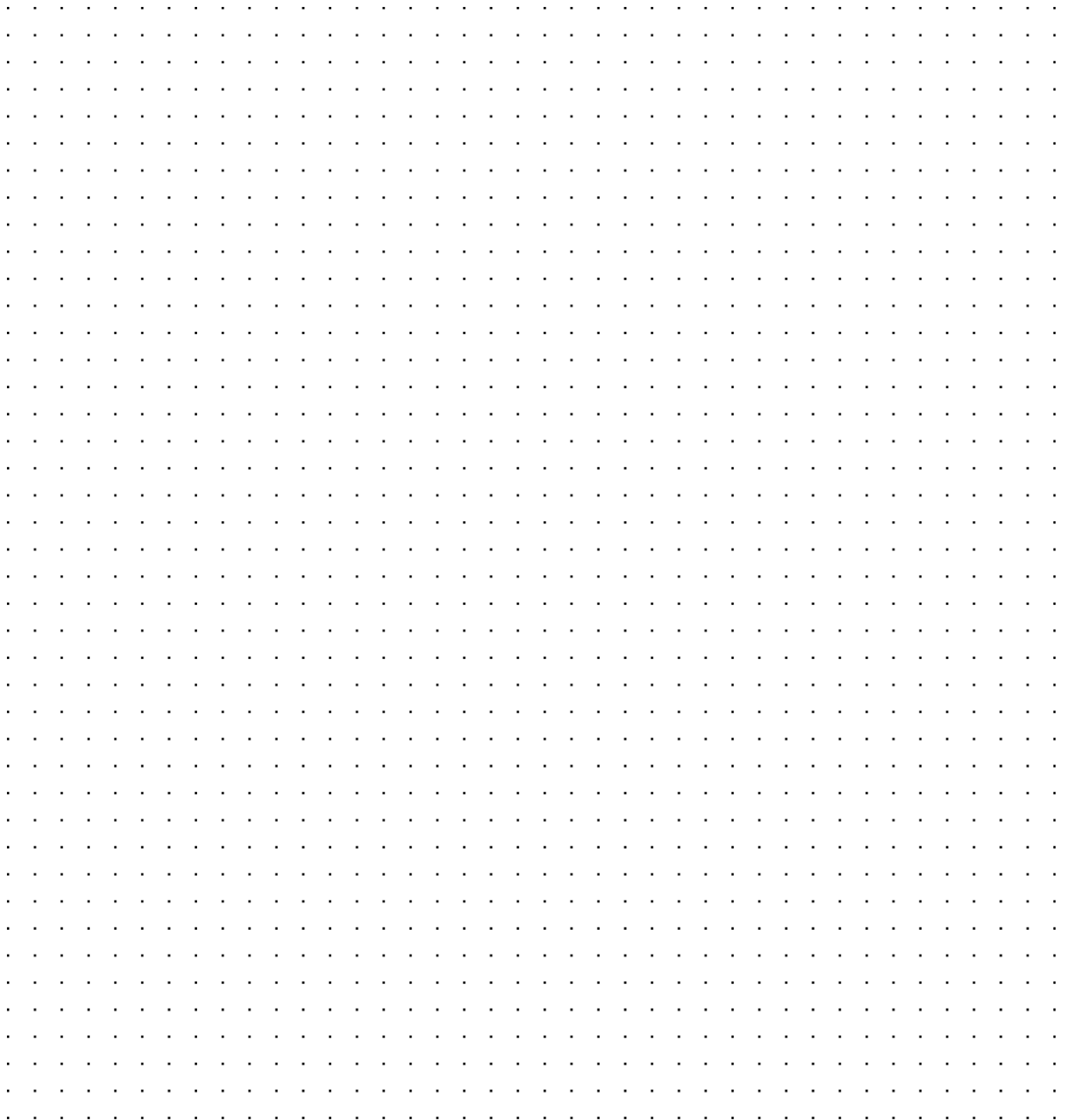


# Angebots- und Nachfragepotenzial mineralischer Recyclingdünger in der Schweiz

---

Modul B: Marktvolumen, Marktpotenzial, Machbarkeit  
14. April, 2016



**Projektteam und Autoren**

Andy Spörri

Isolde Erny

Hans-Christian Angele

Risch Tratschin

Ralf Hermann (Proman Management GmbH)

Ludwig Hermann

**BLW-Begleitung**

Andrea Ulrich

Ernst Basler + Partner AG

Zollikerstrasse 65

8702 Zollikon

Telefon +41 44 395 11 11

info@ebp.ch

www.ebp.ch

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	4
Summary .....	6
Résumé.....	8
Riassunto.....	10
1 Einleitung .....	13
1.1 Ausgangslage .....	13
1.2 Zielsetzungen .....	14
2 Methodik.....	15
2.1 Untersuchungsrahmen .....	15
2.2 Vorgehen .....	16
2.2.1 Analyse des Markts für mineralische Phosphorprodukte.....	17
2.2.2 Angebot-Nachfrage-Matching .....	20
2.2.3 Finanzierungsbedarf und -Instrumente .....	22
2.2.4 Absatzwege .....	23
2.2.5 Hauptherausforderungen und Empfehlungen.....	23
3 Resultate .....	25
3.1 Markt für mineralische Phosphorprodukte .....	25
3.1.1 Heutige Situation .....	25
3.1.2 Zukünftige Entwicklungen .....	29
3.2 Angebot-Nachfrage-Matching.....	32
3.2.1 P-Recyclingprodukte und ihre Eigenschaften .....	32
3.2.2 Beurteilung der Eignung für die Marktsegmente.....	38
3.3 Finanzierungsbedarf und Instrumente .....	42
3.3.1 Potenzielle Mehrkosten einer P-Rückgewinnung.....	42
3.3.2 Finanzierungsinstrumente zur Förderung der Markteinführung .....	47
3.4 Absatzwege.....	51
3.4.1 Direkte Anwendung im Gartenbau und - nach Aufnahme in der Betriebsmittelliste - in der biologischen Landwirtschaft .....	51
3.4.2 Düngerherstellung mit nachfolgender Anwendung im Pflanzenbau .....	52
4 Schlussfolgerungen.....	55
4.1 Synthese.....	55
4.2 Hauptherausforderungen und Empfehlungen .....	57
5 Literatur .....	61

