldhackgut zusammen und stammt aus der heimischen Forstwirtschaft. Blätter, Astwerk und Wurzeln werden nicht dazugerechnet. Die geschlägerte Menge wurde aus der Holzstromanalyse der österreichischen Energieagentur (Energieagentur, 2007) entnommen. Zur Ermittlung der Phosphormenge in den verschiedenen Holzarten erfolgte die Umrechnung fm (Festmeter) in t-atro (Trockengewicht in t) mit bekannten Faktoren (Energieagentur, 2007). Mittels der Phosphorkonzentrationen der Holzarten wurden daraus die Phosphormengen berechnet. Diese Berechnungsmethode erfolgt analog für alle Flüsse im Prozess Forstwirtschaft.

### **P3.2 Rohstoffe für Papierindustrie**

Der Holzeinsatz für die Herstellung von Papier lässt sich aus den Berichten der Austropapier entnehmen (Austropapier, 2010). Darin aufgeschlüsselt sind die Mengen an Holz in fm. Mittels der Umrechnung in t atro und Multiplikation der P-Konzentrationen kann die P-Fracht bestimmt werden.

### **P3.3 Export Holz**

Die exportierten Holz mengen der Holzverarbeitung entstammen dem Bericht österreichischen Energieagentur (Energieagentur, 2007).

### **P3.4 Import Holz**

Siehe P3.3 Export Holz.

### **P3.5 Import Papier & Rohstoffe**

Die notwendigen Daten für Import und Exporte Papier & Rohstoffe lassen sich aus den Berichten der Austropapier entnehmen. In diesem Fluss enthalten sind die importierten Holz-, Zellstoff- und Altpapiermengen.

### **P3.6 Export Papier & Rohstoffe**

Siehe P3.5 Import Papier & Rohstoffe.

### **P3.7 Deposition sonstige Flächen**

Siehe Fluss Deposition forstwirtschaftliche Flächen (F3.9).

### **L3.1 Lager Forstwirtschaft**

Der gesamte Holzbestand des Waldes wird als Lager betrachtet. Im Gegensatz zu den Nutzhölzern werden im Lager sämtliche Baumbestandteile wie Wurzeln, Rinde, Blätter/Nadel, Äste und Stamm berücksichtigt. Die Datengrundlage für diese Berechnung liefert der Bericht „Österreichisches Waldinventur“ (BFW, 2003). Die Ermittlung der Phosphormenge im Oberboden der forstwirtschaftlichen Böden erfolgt analog zum Lager Landwirtschaft – Pflanzenbau.

### L3.2 Sonstige Böden/Rekultivierungsflächen

Nicht in der Landwirtschaft verwerteten Komposte und hergestellten Erden werden auf die sonstigen Flächen bzw. Rekultivierungsflächen aufgebracht. Die Ermittlung der Phosphormenge im Oberboden der sonstigen Flächen erfolgt analog zum Lager Landwirtschaft – Pflanzenbau.

### 7.2.4 Prozess Chemische Industrie

#### Hauptflüsse

#### F4.1 Import und F4.2 Export Chemikalien

In diesem Fluss werden phosphorhaltige Chemikalien, Insektizide und berücksichtigt.

Grundlage für die Berechnung sind die folgenden phosphorhaltigen Chemikalien, die aus den Aussenhandelsergebnissen der Jahre 2004–2008 entnommen werden können.

- reiner Phosphor (P),
- Phosphorsäure ( $P_3 PO_4$ ) und Polyphosphorsäure,
- Phosphorsäure für Industrie (10%),
- Phosphortrichloridoxid ( $POCl_3$ ), Phosphortrichlorid ( $PCl_3$ ), Phosphorpentachlorid ( $PCl_5$ ) und Phosphorchlorid (PCl),
- Phosphorsulfide inkl. Phosphortrisulfid ( $P_2SO_5$ ) und
- Phosphinate ( $HPO_3$ ).

Über die Berechnung der molaren Masse für die genannten chemischen Verbindungen erfolgt die Ermittlung eines Umrechnungsfaktors bezogen auf das elementare Phosphor Multipliziert mit den importierten Mengen können so die P-Frachten erhoben werden.

Die Importmenge an organophosphatischen Insektiziden ebenfalls aus der Aussenhandelsergebnissen (Statistik Austria, 2010d) entnommen werden. Die Berechnung der P-Frachten erfolgte analog zu den phosphorhaltigen Chemikalien. Es wird der Mittelwert der molaren Massen der neun handelsüblichen Insektiziden (Parathion, Disulfoton, Malathion, Dichlorvos, Naled, Oxydemetonmethyl, Phoxim, Chlorpyrifos, Fenthion) angenommen.

Die Erhebung des Flusses Reinigungsmittel gestaltet sich aufgrund der uneinheitlichen Deklaration in den Aussenhandelsergebnissen, sowie der Nichtveröffentlichung dieser Produktgruppe als sehr schwierig. Daher wurde, auf Basis vorliegender Daten der Ländern Deutschland (UBA-Deutschland, 2010a) und Schweiz (Binder et al., 2009) und der dortigen eingesetzten Phosphat- und Phosphonatmengen pro Kopf, für Österreich eine gute Annäherung getroffen.

#### F4.3 Insektizide

Die eingesetzten Insektizidmengen können den Grünen Berichten (BMLFUW, 2005, 2009) entnommen werden. Der P-Fluss ist mit 15 t P/Jahr sehr gering.



#### **F4.4 Reinigungsprodukte**

Die P-Fracht in Reinigungsmitteln ist auf die verstärkte Verwendung von phosphathaltigen Maschinengeschirrspülmitteln zurückzuführen. Für Österreich liegen jedoch keine ausreichend aufgeschlüsselten Daten vor. Erhebungen des Deutschen Umweltbundesamtes (UBA-Deutschland, 2010a) und der Schweizer Phosphorstudie (Binder et al., 2009) werden herangezogen. Dazu werden die in Deutschland und der Schweiz in Reinigungsmitteln eingesetzten Phosphormengen auf kg P/Person bezogen. Zur Berechnung der österreichischen P-Frachten aus Reinigungsmitteln wird die Fracht aus Deutschland mit 0,10 kg P/Einwohner und Jahr als unterer Grenzwert und die Fracht in der Schweiz 0,13 kg P/Einwohner und Jahr als oberer Grenzwert angenommen. Daraus abgeleitet werden in österreichischen Haushalten jährlich 997 t P in Form von Geschirrspülmitteln eingesetzt.

#### **F4.5 Abwasser chemische Industrie**

Siehe Berechnung F3.6 Abwasser Papierindustrie.

### **Systemintern**

#### **P4.1 Insektizide Import**

Siehe F4.1 Import Chemikalien. Berechnung Insektizide

#### **P4.2 Insektizide Produktion**

Diese P-Fracht errechnet sich aus der Differenz der abgesetzten Insektizide (F4.3) und dem Import an Insektiziden (P4.1).

#### **P4.3 Reinigungsmittel Import**

Der Import der Reinigungsmittel kann aus den Aussenhandelsergebnissen (Statistik Austria, 2010d) entnommen werden

#### **P4.4 chemische Produkte Import**

Siehe F4.1 Import Chemikalien. Berechnung Import Chemikalien.

#### **P4.5 Insektizide Export**

Der Export (92 t P) an Insektiziden ist verhältnismäßig höher als der Import (11 t P). Die Vermutung liegt nahe, dass Teile der importierten phosphorhaltigen Chemikalien für deren Herstellung verwendet werden.

#### **P4.6 Reinigungsmittel Export**

Siehe P4.3 Reinigungsmittel Import

#### **P4.7 chemische Produkte Export**

Der Export an chemischen Produkten (224 t P) ist im Vergleich zu den Importen deutlich geringer (1.130 t P). Anzunehmen ist, dass die Differenz an Phosphor zur Herstellung von Reinigungsmitteln, Insektiziden und sonstigem verwendet wird.