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über Importmengen von P-Produkten in der Schweiz für die Jahre 2012-2014 (inkl. Mittelwert: $\emptyset$ ). .....	26
Abbildung 2: Übersicht über Absatzwege und entsprechenden Mengen der P-Produkte in der Schweiz im Jahr 2013. ....	27
Abbildung 3: Die wichtigsten Akteure entlang der Wertschöpfungskette ab Import bis Endnachfrage. ....	28
Abbildung 4: Übergeordnete Entwicklungen und Faktoren mit Einfluss auf den mineralischen Phosphorbedarf. ....	31
Abbildung 5: Herstellungskosten für P-Recyclingprodukte (blau) im Vergleich zum Einkaufspreis von P-Produkten aus Primärphosphat (grau). Mit Phosphorsäure ist die Qualitätsstufe „merchant grade“ Säure gemeint. ....	42
Abbildung 6: Kosten der heutigen Klärschlamm Entsorgung (grau) und von verschiedenen Recyclinglösungen (blau). MIN und MAX stehen für die minimalen, bzw. maximalen Kosten der Recyclingverfahren. ....	45

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Vorgehensweise der Projektbearbeitung. ....	16
Tabelle 2: Übersicht über die einbezogenen Experten inkl. ihrer Funktion und Expertise....	17
Tabelle 3: Mineralische P-Recyclingprodukte und ihre Nachfrage-beeinflussenden Eigenschaften (Angaben beruhen auf Informationen der Anbieter von Recyclingtechnologien). ....	36
Tabelle 4: Eignungs-Beurteilung der Recyclingprodukte für die fünf Marktsegmente (⊗: ungeeignet, ⊕: Einsatz denkbar, ☺: gut geeignet) inklusive deren Vor- und Nachteile und Angabe der potenziellen Absatzmengen (abgeschätzt über heutige Importmengen). ....	40
Tabelle 5: Politische Instrumente zur finanziellen Förderung von mineralischen P-Recyclingprodukten. ....	48
Tabelle 6: Weitere denkbare politische Instrumente zur Unterstützung der Markteinführung von mineralischen P-Recyclingprodukten. ....	50

---

## Liste der Abkürzungen

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung
DAP	Diammoniumphosphat
DCP	Dicalciumphosphat
DG Agri	Generaldirektion Landwirtschaft und ländliche Entwicklung der Europäischen Kommission
DüBV	Verordnung des Eidgenössischen Departements für Wirtschaft, Bildung und Forschung über das Inverkehrbringen von Düngern
DüV	Düngerverordnung
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FiBL	Forschungsinstitut für biologischen Landbau
FM	Futtermittel
FMV	Futtermittel-Verordnung
KVA	Kehrichtverbrennungsanlage
MAP	Monoammoniumphosphat
MCP	Monocalciumphosphat
MinRec	BLW-Projekt „Mineralische Recyclingdünger“
NP-Dünger	Dünger, die Stickstoff und Phosphor enthalten
NPK-Dünger	Dünger, die Stickstoff, Phosphor und Kalium enthalten
PK-Dünger	Dünger, die Kalium und Phosphor enthalten
REACH-Norm	Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 für die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien
SVA	Schlammverbrennungsanlage
TSP	Triplesuperphosphat
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen

## Zusammenfassung

Die Rückgewinnung von Phosphor (P) aus P-reichen Abfällen (Klärschlamm, Tier- und Knochenmehl) wird in der seit 2016 in Kraft getretenen Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA) mit einer Übergangsfrist von 10 Jahren verbindlich vorgeschrieben. Vor diesem Hintergrund hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) das Projekt „Mineralische Recyclingdünger“ (MinRec) initiiert, das sich mit der Entwicklung rechtlicher Rahmenbedingungen beschäftigt, um die Zulassung von agronomisch sinnvollen Recyclingprodukten als Dünger in Zukunft zu ermöglichen und damit einen weiteren Schritt zur Schliessung des P-Kreislaufs zu leisten.

Um die wirtschaftliche Machbarkeit des P-Recyclings besser zu verstehen, werden in der vorliegenden Studie „Angebots- und Nachfragepotenzial mineralischer Recyclingdünger in der Schweiz“ umsetzungsrelevante, marktbezogene Fragen an der Angebots-Nachfrage-Schnittstelle für P-Produkte untersucht. Basierend auf einer Analyse des Markts für mineralische P-Produkte vom Import bis zum Absatz in verschiedenen Nachfragesegmenten wurden: (i) die von verschiedenen Rückgewinnungstechnologien hergestellten P-Recyclingprodukte hinsichtlich ihrer Eignung für die unterschiedlichen Nachfragesegmente beurteilt, (ii) die vielversprechenden Absatzwege inklusive entsprechenden Vermarktungsargumenten hergeleitet, (iii) allfällige Mehrkosten eines P-Recyclings abgeschätzt und eine Übersicht über mögliche Finanzierungsinstrumente erstellt, und schliesslich (iv) die Hauptherausforderungen für eine erfolgreiche Marktintegration von P-Recyclingprodukten und entsprechende Empfehlungen für die involvierten Akteure dargestellt. Die Bearbeitung des Projekts basiert auf verfügbaren Informationen und Datengrundlagen, welche durch Interviews mit Marktexperten gezielt ergänzt wurden.