## 7.2.5 Prozess Industrie

### Hauptflüsse

#### F5.1 Import Mineraldünger

Aufgrund der fehlenden Phosphorressourcen in Österreich, müssen Rohphosphate oder bereits handelsfähige P-Mineraldünger zu 100% importiert werden. Auf Basis der Datengrundlage des Grünen Berichts (BMLFUW, 2005, 2009) kann die abgesetzten Phosphormengen ermittelt werden. Die tatsächlich importierte P-Menge ist bedeutend größer. Aus den Daten der beiden Düngemittelhersteller in Linz und Pischelsdorf kann der gesamte jährliche Mineraldüngerabsatz von im Mittel 500.000 t/a ermittelt werden. Darin enthalten ist der P-Absatz als Reinmenge von rund 16.900 t P/a. Das entspricht 3,3% der jährlich abgesetzten Gesamtdüngermenge. Produziert werden in Österreich jährlich rund 1.400.000 t Düngemittel, wovon rund 1.000.000 t exportiert werden. Mit der Annahme, dass rund 3,3% der Düngemittelproduktion auf den Phosphors entfallen, müssen jährlich rund 45.900 t P (Reinsubstanz) importiert werden.

Jahr	Produktion [t/a]	Export [t/a]	Düngerabsatz [t/a]	P-Absatz Reinmenge [t P/a]	P-Gehalt in Düngerabsatz [%]
2004	1.400.000	1.100.000	500.000	17.200	3,4
2005	1.400.000	1.000.000	500.000	15.800	3,2
2006	1.500.000	1.120.000	482.000	15.300	
2007	1.600.000	1.120.000	510.000	16.500	3,2
2008	1.100.000	700.000	-	19.500	
<b>Mittelwert</b>	<b>1.400.000</b>	<b>1.008.000</b>	<b>498.000</b>	<b>16.900</b>	<b>3,3</b>
<b>P-Reinmenge</b>	<b>45.900</b>	<b>33.000</b>		<b>16.900</b>	

Tabelle 25: Düngemittelproduktion und Export

Es wird von einer geringen Lagerhaltung ausgegangen und angenommen, dass die jährliche Aufbringungsmenge der abgesetzten Menge entspricht. Starken Schwankungen im Wirtschaftsjahr 2008/09 aufgrund erhöhter Weltmarktpreise werden minimieren, indem der Mittelwerte über die Jahre herangezogen wird.

#### F5.2 Import Nahrungsmittel

Dieser Fluss beinhaltet die importierten pflanzlichen und tierischen (ausschließlich Wild und Fisch) Nahrungsmittel, die für den menschlichen Verzehr geeignet sind. Die Daten konnten aus der Versorgungsbilanz der Statistik Austria (Statistik Austria, 2009c) entnommen werden. Die P-Konzentrationen entsprechen jenen in den Produkten der Landwirtschaft.

#### F1.4 Tierische Produkte

Siehe Subsystem „Landwirtschaft – Tierhaltung“

#### F2.2 Pflanzliche Produkte

Siehe Subsystem „Landwirtschaft – Pflanzenbau“

#### F3.3 Papier Industrie

Siehe Subsystem Forstwirtschaft



### **F5.3 Import Futtermittel**

Die Daten für Import und Export können aus den Versorgungsbilanzen der Statistik Austria entnommen werden. Dieser Fluss umfasst folgende Inputflüsse:

- Ölkuchen und andere feste Rückstände an Soja
- Erdnüsse
- Reste aus pflanzlicher Ölgewinnung
- Fleisch und Fischmehl
- Kleie und Rückstände an Getreide
- Reste der Stärkeerzeugung.

Die P-Fracht wurde mit den bekannten Konzentrationen berechnet.

### **F5.4 Saatgut LW**

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

### **F5.5 Mineraldünger Landwirtschaft**

In der Schweizer Phosphorstudie (Binder et al, 2009) wird von einer ca. 97% Anwendung der phosphorhaltigen Mineraldünger in der Landwirtschaft ausgegangen. Herr Heinzlmaier, Sales Manager der in Linz ansässigen Firma Agro Trade (AGRO-TRADE, 2010) geht für Österreich davon aus, dass 99% der Mineraldünger auf landwirtschaftlichen Flächen eingesetzt werden. Herr Strasser von der Firma Timac Agro (TIMAC-AGRO, 2010) geht von 98–99% aus. Daher wird angenommen, dass 97–99% der importierten phosphorhaltigen Mineraldünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden.

### **F5.6 Export Nahrungsmittel**

Dieser Fluss fasst die exportierten pflanzlichen und tierischen Nahrungsmittel zusammen. Die Berechnung erfolgte anhand der Versorgungsbilanzen der Statistik Austria (Statistik Austria, 2009 c, d).

### **F5.7 Export Futtermittel**

Analog Datengrundlage und Ausführung wie Fluss F5.6 Import Futtermittel.

### **F5.8 Abwasser industriell**

Siehe Berechnung F3.6 Abwasser Papierindustrie.

### **F5.9 Abwasser kommunal aus Industrie**

Der Anteil der Industrie am kommunalen Abwasser kann nach (Lindtner und Zessner, 2003) mit zirka 22% angenommen werden. Der Anteil der Nahrungsmittelindustrie an den gesamten Industrieabwässern konnte mit 60% (Oberosterer und Reiner, 2003) basierend auf (Kroiss et al, 1998) angenommen werden. Die Datengrundlage für Zulauf- und Abauffrachten liefern die österreichischen Lagerberichte zu den kommunalen Kläranlagen (BMFLUW, 2008b, 2009b). Daraus resultiert eine P-Fracht von 1.700 t P/Jahr aus industriellen Abwässern, die durch kommunale Abwasserreinigungsanlagen geleitet wird.

### F5.10 Altstoffe Industrie

Dieser Fluss beinhaltet Altholz und Altpapier, welches über das ARA System eingesammelt und aufgezeichnet wird (ARA, 2005-2009).

### F5.11 Nahrungsmittel

Die Nahrungsmittelmenge die der Bevölkerung zur Verfügung steht, lässt sich aus den Versorgungsbilanzen für tierische und pflanzliche Lebensmittel (Statistik Austria, 2009b, c) bestimmen.

### F5.12 Mineraldünger Garten

Jene Restmenge, die nicht in der Landwirtschaft verwendet wird (1–3%), gelangt in den Prozess Haushalt und wird vorwiegend im Gartenbau eingesetzt.

### F5.13 tierische Abfälle

Jährlich fallen in Österreich zirka 610.000 t tierische Nebenprodukte an (BAWP, 2006, 2009) die wie in Tabelle 26 ersichtlich in verschiedene Abfallfraktionen aufgegliedert werden können. Schlachtabfälle aus der Fleischverarbeitung sind, aufgrund des hohen Anteils (nahezu 100%) an Knochen und damit an Phosphor, die mit Abstand phosphorreichste Teilfraktion (UBA, 2008). Die Berechnung der Phosphormenge erfolgt mit den bekannten Konzentrationen.

Kategorie tierische Nebenprodukte	[t P/a]
Schlachtabfälle aus der Schlachtung (ohne Knochen)	467
Schlachtabfälle aus der Fleischverarbeitung (mit Knochen)	5.094
Falltiere	268
Molkereiabfälle aus der Milchverarbeitung (geringe P-Konz.)	112
Ehemalige Lebensmittel tierischen Ursprungs	47
Küchen- und Speiseabfälle	92
<b>Gesamt</b>	<b>6.079</b>

Tabelle 26: Kategorie tierische Nebenprodukte Aufschlüsselung mit P-Gehalt

### F5.14 pflanzliche Abfälle

Das Gesamtaufkommen der pflanzlichen Abfälle aus der Lebensmittelverarbeitung kann mit insgesamt 1,400.000 t FM angenommen werden. Diese Menge setzt sich zusammen aus:

- Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte
- Abfälle pflanzlicher und tierischer Fetterzeugnisse (ohne Schlachtabfälle und tierische Fäkalien)
- Nahrungs- und Genussmittelabfälle

Lediglich 18% der in der Lebensmittelindustrie anfallenden Menge gelangt in die verschiedenen Prozesse der Abfallwirtschaft. Zur Berechnung der Frachten wurden die P-Konzentrationen aus der Nährstoffbilanz 1998 (Kroiss et al., 1998) und aus den Düngungsrichtwerten der Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (LLFG, 2007) entnommen.

#### Abfälle aus pflanzlicher und tierischer Fetterzeugung

Diese Abfallgruppe setzt sich zusammen aus Ölsaatrückständen, Fettabscheider, Fette und Molke. Saatrückstände werden zu 100% als Futtermittel verwendet, während Abfälle aus Fettabscheider und Molke in Biogasanlagen verwertet werden (BAWP, 2006, 2009).



## Abfälle aus Nahrungs- und Genussmittelproduktion

	[t/a]
Zuckerrübenreste	270.000
Getreideernte	207.000
Bierproduktion	150.000
Fruchtsaft	8.400
Weinproduktion	11.600
Sonstige Abfälle	189.000
<b>Gesamt</b>	<b>836.000</b>

Table 27: Abfälle aus Nahrungs- und Genussmittelproduktion

Diese Abfälle werden zu 100% verwertet und gelangen daher in Kompostier- und/oder Biogasanlagen oder werden als Futtermittel verfüttert (Bärnthaler et al., 2008; BAWP, 2006). Andere Abfälle aus der Verarbeitung und Veredelung tierischer und pflanzlicher Produkte. Diese Abfallgruppe setzt sich aus Rückständen aus der Kartoffelstärke- und Maisstärkeproduktion zusammen. Auch diese Abfälle werden zu 100% verwertet. In erster Linie werden sie als Futtermittel eingesetzt, gelangen als Substrat in aerobe/anaerobe Anlagen oder werden in der Lebensmittelindustrie verwendet.

### **F5.15 Futtermittel**

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung

### **P5.1 Futtermittel Handel**

Lässt sich über die Ausgleichsrechnung errechnen.

### **P5.2 Nahrungsmittel Handel**

Dieser Fluss errechnet sich aus den Importierten und aus der Landwirtschaft stammenden pflanzlichen und tierischen Produkten, abzüglich der Abfallprodukte, die durch die Verarbeitung und Veredelung der Nahrungsmittel anfallen und abzüglich der Produkte die für die Futtermittelherstellung eingesetzt werden

## **7.2.6 Prozess Haushalt**

### **Hauptflüsse**

#### **F3.8 Holzgüter**

Siehe Subsystem Forstwirtschaft.

#### **F3.4 Papier Haushalt**

Siehe Subsystem Forstwirtschaft.

#### **F3.5 Energieholz**

Siehe Subsystem Forstwirtschaft

#### **F4.4 Reinigungsprodukte**

Siehe Subsystem Chemische Industrie.

#### **F5.11 Nahrungsmittel HH**

Siehe Subsystem Industrie

## **F5.12 Mineraldünger Garten**

Siehe Subsystem Industrie.

## **F6.1 Abwasser kommunal**

Dieser Fluss setzt sich aus den Frachten des kommunalen Abwassers des Subsystems Haushalt und den Frachten des Regenüberlaufs zusammen.

## **F6.2 Restmüll**

Siehe Subsystem Abfallwirtschaft.

## **F6.3 Biogene Abfälle getrennt gesammelt**

Dieser Fluss beinhaltet die getrennt gesammelten biogenen Abfälle aus Haushalten und Gärten die nicht über den Restmüll entsorgt werden (BAWP, 2006, 2009).

## **F6.4 Altstoffe HH**

Zu den Altstoffen zählen Altpapier und Altholz, welches getrennt von den Restmüll über das ARA-System gesammelt wird (BAWP, 2006, 2009; ARA 2005–2009)

## **F6.5 Biogene Abfälle**

Dieser Fluss beinhaltet die ebenfalls getrennt gesammelten Marktabfälle, Grünabfälle aus Gärten und Parks, Straßenbegleitgrün und Friedhofsabfälle und wird vorwiegend der Kompostierung und teilweise Biogasanlagen zugeführt. Insgesamt fallen jährlich 1,9 Mio. Tonnen getrennt gesammelte biogene Abfälle an (BAWP, 2006, 2009). Aufgrund der Heterogenität des biogenen Ausgangsmaterials und der daraus resultierenden großen Schwankung ist die Unsicherheit für diesen Fluss groß.

## **F6.6 Aschen HH**

Siehe P6.3 Asche Garten

## **F8.7 Altholz unbehandelt**

Siehe Subsystem Abfallwirtschaft.

## **P6.1 Eigenkompostierung**

In die Eigenkompostierung fließen ähnliche Abfälle wie in die Sammelbehälter der Biomüll Sammlung. Laut Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP, 2006, 2009) beträgt diese schwer abschätzbare Menge ca. 1,000.000 t FM jährlich.



## **P6.2 Asche Garten**

Die Asche entsteht aus der Verbrennung von Energieholz. 55% der anfallenden Aschen werden deponiert (BAWP, 2009). Die verbleibenden 45% wurden auf sonstige Flächen wie z.B.: Gärten aufgebracht.

## **P6.3 Gartenabfälle**

Gartenabfälle wie Schnittgut von Wiesen und Sträuchern gelangt über den Prozess Haushalt überwiegend in die getrennte biogene Sammlung (BAWP, 2006, 2009).

## **7.2.7 Prozess Abwasserwirtschaft**

### **F3.6 Abwasser Papierindustrie**

Siehe Subsystem Papierindustrie.

### **F4.5 Abwasser chemische Industrie**

Siehe Subsystem chemische Industrie.

### **F5.8 Abwasser industriell**

Siehe Subsystem Industrie.

### **F5.9 Abwasser kommunal aus Industrie**

Siehe Subsystem Industrie.

### **F6.2 Abwasser kommunal**

Siehe Subsystem Haushalt.

### **F7.1 Kommunaler KS Landwirtschaft**

Im Fluss Klärschlamm sind sowohl die kommunalen Klärschlämme, als auch die industriellen Klärschlämme die auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden, enthalten. Zur Erhebung der kommunalen Klärschlammengen wurde aufgrund der besseren Datenverfügbarkeit auf den österreichischen Bericht der kommunalen Abwasserrichtlinie der EU - 91/271 EWG zurückgegriffen (BMLFUW; 2012). Diese Berichte enthalten die kommunalen Kläranlagen > 2.000 EW<sub>60</sub>, was einer Abdeckung von 98% aller Kläranlagen entspricht. Eine Umrechnung auf Kläranlagen > 50 EW<sub>60</sub> war nötig. Die Mengen an industriellem Klärschlamm stammen aus einem Bericht des (UBA, 2009). Die P-Konzentrationen stammen aus Aichberger (1991) und dem ÖWAV Regelblatt 17 (ÖWAV, 2004). Daraus ergibt sich, dass ~16% des kommunalen Klärschlammaufkommens, einer landwirtschaftlichen Verwertung zugeführt werden.

### **F7.2 Klärschlamm kommunal**

Der gesamte Fluss Klärschlamm kommunal gelangt in das Subsystem Abfallwirtschaft und wird dort den unterschiedlichen Verwertungs-, Behandlungs- und Entsorgungsprozessen zugeteilt.