Im Jahr 2013 wurden rund 7000 t P in Form verschiedener mineralischer P-Dünger in die Schweiz importiert, weitere 630 t in Form von Futtermitteln und –Zusatzstoffen bzw. 1800 t in Form von P-Säure und weiteren Chemikalien bzw. Produkten. Sämtlicher in der Schweiz verwendete mineralische Phosphor ist importiert. P wurde zum überwiegenden Teil in der konventionellen Landwirtschaft als Dünger (rund 4750 t P) und als Futtermittel (630 t P) verwendet. 2340 t P gelangten als Dünger in den Gartenbau, rund 210 t P in die biologische Landwirtschaft, und weitere 1800 t P in der chemischen Industrie.

Zur Identifikation von Absatzwegen wurden insgesamt acht Recyclingprodukte hinsichtlich ihrer Eignung für fünf Marktsegmente (konventionelle bzw. biologische Landwirtschaft, Gartenbau, Düngerindustrie in der Schweiz bzw. in Europa) systematisch beurteilt. Dabei zeigten sich bedeutende Unterschiede. Während sich keines der Recyclingprodukte für eine direkte Verwendung als Dünger in der konventionellen Landwirtschaft eignet, sind bestimmte Recyclingprodukte (entwässertes Struvit, Mono- und Dicalciumphosphat, Tricalciumphosphat, P-Säure) für den Einsatz in ausgewählten Marktsegmenten aufgrund ihrer Eigenschaften (z.B. citrat- und wenig wasserlöslich) gangbare Alternativen zu den heute eingesetzten Primärprodukten. Aufgrund

---

dieser Resultate sich als vielversprechend erweisende Absatzwege sind die direkte Anwendung als Dünger im Gartenbau und der biologischen Landwirtschaft sowie die Verwendung als Ausgangsmaterial für die Düngerherstellung. So sind entwässertes Struvit und Tricalcophosphat geeignete Substitute für Rohphosphat, welches einerseits im Gartenbau und der biologischen Landwirtschaft als Dünger und andererseits als Ausgangsmaterial für die Europäische Düngerindustrie gut eingesetzt werden kann. Als Ausgangsmaterial für die inländische und europäische Düngerindustrie sehen die Experten für Mono- und Dicalciumphosphat vielversprechendes Absatzpotenzial. P-Säure wiederum wird von der europäischen Düngerindustrie für den Aufschluss von Rohphosphat sowie in der chemischen Industrie verwendet; die entsprechenden Absatzmöglichkeiten hängen vom Reinheitsgrad der P-Säure ab.

Der Vergleich der aktuellen (teilweise geschätzten) Herstellungskosten der Recyclingprodukte mit den Bezugskosten des Handels und der Industrie zeigt, dass die Bezugskosten für Recyclingprodukte über jenen der Primärphosphate liegen, wenn nicht Sekundäreffekte zum Tragen kommen, wie z.B. die Betriebseinsparungen der Bio-P ARA durch Einrichtung der Struvit-Kristallisationsanlagen. Andere Verfahren bringen diese unmittelbaren, lokal wirksamen Sekundäreffekte nicht mit und müssen in einem grösseren Rahmen beurteilt werden. Immerhin verspricht eine Reihe von Verfahren eine geringere Schadstoffbelastung für die Schweizer Böden, eine Entlastung von Deponien und einen wichtigen Schritt in die Kreislaufwirtschaft. Die Recyclingkosten sind mit denjenigen der heutigen Entsorgung in Zementwerken und KVA vergleichbar. Wenn die Recyclingkosten den Entsorgungskosten von Klärschlamm zugerechnet und gleichzeitig die Recyclingstrukturen optimiert werden, kann das P-Recycling bei bestimmten Verfahren gegenüber der heute gängigen Entsorgung sogar zu gesamtwirtschaftlichen Einsparungen führen, im äussersten Fall jedoch geringe Mehrkosten mit sich bringen, wenn man die a priori unwirtschaftlichen Verfahren aussen vor lässt. Eine Finanzierung dieser potenziellen Mehrkosten könnte über eine Erhöhung der Abwassergebühr oder über andere Formen von Staatsabgaben und Steuern gedeckt werden.

Grundsätzlich weisen die Resultate der Studie darauf hin, dass der Markt für mineralische P-Produkte das Potenzial hat, das aus P-reichen Abfällen rückgewonnene P aufzunehmen. Damit kann der P-Kreislauf der Schweiz weitgehend geschlossen werden. Dabei erscheinen aus heutiger Sicht die Verwendung als Dünger im Gartenbau und der biologischen Landwirtschaft und die Verwendung als Ausgangsmaterial für die Herstellung von massgeschneiderten P-Mineraldüngern bei der Lonza in der Schweiz oder in der europäischen Düngerindustrie als die vielversprechendsten Absatzwege.

## Summary

The recovery of phosphorus (P) from P-rich waste (sewage, meat and bone meal) is made mandatory in the Ordinance on Waste Avoidance and Disposal (OWAD) which came into force in 2016 with a transitional period of 10 years. Against this background, the Swiss Federal Office for Agriculture (FOAG) has initiated the project «Mineral Recycled Fertilisers» (MinRec), which is concerned with the development of a legal framework to allow future licensing of agriculturally useful recycled products as fertilisers, thereby taking another step towards closing the P cycle.

In order to gain a better understanding of the economic feasibility of P recycling, this study «Supply and Demand Potential of Mineral Recycled Fertilisers in Switzerland» examines implementation- and market-related questions at the supply-demand interface for P products. Based on a market analysis of mineral P products from import to marketing in a number of demand sectors, (i) P recycled products, manufactured using various recovery technologies, are assessed for their suitability for the different demand sectors; (ii) promising distribution channels, including related marketing arguments, are drawn up; (iii) any additional costs of P recycling are estimated and an overview of possible financial instruments is given; and finally (iv) the main challenges for successful market integration of P recycled products and corresponding recommendations for the actors involved are presented. Conduct of the project is based on available information and base data supplemented by specific interviews with market experts.