### **F7.3 Klärschlamm industriell**

Der gesamte Klärschlamm industriell gelangt in das Subsystem Abfallwirtschaft und wird dort den unterschiedlichen Verwertungs-, Behandlungs- und Entsorgungsprozessen zugeteilt. Trotz der oftmaligen

Verbrennung von Industrieklärschlämmen in betriebseigenen Anlagen, werden sie aus Gründen der Übersichtlichkeit den Verbrennungsprozessen im Subsystem Abfallwirtschaft zugeteilt.

#### **F7.4 Ablauf**

Laut dem nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan 2009 (BMLFUW, 2010) fließen über den Ablauf der kommunalen Kläranlagen jährlich über 1.000 t P in die Gewässer.

#### **F7.5 Direkteinleiter**

Direkteinleiter sind Abwasserproduzenten, meist Gewerbe- und Industriebetriebe, die ihre Abwässer nach Vorreinigung in eigenen Kläranlagen direkt in einen Vorfluter einleiten. In Österreich gelangen nach der Abwasserreinigung jährlich 50–63 t P (BMLFUW, 2003) in die Gewässer.

### **7.2.8 Prozess Abfallwirtschaft**

#### **F1.5 Wirtschaftsdünger Biogas**

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Tierhaltung.

#### **F2.4 Landwirtschaftliche Stoffe Biogas**

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau.

#### **F5.10 Altstoffe Industrie**

Siehe Subsystem Industrie.

#### **F5.13 tierische Abfälle**

Siehe Subsystem Industrie.

#### **F5.14 pflanzliche Abfälle**

Siehe Subsystem Industrie.

#### **F6.3 Restmüll**

Restmüll in Österreich setzt sich aus phosphorhaltigen Abfallgruppen wie biogene Abfälle (33 Mass.% im Restmüll), Papier, Pappe und Karton (22 Mass.%) und Holz (4 Mass.%) zusammen (BAWP, 2006, 2009). Mit Inkrafttreten der Deponieverordnung 2004 dürfen laut dieser Verordnung keine reaktiven Abfälle auf Deponien abgelagert werden. In Österreich wird laut Abfallwirtschaftsplan (BAWP, 2006, 2009) 55% des Restmülls einer thermischen Behandlung zugeführt. Die verbleibenden 45% werden in mechanisch-biologischen Anlagen behandelt. Die heizwertarmen organischen Fraktionen werden von den heizwertreichen getrennt, über Rotteprozesse stabilisiert und anschließend abgelagert oder im Landschaftsbau eingesetzt. Die P-Frachten wurden über den Anfall an biogenen Abfall, Papier und Holz multipliziert mit deren P-Konzentrationen ermittelt.

#### **F6.4 biogene Abfälle**

Siehe Subsystem Haushalt.

#### **F6.5 Altstoffe HH**

Siehe Subsystem Haushalt.



## F6.6 Aschen HH

Siehe Subsystem Haushalt.

## F6.7 getrennte gesammelte biogene Abfälle

Siehe Subsystem Haushalt.

## F7.2 Klärschlamm kommunal

Klärschlamm kommunal wird über den Distributionsprozess Klärschlamm geleitet. An diesem Prozess erfolgt die Aufteilung in die Flüsse:

- kommunaler KS Biogas
- kommunaler KS Kompostierung
- kommunaler KS MBA
- kommunaler KS MVA
- kommunaler KS Monoverbrennung
- kommunaler KS Mitverbrennung Industrie
- kommunaler KS Deponie

Bei diesen Flüssen handelt es sich um systeminterne Flüsse, die im weiteren Verlauf dieses Subsystems genauer beschrieben werden. Die folgende Abbildung 37 zeigt die prozentuelle Verteilung der Verwertung-, Behandlung- und Entsorgungsarten des kommunalen Klärschlammes.

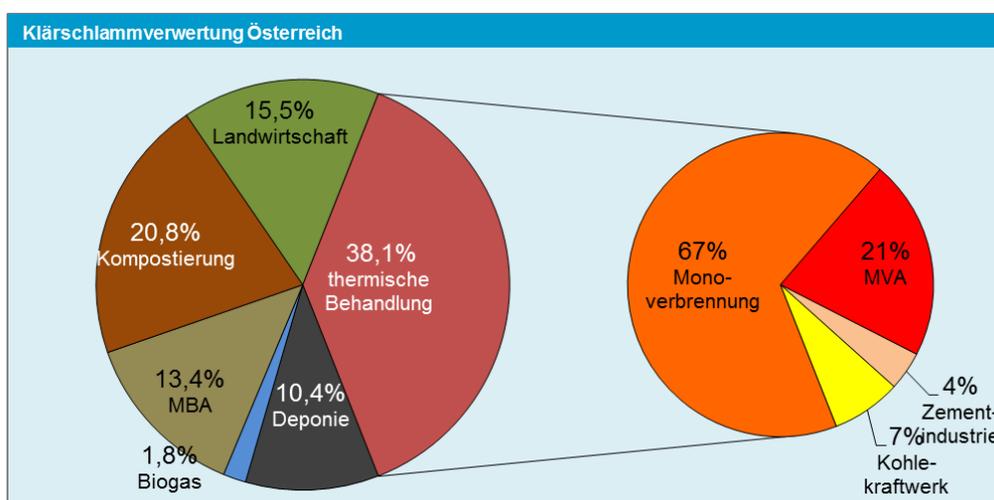


Abbildung 37: Anteil der Verwertungs-, Behandlungs-, und Entsorgungswege kommunaler KS in Österreich

## F7.3 Klärschlamm industriell

Klärschlamm industriell wird über den Distributionsprozess Klärschlamm geleitet. An diesem Prozess erfolgt die Aufteilung in die Flüsse:

- industrieller KS Mitverbrennung Industrie
- industrieller KS Deponie

### **F8.1 Import Tierkörperbehandlung**

Über Importe gelangen jährlich 35.000 t FM an tierische Abfälle in österreichische Tierkörperbehandlungsanlagen. Das entspricht einer P-Fracht von ca. 60 t/Jahr. Die Zusammensetzung der tierischen Abfälle ist nicht bekannt. Angenommen wurde, dass es sich dabei um Schlachtabfälle und nicht um Abfälle aus der Verarbeitung handelt und der Phosphorgehalt daher gering ist.

### **F8.2 organischer Dünger LW**

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau

### **F8.3 Substrat Landschaftsbau**

Siehe Subsystem Forstwirtschaft

### **F8.4 Altpapier**

Siehe Subsystem Forstwirtschaft.

### **F8.5 Export Filterkuchen**

Dieser Fluss kann über die anfallenden Mengen an Filterkuchen aus den Müllverbrennungs- und Monoverbrennungsanlagen ermittelt werden.

### **F8.6 Export Tiermehl**

40% des jährlich anfallenden Tiermehls der TKV-Anlagen fließt über Exporte ins Ausland (BAWP, 2006, 2009). Das entspricht einer P-Fracht von bis zu 1.800 t jährlich.

### **F8.7 Altholz unbehandelt**

Siehe Subsystem Haushalt.

### **F8.8 Kompost HH**

Die an Haushalte abgegebene Kompostmenge kann nur sehr schwer oder gar nicht ermittelt werden. Daher wird für diesen Fluss der errechnete Wert der Ausgleichsrechnung des Programms STAN angenommen.



## Systeminterne Flüsse

### P8.1 Restmüll MBA

Laut Bundeabfallwirtschaftsplan gelangten in den Jahren 2004–2008 im Mittel 22,3% des anfallenden Restmülls in MBA Anlagen (BAWP, 2006, 2009). Dort erfolgt eine Auftrennung in heizwertarme und –reiche Abfallfraktionen. Die heizwertreichen Fraktionen gelangen in die Müllverbrennung während die heizwertarmen in der MBA über aerobe und anaerobe Rotteprozesse stabilisiert werden. Der Transferkoeffizient für Phosphor, der über die heizwertreiche Fraktion in die Verbrennung gelangt, wird mit 43% angenommen. Die verbleibenden 57% gelangen über die Rotteprozesse als stabilisierter Abfall in die Deponie oder als Substrat in den Landschaftsbau. Der Transferkoeffizient für den Fluss in die Deponie wird mit 80% festgelegt (Skutan und Brunner, 2006).

### P8.2 Restmüll MVA

Durchschnittlich gelangten 64% des anfallenden Restmülls direkt in Müllverbrennungsanlagen. Das entspricht einem Mengenfluss von 880.000 t und einer P-Fracht von 800 t jährlich (BAWP, 2006, 2009).

### P8.3 kommunaler KS Biogas

Der Anteil an Klärschlamm in Biogasanlagen ist mit einer großen Unsicherheit behaftet, da der Klärschlamm unter die Bezeichnung Rest fällt und die Menge daher nicht exakt eruiert werden kann. Angenommen wird ein Fluss von ca. 110 t P/Jahr (siehe Abbildung 39).

### P8.4 kommunaler KS Kompostierung

Im Abfallwirtschaftsplan (BAWP, 2006, 2009) werden folgende Verwertungs- und Beseitigungsmöglichkeiten für Komposte aus kommunalem Klärschlamm genannt:

- Landwirtschaftliche Verwertung
- Landschaftsbau (z.B.: Rekultivierung von Deponien)
- Deponierung

Eine mengenmäßige Aufteilung kann aus dem Abfallwirtschaftsplan nicht entnommen werden. Anhand der bekannten Klärschlammströme in die Subsysteme Verbrennung, Biogas und mechanisch-biologische Behandlungsanlagen, kann die Menge an kompostierten Klärschlamm aus der Differenz der gesamt anfallenden Klärschlammmenge und den Anfall aus den genannten Subsystemen ermittelt werden. Die Verwendung als Bauzuschlagsstoff wurde nicht berücksichtigt. Demzufolge werden jährlich ~ 65.000 t TS Klärschlamm kompostiert. Das entspricht einer Phosphorfracht von 1.500 t. Klärschlammkompost kann bei Einhaltung der Grenzwerte laut Kompostverordnung (BMLFUW, 2001) in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Bei Überschreitung der dieser Grenzwerte kann dieser Kompost im Landschaftsbau eingesetzt werden.

### P8.5 kommunaler KS MBA

In Österreich werden in sechs mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen jährlich ungefähr 35.000 t TS kommunaler Klärschlamm über aerobe oder anaerobe Rotteprozesse stabilisiert. Das entspricht

einer P-Fracht von 860 t P/Jahr. Diese Zahlen können der Studie „Ist-Stand der MBA in Österreich“ des Umweltbundesamt entnommen werden (UBA, 2006).

### P8.6 kommunaler KS MVA

Zirka ein Fünftel der jährlich thermisch behandelten Klärschlämme werden in Müllverbrennungsanlagen zusammen mit Restmüll verbrannt. Das entspricht 21.300 t TS, umgerechnet rund 560 t P/Jahr. Aus dem Endprodukt, der Schlacke bzw. Asche, ist eine Phosphorrückgewinnung aufgrund der starken Verdünnung durch andere Abfälle derzeit nicht sinnvoll. Der Transferkoeffizient von P in die Schlacke kann mit 83% bzw. in Filterkuchen mit 17% angenommen werden. (UBA, 1995)

	Input	P-Transfer Asche/Schlacke	Transfer Filterkuchen
MVA	21.300 t TS	83%	17%
Phosphor	564 t	468 t	96 t

Tabelle 28: Klärschlamminput, Ascheanteil und Phosphorverteilung Müllverbrennung

### P8.7 kommunaler KS Monoverbrennung

Die Verbrennung von KS in einer Monoverbrennungsanlage erfolgt in Österreich lediglich in Wien, Simmeringer Haide. Jährlich werden an diesem Standort rund 67.000 t TS Klärschlamm verascht. Die P-Fracht kann mit 1.800 t/Jahr angenommen werden (UBA, 2005). Eine Rückgewinnung des Phosphors oder eine zwischenzeitliche Lagerung der phosphorreichen Asche ist derzeit nicht angedacht. Nur ein sehr geringer Anteil von 1,7% gelangt in den Filterkuchen (Lederer und Rechberger, 2010).

	Input	P-Transfer Asche/Schlacke	Transfer Filterkuchen
Monoverbrennung	67.300 t TS	98,7%	1,7%
Phosphor	1.792 t	1760 t	32 t

Tabelle 29: Klärschlamminput, Ascheanteil und Phosphorverteilung Monoverbrennung

### P8.8 kommunaler KS Mitverbrennung Industrie

Kommunaler Klärschlamm wird im Ausmaß von ungefähr 11.500 t TS in Kohlekraft- und Zementwerken als Sekundärbrennstoff eingesetzt (UBA, 2009). Die Aufteilung lautet: 4.100 t TS in Zementindustrie; 7.400 t TS in Kohlekraftwerk. Das entspricht zusammen einer jährlichen P-Fracht von ungefähr 300 t. Wie bei den Müllverbrennungsanlagen, ist auch in diesem Fall eine Rückgewinnung von Phosphor nicht sinnvoll. Für den Phosphor der in die Zementindustrie gelangt, kann ein vollständiger Transfer in den Klinker angenommen werden. In Kohlekraftwerken wird der Phosphor zu 96% in Aschen und 4% in Kalk transferiert und fließt somit vollständig in die Deponie (Lederer und Rechberger, 2010)

### P8.9 kommunaler KS Deponie

Seit dem Inkrafttreten der Deponieverordnung 2004 (DVO, 2004) dürfen keine reaktiven Stoffe mehr unbehandelt abgelagert werden. Es gilt jedoch eine Übergangsfrist für einzelne Bundesländer bis 2009. Dadurch gelangten in den Jahren 2004–2008 durchschnittlich 25.000 t TS kommunaler Klärschlamm und damit 650 t Phosphor auf Deponien (BMLFUW, 2008b, 2009b).

### P8.10 industrieller KS Mitverbrennung Industrie

Derzeit werden ca. 60% des anfallenden industriellen Klärschlammes thermisch verwertet. Dies erfolgt entweder direkt vor Ort in BHKW (Blockheizkraftwerke) oder z.B.: in der Zementindustrie als



Sekundärbrennstoff. Insgesamt werden so jährlich 100.000 t TS industrieller Klärschlamm verbrannt. Das entspricht einer P-Fracht von zirka 210 t/Jahr. Diese Menge wird direkt über den Fluss Asche aus Mitverbrennung in die Deponie geführt.

#### **P8.11 industrieller KS Deponie**

Mit dem Inkrafttreten der Deponieverordnung 2004 (DVO, 2004) dürften keine reaktiven Stoffe mehr unbehandelt abgelagert werden. Aufgrund dieser Verordnung sank der bereits geringe Anteil von 3% im Jahr 2001 auf lediglich 0,12% im Jahr 2006. Das entspricht einer mittleren jährlichen P-Fracht von 3 t.

#### **P8.12 Asche/Schlacke MVA und P8.15 Filterkuchen MVA**

Siehe kommunaler KS Abfallverbrennung.

#### **P8.13 Asche Monoverbrennung und P8.16 Filterkuchen Monoverbrennung**

Siehe kommunaler KS Monoverbrennung.

#### **P8.14 Asche/Klinker Mitverbrennung**

Siehe kommunaler KS Mitverbrennung Industrie und Tiermehl als Sekundärbrennstoff.