In 2013 around 7000 t P were imported into Switzerland in the form of various mineral P fertilisers, a further 630 t in the form of animal feeds and feed additives and 1800 t in the form of phosphoric acid and other chemicals or products. All mineral phosphorus used in Switzerland is imported. By far the most P was used in conventional agriculture as fertiliser (around 4750 t P) and as animal feed (630 t P). 2340 t P was used as fertiliser in horticulture, around 210 t P in organic farming and a further 1800 t P in the chemical industry.

In order to identify distribution channels, a total of eight recycled products were systematically assessed with regard to their suitability for five market sectors (conventional and organic farming, horticulture, the fertiliser industry in Switzerland and in Europe). Notable differences emerged. Although none of the recycled products was suitable for direct use as fertiliser in conventional farming, certain recycled products (dehydrated struvite, mono- and dicalcium phosphate, tricalcium phosphate, phosphoric acid) are viable alternatives to currently used primary products for use in selected market sectors on the basis of their properties (e.g. citrate soluble and slightly water soluble). Based on 5 of these results, promising distribution channels are direct application as fertiliser in horticulture and organic farming and use as source material for



fertiliser production. Thus dehydrated struvite and tricalcium phosphate are suitable substitutes for rock phosphate, which can easily be used firstly as fertiliser in horticulture and organic farming and secondly as source material in the European fertiliser industry. Experts see mono- and dicalcium phosphate as having great marketing potential as a source material for the Swiss and European fertiliser industry. Furthermore, phosphoric acid is used in the European fertiliser industry for preparing rock phosphate and in the chemical industry; the relevant marketing possibilities depend on the degree of purity of the phosphoric acid.

Comparison of current (partially estimated) manufacturing costs of recycled products with the delivery costs of trade and industry shows that the delivery costs of recycled products are higher than those of primary phosphates, if secondary effects such as the operating savings of Bio-P waste water treatment plants (wwtp) by fitting struvite crystallisation apparatus do not bring results. Other processes do not involve these direct, locally applicable secondary effects and have to be assessed in a wider framework. Nevertheless, a number of processes promise lower pollution for Swiss soils, less pressure on landfill sites and an important step in recycling management. The recycling costs are comparable with those of present disposal in cement works and sewage treatment plants. If the recycling costs are added to the disposal costs of sewage and at the same time recycling structures are optimised, phosphorus recycling with certain processes may even lead to macroeconomic savings compared with currently used waste disposal, but at the very worst incur small extra costs if the a priori uneconomic processes are excluded. Financing of these potentially higher costs could be covered by increasing the effluent charge or through other forms of government charges and taxes.

Essentially the results of the study show that the market for mineral P-products has the potential to absorb the phosphorus recovered from P-rich waste. This will go a long way to closing the P-cycle in Switzerland. From the present viewpoint, marketing seems to be as fertiliser in horticulture and organic farming and use as source material for the production of custom-made P mineral fertilisers at Lonza in Switzerland or in the European fertiliser industry.

## Résumé

La récupération du phosphore (P) contenu dans les déchets riches en phosphore (boues d'épuration, farines animales et poudres d'os) est obligatoire en vertu de l'ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED), entrée en vigueur en 2016 avec un délai transitoire de dix ans. Dans ce contexte, l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG) a lancé le projet « engrais de recyclage minéraux », qui porte sur l'élaboration d'un cadre juridique adéquat pour permettre d'homologuer à l'avenir des produits de recyclage pertinents du point de vue agronomique et franchir ainsi une étape supplémentaire pour boucler le cycle du phosphore.

Destinée à faire mieux comprendre la viabilité économique du recyclage du phosphore, la présente étude « Potentiel d'offre et de demande pour des engrais de recyclage minéraux en Suisse » examine diverses questions de mise en œuvre et de marché ayant trait à l'offre et à la demande pour des produits phosphorés. Reposant sur une étude de marché des produits minéraux phosphorés dans divers segments de la demande allant de l'importation à la vente, cette étude s'emploie à (i) évaluer les produits de recyclage issus des diverses technologies de récupération par rapport à leur adéquation aux différents segments de la demande ; (ii) identifier des débouchés prometteurs avec les arguments commerciaux correspondants ; (iii) estimer les surcoûts éventuels du recyclage du phosphore et donner un aperçu des instruments financiers possibles ; et, enfin, (iv) présenter les défis principaux pour réussir à intégrer les produits de recyclage dans le marché et émettre les recommandations correspondantes à l'intention des acteurs concernés. La gestion du projet s'appuie sur les informations disponibles et des bases de données qui ont été complétées de façon ciblée par des entretiens avec des experts de marché.

En 2013, environ 7000 t de phosphore sous la forme de divers engrais minéraux ont été importées en Suisse, plus 630 t sous la forme d'aliments pour animaux et d'additifs pour l'alimentation animale et 1800 t sous la forme d'acide phosphorique et d'autres substances ou produits chimiques. La totalité du phosphore minéral utilisé en Suisse est importé. La plus grande partie a été utilisée dans l'agriculture conventionnelle en tant qu'engrais (environ 4750 t P) et en tant qu'aliment pour animaux (630 t P). Une quantité de 2340 t P a été utilisée dans l'horticulture en tant qu'engrais, une quantité d'environ 210 t P dans l'agriculture biologique et 1800 t dans l'industrie chimique.