#### **P8.17 Restmüll Deponie**

Jährlich gelangen 11,6%, das entspricht rund 160.000 t, des anfallenden Restmülls unbehandelt in Deponien (BAWP, 2006, 2009).

#### **P8.18 Rottegut und P8.19 Substrat aus MBA**

Das stabilisierte Endprodukt einer MBA wird in Abhängigkeit seiner Beschaffenheit entweder deponiert oder dem Landschaftsbau als Substrat zugeführt. Ausgehend von 14 im Bundesabfallwirtschaftsplan bilanzierten Anlagen kann ein in die Deponie gelangender Anteil des Rottegutes von 80% errechnet werden. Die verbleibenden 20% werden stofflich bzw. sonstig verwertet. Diese Beschreibung lässt keine exakte Aussage über die Verwertungswege zu. Es wird angenommen, dass dieser Anteil im Landschaftsbau eingesetzt wird.

#### **P8.20 Substrat aus Kompostierung und P8.22 Reststoffe Kompost**

Der Anteil des hergestellten Komposts der in den Landschaftsbau bzw. in eine thermische Verwertung fließt konnte nicht erhoben werden. Angenommen wird, dass ungefähr 50% der jährlich erzeugten Komposte aus verschiedenen Gründen wie zu hoher Schadstoffgehalt, Akzeptanzproblematik, usw. im Landschaftsbau eingesetzt oder verbrannt werden. Heizwertreiche Überreste der Kompostierung werden thermische verwertet (eigene Annahme von ungefähr 5% der anfallenden Menge).

#### **P8.21 Kompost Landwirtschaft**

Lediglich Komposte der Güteklasse A+ dürfen ohne besondere Einschränkungen auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden. Angenommen wird, dass 50% der anfallenden Komposte dieser Güteklasse entsprechen und somit in der Landwirtschaft eingesetzt werden (Eigene Annahme).

#### **Input Prozess Kompostierung**

Für die Berechnung der Kompostmengen wurden alle kompostierfähigen Abfälle abzüglich der Mengen für die Biogasproduktion laut Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP, 2006, 2009) in die Berechnung

miteinbezogen. Dazu zählen die getrennt gesammelten biogenen Abfälle aus Haushalten, Marktabfälle, Garten- und Parkabfälle, Straßenbegleitgrün, Friedhofsabfälle. Zusätzlich werden Klärschlämme (mit angenommenen 30% TS aus der kommunalen Abwasserreinigung und Abfälle aus der Genussmittelherstellung mitkompostiert (Abbildung 38). Der Gesamtinput beträgt zirka 2.000.000 t FM jährlich. Trotz Rotteprozess bleiben 100% des Phosphors aus dem Ausgangsmaterial im Kompost. Aufgrund des Masseverlustes des organischen Ausgangsmaterials um 55% (Rotteverlust) kommt es zu einer Aufkonzentration der Nährstoffe.

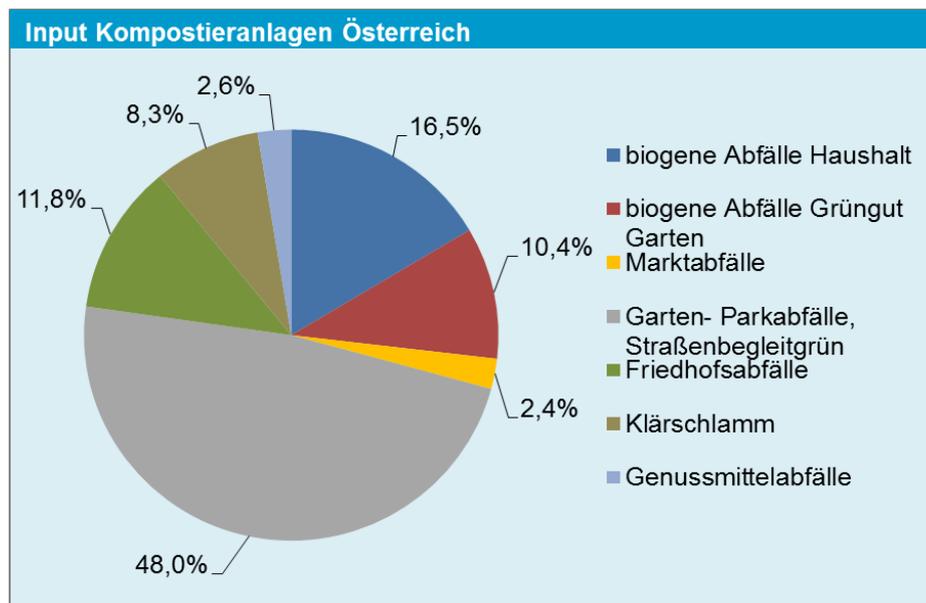


Abbildung 38: Inputmaterial Kompostieranlagen

### P8.23 Tiermehl Sekundärbrennstoff

Aufgrund des hohen Heizwertes (~ 20 MJ/kg) werden ~ 57% (BAWP, 2006, 2009) des anfallenden Tiermehls in Österreich vorzugsweise in Industrieanlagen als Ersatzbrennstoff (EBS) mitverbrannt. Das entspricht einer P-Fracht von bis zu 2.800 t jährlich (STMUGV, 2008; UBA, 2001).

Tiermehle und Fleischknochenmehle sind Produkte der Tierkörperbehandlung welche hohe Konzentrationen an Phosphor (5,2–6%) aufweisen.

### P8.24 Tiermehldünger

Der Tiermehlanteil der direkt als Dünger eingesetzt wird ist mit 3% und einer Fracht von 130 t P/Jahr gering.

### P8.25 Tiermehl Biogas

Dieser Anteil entspricht weniger als 1% und wird der Vollständigkeit halber angeführt.

### P8.26 Biogasgülle

Die flüssigen oder festen Rückstände einer Biogasanlage werden Biogasgülle oder Gärreste genannt. Während der Biogaserzeugung treten, abhängig vom Inputmaterial, Masse- bzw. Volumenverluste im Substrat auf. Phosphor geht nicht verloren und findet sich vollständig in der Biogasgülle wieder (TLL; 2006). Die Biogasgülle wird meist auf die landwirtschaftlichen Flächen rückgeführt bzw. im Landschaftsbau eingesetzt. Eine zusätzliche Behandlung der Biogasgülle mittels Kompostierung wird nicht berücksichtigt. Dies wäre nur eine Transformation in ein anderes Produkt. Die Phosphormenge bliebe gleich.



## Input Prozess Biogasanlagen

Grundlage für die Berechnung des Inputmaterials und –mengen sind die Erhebungen im Rahmen des Ökostromberichts 2010 (E-Control, 2010). Aufbauend auf die bekannte Inputzusammensetzung und Inputmenge aus dem Jahr 2009 für 200 Anlagen erfolgt die Hochrechnung basierend auf den per 31.12.2008 bestehenden Anlagen (daraus ergibt sich eine Gesamtinputmenge von 2,6 Mio. Tonnen FM. Abbildung 39 zeigt die Zusammensetzung der österreichischen Biogasanlagen. Klärschlämme werden über den Anteil Rest in die Rechnung einbezogen.

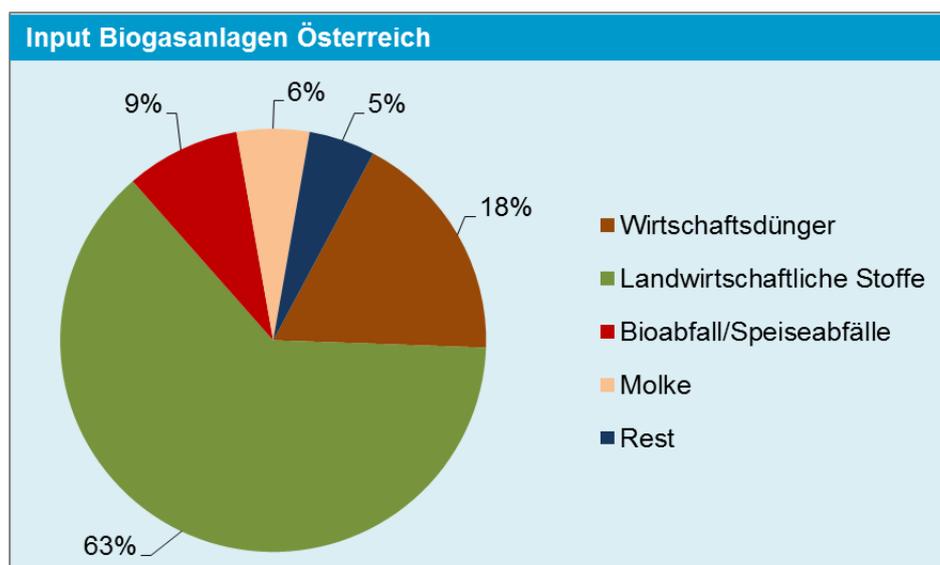


Abbildung 39: Inputzusammensetzung hochgerechnet Biogasanlagen 2009

## Inputmaterial Biogas

Das Inputmaterial für Biogasanlagen aus dem Subsystem Lebensmittelindustrie setzt sich aus Küchen-, Speiseresten und Molkereiabfällen der Milchverarbeitung zusammen. Die exakte Zuordnung der Abfallfraktionen, hinsichtlich der weiteren Verwertung (anaerob oder aerob) kann anhand der erhobenen Daten für Biogasanlagen ermittelt werden (Bärnthaler et al., 2008).

## Inputmaterial Kompost

Das Inputmaterial für Kompostanlagen aus dem Subsystem Lebensmittelindustrie setzt sich aus den Abfällen der Genuss- und Nahrungsmittelproduktion, sowie zu geringen Teilen aus den Küchen- und Kantinenabfällen zusammen. Die Datengrundlage liefert der Bundesabfallwirtschaftsplan (BAWP, 2006, 2009). Die in den Kompostieranlagen verwerteten Mengen errechnen sich aus der Differenz des Gesamtaufkommens an Genuss- und Nahrungsmittelproduktion und den bekannten Mengen für Biogas sowie für die Herstellung von Futtermittel.

## P8.27 organische Abfälle Kompost und P 8.29 org. Abfälle Biogas

Folgende Tabelle zeigt jene organischen Abfälle, die entweder einer Kompostierung oder einer Vergärung zugeordnet werden können.

Abfallfraktion	Kompost in%	Biogas in %
biogene Abfälle Haushalt	80	20
biogene Abfälle Grüngut	100	0
Marktabfälle	50	50
Garten- Parkabfälle, Straßenbegleitgrün	100	0
Friedhofsabfälle	100	0

Tabelle 30: Organische Abfälle und deren Verwertung

Der 20%ige Anteil der biogenen Abfälle aus Haushalten, die in anaerob verwertet werden, resultiert aus den Berechnungen der Inputfraktionen für Biogasanlagen (siehe P8.26 Biogasgasgülle). Der Differenzbetrag wird kompostiert. Für die Marktabfälle liegen keine aussagekräftigen Daten bezüglich ihrer Verwertung vor. Daher wird das Aufkommen von Marktabfällen zu gleichen Teilen der Kompostierung und der Vergärung zugewiesen. Die Unsicherheit für diese Abfallfraktion wurde dementsprechend groß gewählt.

### P8.28 tierische Abfälle

Dieser Fluss enthält Abfallfraktionen aus der Schlachtung und der Fleischverarbeitung mit dem Ziel der Tierkörperbehandlung. Der anteilige Zufluss dieser beiden Flüsse zur TKV lässt sich aus den Bundesabfallwirtschaftsplänen 2006 und 2009 (BAWP, 2006, 2009) sowie einer Publikation des Umweltbundesamtes über tierische Nebenprodukte ableiten (UBA, 2008).

### P8.30 Heizwertreiche Fraktion MBA

Für mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen wird ein Transferkoeffizient für Phosphor in die Müllverbrennung bzw. in die Deponie mit 43% bzw. 57% angenommen (Skutan und Brunner, 2006).

## 7.2.9 Subsystem Gewässer

### F2.3 Erosion Landwirtschaft

Siehe Subsystem Landwirtschaft – Pflanzenbau.

### F3.7 Erosion Forstwirtschaft

Siehe Subsystem Forstwirtschaft.

### F7.4 Ablauf

Siehe Subsystem Abwasserreinigung.

### F7.5 Direkteinleiter

Siehe Subsystem Abwasserreinigung.

### F9.1 Import Gewässer

Die importierten P-Frachten können aus dem DaNUbe Projekt entnommen werden (Kroiss, 2005). Über die Donau fließen aus Deutschland jährlich 6.500 t P nach Österreich. Da das Einzugsgebiet der Donau 95% der Fläche Österreichs einnimmt, wird diese Fracht für die österreichische Bilanz herangezogen.

### F9.2 Export Gewässer

Neben den Importen aus Deutschland erfolgt ein zusätzlich Phosphoreintrag über die Erosionen aus Landwirtschaft und Forstwirtschaft, sowie Einträge aus der Abwasserreinigung. Daraus errechnet sich eine jährliche Exportfracht über die Donau von 12.000 t P. Laut Projekt DaNUbe (Kroiss, 2005) beläuft sich die



österreichische Fracht auf 4.600 t P, während das Umweltbundesamt von 5.900 t P ausgeht. Die Berechnungen in dieser Bilanz ergibt eine zusätzliche P-Fracht von 4.600 t/Jahr. In den Sedimenten und Uferflächen wird ein P-Lager von ca. 3000 t P angenommen.