Pour identifier des débouchés possibles, huit produits de recyclage ont fait l'objet d'une évaluation systématique par rapport à leur adéquation à cinq segments de marché (agriculture conventionnelle ou biologique, horticulture, industrie des fertilisants en Suisse ou en Europe). Des différences considérables sont apparues. Tandis qu'aucun de ces produits ne se prête à une utilisation directe en tant qu'engrais dans l'agriculture conventionnelle, certains produits de recyclage

(struvite dihydratée, phosphate monocalcique, phosphate dicalcique, phosphate tricalcique, acide phosphorique) présentent les qualités nécessaires (p. ex. soluble dans le citrate et peu soluble dans l'eau) pour une utilisation dans des segments de marché sélectionnés et constituent donc des alternatives viables aux produits primaires utilisés actuellement. Sur la base de ces cinq résultats, l'application directe en tant qu'engrais dans l'horticulture et l'agriculture biologique ainsi que l'utilisation en tant que matériau de base pour la fabrication d'engrais apparaissent comme des débouchés prometteurs. Ainsi, la struvite dihydratée et le phosphate tricalcique constituent des substituts appropriés au phosphate brut, qui peuvent être utilisés d'une part comme engrais dans l'horticulture et l'agriculture biologique et d'autre part comme matériau de base pour l'industrie européenne des fertilisants. Les experts voient un débouché prometteur pour le phosphate monocalcique et le phosphate dicalcique en tant que matériau de base dans l'industrie nationale et européenne des fertilisants. Quant à l'acide phosphorique, il est utilisé dans l'industrie chimique et aussi pour l'extraction de phosphate brut par l'industrie européenne des engrais, les débouchés possibles dépendant du degré de pureté de l'acide phosphorique.

Si l'on compare les coûts de fabrication actuels (en partie estimés) des produits de recyclage avec les coûts d'acquisition dans le commerce et l'industrie, on s'aperçoit que les coûts d'acquisition des produits de recyclage sont supérieurs à ceux des phosphates primaires, sauf si des effets secondaires interviennent, comme les économies réalisées dans les STEP comprenant un système Bio-P grâce à l'aménagement d'installations de cristallisation de la struvite. D'autres procédés ne produisent pas ce type d'effets secondaires immédiats et locaux et doivent donc être évalués dans un cadre plus large. Toutefois, une série de procédés promettent d'amoindrir la pollution des sols suisses en substances nocives et de diminuer les dépôts, constituant de ce fait une étape décisive vers une économie circulaire. Les coûts de recyclage sont comparables à ceux de l'élimination actuelle dans les cimenteries et les UIOM. Si on ajoute aux coûts de recyclage les coûts d'élimination des boues d'épuration et si, parallèlement, on optimise les structures de recyclage, le recyclage du phosphore peut même, avec certains procédés, conduire à des économies générales par rapport à l'élimination usuelle pratiquée actuellement, ou tout au plus occasionner un petit surcoût pour autant que les procédés non rentables soient écartés d'office. Le financement de ces surcoûts potentiels pourrait être assuré par une augmentation des taxes d'épuration ou par d'autres types de contributions publiques ou d'impôts.

Fondamentalement, les résultats de l'étude indiquent que le marché des produits minéraux phosphorés recèle le potentiel d'absorber le phosphore récupéré dans les déchets riches en phosphore. Cela permet de boucler le cycle du phosphore en Suisse. Dans ce contexte, les ventes en tant qu'engrais dans l'horticulture et l'agriculture biologique et l'utilisation comme matériau de base pour la fabrication d'engrais minéraux phosphorés préparés sur mesure par Lonza en Suisse ou par l'industrie européenne des engrais apparaissent à l'heure actuelle comme étant les débouchés les plus prometteurs.

## Riassunto

Il recupero di fosforo (P) da rifiuti ricchi di fosforo (fanghi di depurazione, farine animali e d'ossa) è prescritto in modo vincolante nell'ordinanza sulla prevenzione e lo smaltimento dei rifiuti (OPSR), entrata in vigore nel 2016, con un termine transitorio di 10 anni.

In questo contesto l'Ufficio federale dell'agricoltura (UFAG) ha avviato il progetto "Concimi minerali ottenuti dal riciclaggio" che si occupa dello sviluppo di condizioni quadro giuridiche per consentire, in futuro, l'omologazione di prodotti ottenuti dal riciclaggio utili dal profilo agronomico come concimi e quindi effettuare un ulteriore passo verso la chiusura del ciclo del fosforo.

Per comprendere meglio la fattibilità economica del riciclaggio del fosforo, nel presente studio "Angebots- und Nachfragepotenzial mineralischer Recyclingdünger in der Schweiz" (Potenziale di offerta e di domanda dei concimi minerali ottenuti dal riciclaggio) sono analizzate le questioni rilevanti per l'attuazione, in riferimento al mercato, nell'interfaccia domanda-offerta dei prodotti contenenti fosforo. Sulla base di un'analisi di mercato per prodotti minerali contenenti fosforo, dall'importazione fino alla vendita in diversi segmenti della domanda: (i) è valutata l'idoneità per i differenti segmenti della domanda dei prodotti del riciclaggio contenenti fosforo ottenuti con diverse tecnologie di recupero; (ii) sono individuati promettenti canali di vendita, compresi i relativi argomenti di vendita; (iii) sono stimati eventuali costi supplementari di un riciclaggio del fosforo e viene fornita una panoramica sui possibili strumenti di finanziamento; infine (iv) sono presentate le principali sfide per un'integrazione di mercato efficace dei prodotti ottenuti dal riciclaggio, contenenti fosforo e le relative raccomandazioni per gli attori coinvolti. L'elaborazione del progetto si basa sulle informazioni e le basi di dati disponibili che sono state integrate in maniera mirata mediante interviste a esperti del mercato. Nel 2013 sono state importate in Svizzera circa 7000 tonnellate di fosforo sotto forma di diversi concimi minerali fosforici, altre 630 tonnellate sotto forma di alimenti per animali e additivi e 1800 tonnellate sotto forma di acido fosforico e altre sostanze chimiche o prodotti. Tutto il fosforo minerale utilizzato in Svizzera è importato ed è impiegato prevalentemente nell'agricoltura convenzionale come concime (circa 4750 tonnellate di P) e come alimenti per animali (630 tonnellate di P). 2340 tonnellate di fosforo sono state immesse nell'ortoflorovivaismo come concime, circa 210 tonnellate nell'agricoltura biologica e altre 1800 tonnellate nell'industria chimica.

Per l'identificazione dei canali di vendita è stata valutata sistematicamente l'idoneità complessivamente di otto prodotti del riciclaggio per cinque segmenti di mercato (agricoltura convenzionale e biologica, ortoflorovivaismo, industria dei concimi in Svizzera e in Europa), deducendo differenze significative. Mentre nessun prodotto del riciclaggio è adatto per un utilizzo diretto come concime nell'agricoltura convenzionale, determinati prodotti del riciclaggio (struvite disidratata, fosfato monocalcico e bicalcico, fosfato tricalcico, acido fosforico), grazie alle loro caratteristiche (p.es. solubile in citrato e poco idrosolubile), costituiscono alternative praticabili rispetto ai prodotti primari oggi utilizzati per l'impiego nei segmenti di mercato selezionati. Sulla base

---

di questi risultati, si dimostrano canali di vendita promettenti l'utilizzo diretto come concime nell'ortoflorovivaismo e nell'agricoltura biologica nonché l'impiego come materia prima per la produzione di concimi. Pertanto la struvite disidratata e il fosfato tricalcico sono adeguati sostituti del fosfato grezzo che, da un lato, nell'ortoflorovivaismo e nell'agricoltura biologica può essere impiegato bene come concime e, dall'altro, può essere utilizzato come materia prima per l'industria europea dei concimi. Gli esperti vedono un promettente potenziale di vendita per il fosfato monocalcico e bicalcico come materia prima per l'industria dei concimi indigena ed europea.

L'acido fosforico è invece impiegato dall'industria europea dei concimi per la decomposizione del fosfato grezzo nonché nell'industria chimica; le relative possibilità di vendita dipendono dal grado di purezza dell'acido fosforico.

Il confronto dei costi di produzione attuali (in parte stimati) dei prodotti del riciclaggio con i costi di acquisto del commercio e dell'industria mostra che i costi di acquisto per i prodotti del riciclaggio sono superiori a quelli del fosfato primario se non si realizzano effetti secondari come ad esempio i risparmi aziendali della Bio-P ARA mediante l'allestimento degli impianti di cristallizzazione della struvite. Altre procedure non comportano questi effetti secondari immediati, con effetti a livello locale, e vanno valutate in un più ampio contesto. Una serie di procedure promette un minore carico di sostanze nocive per il suolo svizzero, uno sgravio delle discariche e un importante passo verso l'economia a ciclo chiuso. I costi di riciclaggio sono paragonabili a quelli dell'attuale smaltimento nei cementifici e negli impianti di incenerimento dei rifiuti urbani (IIRU).

Se i costi di riciclaggio sono aggiunti a quelli di smaltimento di fanghi di depurazione e contemporaneamente vengono ottimizzate le strutture per il riciclaggio, in determinati procedimenti, rispetto allo smaltimento attualmente in uso, il riciclaggio del fosforo può addirittura determinare risparmi a livello macroeconomico; in casi estremi tuttavia comporta esigui costi aggiuntivi se si escludono a priori i procedimenti non redditizi. Un finanziamento di questi potenziali costi supplementari potrebbe essere coperto mediante un incremento della tassa sullo smaltimento delle acque di scarico o con altre forme di tasse statali e tributi. In generale i risultati dello studio indicano che il mercato per prodotti contenenti fosforo minerale presenta il potenziale per assorbire il fosforo proveniente dai rifiuti ricchi di fosforo. In tal modo il ciclo del fosforo della Svizzera può essere ampiamente chiuso. Secondo la situazione attuale, è possibile la vendita come concime nell'ortoflorovivaismo e nell'agricoltura biologica e l'impiego come materia prima per la produzione di concimi minerali fosforici su misura presso il gruppo Lonza in Svizzera o nell'industria europea dei concimi.



---

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage

Die Rückgewinnung von Nährstoffen aus erneuerbaren, anthropogenen Quellen ist international wie auch in der Schweiz seit einigen Jahren ein zentrales Thema im Rahmen der Förderung von Kreislaufwirtschaft und nachhaltiger Ressourcennutzung. Quellen sind hauptsächlich kommunale Abwässer, der bei der Reinigung dieser Abwässer in den ARA anfallende Klärschlamm sowie Tier- und Knochenmehl aus der industriellen Fleischverarbeitung. Der darin enthaltene Phosphor (ca. 6'000 t/Jahr) entspricht in etwa derjenigen Phosphormenge, welche der Agrarhandel in Form von Mineraldüngern für die Schweizer Landwirtschaft importiert [1]. Diese Abfälle bergen ein bedeutendes Potenzial zur Schonung begrenzter, natürlicher Ressourcen, zur Reduktion von Umweltbelastungen und Importabhängigkeiten sowie zum Aufbau regional wertschöpfender Recyclingketten. Gegenwärtig werden diese jedoch – aufgrund vergangener umwelt- und gesundheitspolitischen Entscheidungen – in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), Schlammverbrennungsanlagen (SVA) und Zementwerken thermisch verwertet, wodurch dieses Ressourcenpotenzial ungenutzt bleibt.