## 7.3 Phosphorkonzentrationen

### 7.3.1 Nahrungs- und Futtermittel

<b>Tierische Nahrungsmittel</b>					
<b>Tiere inkl. Knochen</b>	von P in %	bis P in %	<b>Milchprodukte</b>	von P in %	bis P in %
Rind und Kalb	1,00	1,20	Rohmilch	0,09	0,10
Schwein	1,00	1,20	Rohmilch TM	0,69	0,77
Schaf und Ziege	1,00	1,20	Konsummilch	0,09	0,10
Pferd	1,00	1,20	Schlagobers	0,06	0,09
Innereien	0,27	0,34	Butter	0,02	0,02
Geflügel	0,18	0,21	Käse	0,16	0,41
Sonstiges Fleisch	1,00	1,20	Schmelzkäse	0,16	0,41
Eier	0,13	0,20	Voll-, Magermilchpulver	0,71	1,00
Rohmilch	0,09	0,10	Käse	0,54	0,84
Fisch	0,14	0,30	Molke	0,52	0,52
<b>Pflanzliche Nahrungsmittel</b>					
Weichweizen	0,33	0,35	Ölsaaten insgesamt	0,50	0,70
Dinkel	0,33	0,35	Winterraps zur Ölgewinnung	0,50	0,79
Roggen	0,33	0,35	Sommerraps und Rübse	0,00	0,05
Gerste ohne Braugerste	0,33	0,35	Sonnenblumen	0,70	0,70
Hafer	0,33	0,35	Sojabohne	0,48	0,48
Wintergerste	0,33	0,35	Öllein	0,52	0,52
Sommergerste	0,33	0,35	Ölkürbis	0,50	0,70
Körnermais	0,28	0,35	Mohn	0,50	0,70
Triticale	0,33	0,35	Hülsenfrüchte	0,48	0,48
Sommermenggetreide	0,33	0,35	Körnererbsen	0,48	0,48
Wintermenggetreide	0,33	0,35	Ackerbohne	0,52	0,52
Anderes Getreide	0,33	0,35	Wein (Trauben)	0,11	0,11
Reis	0,12	0,22	Obst extensiv/intensiv	0,01	0,01
Hartweizen	0,33	0,35	<b>Nebenproduktion Industrie</b>		
Kartoffel	0,05	0,10	Nebenerz. der Müllerei	0,807	1,295
Ölsaaten insgesamt	0,50	0,70	Nebenerz. der Brauerei	0,15	0,43
Obst gesamt	0,01	0,02	Nebenerz. der Brennerei	0,025	2,073
Tomaten	0,05	0,10	Nebenerz. der Stärkeherstellung	0,12	0,85
Gemüse	0,40	0,55	Nebenerz. der Zuckerherstellung	0,02	0,09
Hülsenfrüchte	0,48	0,48	Nebenerz. der Ölherstellung	0,52	0,67
Wein inkl. Säfte & alkoh. Prod.	0,04	0,04	Verarbeitung von Seetieren	3	4
Zuckerrübe	0,04	0,04	Verarbeitung von Landtieren	2	3
Futterrübe	0,03	0,04	Tierische Fette und Öle	0,02	0,02
Braugerste für Bier	0,33	0,35			
<b>Futtermittel</b>					
Mehrmadige Wiesen	0,41	0,41	Wechselgrünland	0,07	0,29
Kulturweiden	0,41	0,41	sonstiger Feldfutterbau	0,07	0,07
einmadige Wiesen	0,27	0,27	Silomais	0,07	0,09
Hutweiden	0,32	0,32	Grünmais	0,07	0,08
Almen und Bergmähder	0,27	0,27	Futterrübe	0,03	0,04
Rotklee & sonstiger Klee	0,06	0,06	Stroh und Spreu	0,081	0,081
Luzerne	0,06	0,09	Blätter und Köpfe	0,25	0,25
Kleegras	0,06	0,07			

Aus Kroiss et al.(1998) und Zessner und Lampert (2002).



### 7.3.2 Wirtschaftsdünger

Tierart	kg P/Stallplatz/Jahr	Tierart	kg P/Stallplatz/Jahr
<b>Pferde (Einhufer) insgesamt</b>		<b>Schweine insgesamt</b>	
Kleinpferde		Ferkel bis 20 kg	0,9
0.5-3 Jahre	2,0	Jungschweine 20 - 50 kg	1,9
> 3 Jahre plus Fohlen bis 0.5 Jahre	2,3	Mastschweine 50 - 80 kg	1,9
<b>Kleinpferde über 300 kg - Haflinger</b>		Mastschweine 80 - 110 kg	1,9
0.5-3 Jahre	3,8	Mastschweine größer als 110 kg	1,9
>3 Jahre	4,5	Zuchtschweine 50 kg und mehr	
<b>Pferde</b>		Jungsauen, noch nie gedeckt	4,6
0.5-3 Jahre	6,8	Jungsauen, erstmals gedeckt	4,6
> 3 Jahre	8,0	Ältere Sauen, gedeckt	4,6
<b>Rinder insgesamt</b>		Ältere Sauen, nicht gedeckt	4,6
Jungvieh bis unter 1 Jahr		Zuchteber	5,4
Schlachtkälber bis 300 kg	3,1	<b>Schafe insgesamt</b>	
andere Kälber und Jungrinder, männlich	5,9	Mutterschafe und gedeckte Lämmer	1,7
andere Kälber und Jungrinder, weiblich	5,9	andere Schafe	0,9
<b>Jungvieh 1 bis unter 2 Jahre</b>		<b>Ziegen insgesamt</b>	
Stiere und Ochsen	8,6	Ziegen, die bereits gezickelt haben	
Schlachtkalbinnen	8,6	und gedeckte Ziegen	2,0
Nutz- und Zuchtkalbinnen	8,6	andere Ziegen	1,0
<b>Rinder 2 Jahre und älter</b>		<b>Hühner insgesamt</b>	
Stiere und Ochsen	10,8	Küken für Legezwecke, Legehennen, ♀	0,1
Schlachtkalbinnen	11,1	Masthähnchen und -hähnchen	0,1
Nutz- und Zuchtkalbinnen	11,1	<b>Truthühner</b>	
Milchkühe	15,2	<b>sonstiges Geflügel</b>	
andere Kühe	9,3	<b>Zuchtwild</b>	
			2,1

Aus Richtlinie für sachgerechte Düngung (BMLFUW, 2006b)

### 7.3.3 Organische Abfälle

<b>Klärschlamm und Aschen</b>			
	von P in % bis P in %		Quelle
Klärschlamm kommunal	2,50	2,80	Scharf et al., 1997; Aichberger, 1991; ÖWAV Regelblatt 17
Asche kommunaler Klärschlamm	7,50	8,50	Cornel, 2002; Mattenberger et al., 2008
Asche industrieller Klärschlamm	1,00	1,00	Eigene Hochrechnung
<b>Tierische Nebenprodukte</b>			
Tiermehl	5,2	6	Lettner et al., 1998; UBA, 2001
Schlachtabfälle	0,15	0,2	Kroiss et al., 1998
Falltiere			eigene Berechnung (Knochenanteil 15,5 %, Rest Schlachtabfall)
Abfälle Tierverarbeitung	4,5	5	UBA, 2001
Küchen-Speiseabfall Feuchtsubstanz	0,09	0,14	Hoppenheidt et al., 2000
Küchen-Speiseabfall Trockensubstanz	0,3	0,66	Hoppenheidt et al., 1998
<b>Biogenen Abfälle und Kompost</b>			
biogene Abfälle Haushalt	0,10	0,22	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
biogene Abfälle Grüngut	0,10	0,14	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Marktabfälle	0,015	0,03	KGVÖ, o.J.
Eigenkompostierung in Hausgärten	0,1	0,14	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Garten- Parkabfälle, Straßenbegleitgrün	0,096	0,122	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Friedhofsabfälle	0,096	0,122	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Kompost Endprodukt	0,22	0,32	UBA-Deutschland, 2010; ÖPUL, 2000; KGVÖ o.J.
<b>Siedlungsabfälle</b>			
Restmüll	0,78	1,06	Skutan und Brunner, 2006
Altpapier	0,005	0,007	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Altholz	0,013	0,014	Kroiss et al., 1998
Altautos	0,04	0,04	Kroiss et al., 1998
<b>Biogasinput</b>			
Maissilage	0,07	0,09	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Schweinegülle	0,11	0,17	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Rindergülle	0,07	0,11	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Bioabfall	0,10	0,22	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Speisereste	0,09	0,14	Binder et al., 2009; EPEA, 2008
Grassilage	0,13	0,13	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Molke, Permeat	0,03	0,03	Kroiss et al., 1998
Rest	0,07	0,11	Mittelwert aus allen Inputgütern
Rindermist	0,13	0,17	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Sudangras	0,04	0,04	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Pressschnitzel	0,00	0,00	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Zuckerhirse	0,04	0,04	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Luzerne	0,06	0,09	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
Roggensilage	0,13	0,14	ÖPUL, 2000; LFL, 2010
<b>Holzgüter und Energieholz</b>			
Äste und Rinde	0,033	0,044	Kroiss et al., 1998
Stamm und Rinde	0,013	0,014	Kroiss et al., 1998
Wurzeln	0,045	0,063	Kroiss et al., 1998
Blätter/Nadeln	0,07	0,1	Kroiss et al., 1998
Asche BHKW	1,0	1,4	Schiemenz et al., 2010, Petterson, 2008, Demeyer et al., 2000