Die technologischen Bestrebungen zur Rückgewinnung von Phosphor aus den genannten Abfällen sind weit fortgeschritten und es existieren diverse Verfahrensansätze, welche an verschiedenen Stellen bzw. Medien (d.h. Schlammwasser, Klärschlamm, Klärschlammasche) ansetzen. Die Umsetzungsreife vieler Verfahren ist, oder wird voraussichtlich bald erreicht, so dass die technische Machbarkeit einer Verwertung nicht im Wege steht. Auf abfallrechtlicher Seite wurden mit der 2016 in Kraft getretenen Verordnung über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (VVEA) die Rahmenbedingungen für die Phosphorrückgewinnung geschaffen. Art. 15 schreibt die Rückgewinnung von Phosphor aus phosphorreichen Abfällen mit einer Übergangsfrist von 10 Jahren ab 2026 verbindlich vor. Die Definition des entsprechenden Stands der Technik soll in einer Vollzugshilfe geregelt werden. Die heutige Agrarpolitik beschränkt die Nutzung des aus Abfällen zurückgewonnenen Phosphors als Dünger, da die rückgewonnenen Produkte u.a. die bestehenden Schwermetall-Grenzwerte für Recyclingdünger übersteigen. Diese sind in der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) geregelt und wurden auf Basis der Eigenschaften biogener Abfälle (z.B. Kompost) erstellt.

Vor diesem Hintergrund hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) das Projekt „Mineralische Recyclingdünger“ (MinRec) initiiert. Das Projekt beschäftigt sich mit der Entwicklung rechtlicher Rahmenbedingungen, u.a. in der Düngerverordnung (DüV) und ChemRRV, um die Zulassung von agronomisch sinnvollen Recyclingprodukten als Dünger zu ermöglichen und damit die Schadstoffbelastungen im Boden zu senken sowie einen Beitrag zur Schliessung des Schweizer Phosphor-Kreislaufs zu leisten. Zur Erarbeitung von Grundlagen hat das BLW im Rahmen des MinRec-Projekts die Studie „Angebots- und Nachfragepotenzial mineralischer Recyclingdünger in der Schweiz“ ausgeschrieben, die aufzeigen soll, welche Faktoren die nachhaltige Integration

von rückgewonnenem Phosphor in die Düngerherstellung beeinflussen und welche Systemparameter auf Angebots- und Nachfrageseite für die Machbarkeit und zukünftige Wettbewerbsfähigkeit der P-Rückgewinnung entscheidend sind. Die Studie gliedert sich in zwei Teilprojekte bzw. Module, die auf unterschiedliche, jedoch abhängige Aspekte fokussieren, welche das Marktpotenzial von rückgewonnenem P aus sekundären, anthropogenen Quellen beeinflussen. Während das an die ETH Zürich vergebene Modul A auf die Akzeptanz von zurückgewonnenen Recyclingprodukten bei Nachfrageakteuren entlang der Wertschöpfungsketten eingeht, zielt das im vorliegenden Bericht dargestellte Modul B auf die Analyse des Marktpotenzials der Recyclingprodukte ab.

## **1.2 Zielsetzungen**

Um die wirtschaftliche Machbarkeit eines P-Recyclings aus sekundären anthropogenen Quellen (d.h. phosphorreiche Abfälle) auf nationaler Ebene flächendeckend und gesamtsystemisch zu verstehen, sollen im Rahmen des Moduls B umsetzungsrelevante, marktbezogene Fragen an der Angebots-Nachfrage-Schnittstelle entlang der Wertschöpfungsketten untersucht werden.

Entsprechend besteht das übergeordnete Ziel von Modul B darin, ein besseres Verständnis zu gewinnen über:

- das aktuelle und sich abzeichnende Düngemarktvolumen,
- das Marktpotenzial von rückgewonnenem Phosphor, und
- die nachhaltige Umsetzung der VVEA-Recyclingpflicht und ihrer wirtschaftlichen Machbarkeit bezüglich Dünger.

Die Erkenntnisse sollen dem BLW und anderen interessierten Akteuren Orientierungen liefern, um die kurz- bis mittelfristigen Marktchancen von rückgewonnenem P aufzeigen und einordnen zu können. Dabei sollen die Hauptherausforderungen für ein wirtschaftlich machbares P-Recycling identifiziert und entsprechende Empfehlungen zur Unterstützung der Markteinführung erarbeitet werden, damit eine Umsetzung bis 2026 wirtschaftlich bestmöglich realisiert werden kann.

Die Projektbearbeitung orientiert sich dabei an den folgenden spezifischen Zielsetzungen:

- Analyse des heutigen Markts für mineralische Phosphorprodukte und sich abzeichnende Entwicklungen auf der Nachfrageseite.
- Schaffung einer Übersicht über die Recyclingprodukte von Rückgewinnungstechnologien, die für eine Umsetzung in der Schweiz geprüft werden.
- Beurteilung der Eignung der Recyclingprodukte für unterschiedliche Nachfragesegmente und Identifikation von aussichtsreichen Absatzwegen inkl. entsprechenden Kommunikationsgrundlagen.
- Abschätzung von Mehrkosten, die mit einem P-Recycling verbunden sind, und Erstellung einer Übersicht über denkbare Finanzierungsinstrumente.
- Zusammenstellung der Hauptherausforderungen und Empfehlungen für eine erfolgreiche Markteinführung von Recyclingprodukten.



## 2 Methodik

### 2.1 Untersuchungsrahmen

Bevor auf die Arbeitsschritte zur Projektbearbeitung eingegangen wird (vgl. 2.2), wird der Untersuchungsgegenstand bezüglich seiner zentralen Aspekte abgegrenzt:

Raumbezug:	Es wird eine schweizerische Perspektive verfolgt. Zur Analyse Absatzwegen von rückgewonnenen Rohstoffen für die Düngerherstellung wird zusätzlich die europäische Düngerindustrie berücksichtigt.
Zeitlicher Rahmen:	Die Analyse fokussiert auf die gegenwärtige und sich innerhalb der nächsten 10 Jahre abzeichnende Situation des Markts für mineralische P-Produkte.
Phosphorprodukte:	Das Projekt fokussiert auf Produkte, die Phosphor in anorganischer Form enthalten (Rohphosphat, mineralische P-Dünger, mineralische Futtermittelzusätze, Phosphorsäure).
Wertschöpfungsstufen:	<p>Im Fokus des Projekts liegt derjenige Ausschnitt aus den Wertschöpfungsketten, welcher in der Schweiz lokalisiert ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Import von Primärprodukten</li> <li>• Herstellung, Verarbeitung und Handel von Primär- und Recyclingprodukten für den Pflanzenbau und die Tierernährung</li> <li>• Nachfrage nach P-Produkten</li> <li>• Heutige Entsorgungswege für phosphorreiche Abfälle, d.h. thermische Entsorgung in Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), Schlammverbrennungsanlagen (SVA) und Zementwerken</li> </ul> <p>Für die Verwendung von Recyclingprodukten als Ausgangsmaterial für die Düngemittelindustrie wird zusätzlich der Europäische Raum betrachtet.</p>
Mineralische P-Dünger:	Mineralische P-Dünger umfassen sowohl die Phosphatdünger (TSP, PK-Dünger, MAP, DAP), phosphorhaltige Dünger (NPK-Dünger, phosphorreiche Schlacken), sowie Rohphosphat.
Produkte aus der Rückgewinnung:	Die Auswahl an Recyclingprodukten orientiert sich an einem parallel laufenden Mandat für das BAFU. Die dort vorgenommene Auswahl an Rückgewinnungstechnologien mit entsprechenden Produkten wird in der vorliegenden Studie übernommen.
Anwendungsgebiete:	Landwirtschaft/Gartenbau als Dünger und Futtermittelzusatz; Düngemittelindustrie, übrige industrielle Anwendungen.

## 2.2 Vorgehen

Die Projektbearbeitung gliedert sich in drei Module. Die entsprechenden Arbeitsschritte und gewonnenen Hauptkenntnisse zur Beantwortung der Zielsetzungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht über die Vorgehensweise der Projektbearbeitung.

Modul	Arbeitsschritte	Hauptkenntnisse
1 Angebot und Nachfrage	1.1 Analyse des Markts für mineralische Phosphorprodukte	Übersicht über den Markt von mineralischen P-Produkten als Grundlage für die Beurteilung der Marktchancen
2 Analyse des Marktpotenzials	2.1 Angebot-Nachfrage-Matching	Vielversprechenden Segmente für den Absatz von unterschiedlichen P-Recyclingprodukten
	2.2 Finanzierungsbedarf und –Instrumente	Mehrkosten des P-Recyclings und Übersicht über Finanzierungsinstrumente
	2.3 Absatzwege	Denkbare Absatzwege und entsprechende Marketingargumente
3 Machbarkeit	3.1 Hauptherausforderungen und Empfehlungen	Hauptherausforderungen für Markteinführung und Empfehlungen zur Unterstützung

Als Denkmodell für die Durchführung der Marktanalyse orientierten wir uns am „Fünf-Kräfte-Modell“ von Porter, das den Markt aus Sicht von fünf Kräften analysiert: Lieferanten, Kunden, Konkurrenz innerhalb der bestehenden (Dünger-)Anbieter, Konkurrenz durch neue Anbieter, Konkurrenz durch neue Produkte und staatliche Rahmenbedingungen [2].

Zur Ergänzung der verfügbaren Informationen und Datengrundlagen wurde in der Projektbearbeitung in verschiedenen Arbeitsschritten Expertenwissen erhoben (v.a. Arbeitsschritt 1.2, aber auch 1.1). Eine Übersicht über die einbezogenen Experten ist in Tabelle 2 enthalten.

Tabelle 2: Übersicht über die einbezogenen Experten inkl. ihrer Funktion und Expertise.

Organisation	Experte	Expertise
ICL Fertilizers	1 Interview, Geschäftsleitung	Düngerherstellung EU
Lonza	2 Interviews, Geschäfts- bzw. Produktionsleitung	Düngerherstellung CH
Landor/Fenaco	1 Interview, Geschäftsleitung	Grosshandel Landwirtschaft
Hauert	1 Interview, Geschäftsleitung	Handel Gartenbau
FiBL	1 Interview, wissenschaftliche Mitarbeit	Biologische Landwirtschaft
Agroline/Fenaco	1 Interview, Beratung	Grosshandel Landwirtschaft
Agroscope	2 Interviews, wissenschaftliche Mitarbeit	Forschung Landwirtschaft

### 2.2.1 Analyse des Markts für mineralische Phosphorprodukte

Als Grundlage für die Beurteilung der Marktchancen von rückgewonnenem P zielte der erste Schritt darauf ab, eine Übersicht über den aktuellen und sich zukünftig abzeichnenden Markt von mineralischen Phosphorprodukten für die Schweizer Landwirtschaft und den Gartenbau (d.h. Düngemittel und Futtermittelzusatzstoffe) zu schaffen und die bestehenden rechtlichen Grundlagen festzuhalten. Zusätzlich wurde Phosphorsäure berücksichtigt, da diese bei bestimmten P-Recyclingtechnologien als Recyclingprodukt anfällt und damit ein weiteres mineralisches P-Produkt aus Primärquellen darstellt, welches durch die P-Rückgewinnung ersetzt werden könnte.

Im Sinne einer Sekundärmarktforschung basierte dieser Schritt auf bestehenden Datengrundlagen und ergänzenden Experteninterviews zu den folgenden Themenbereichen:

- Importe und inländische Herstellung von mineralischen Phosphorprodukten (Produktionsmengen, Produkttypen).
- Nachfrage nach mineralischen Phosphorprodukten inkl. regionaler Verteilung.
- Segmentierung der Nachfrage nach mineralischen Phosphorprodukten (konventionelle Landwirtschaft und biologische Landwirtschaft, Gartenbau, Hobby, Sportanlagen).
- Künftige Entwicklung von Angebot und Nachfrage.
- Übersicht über die rechtlichen Rahmenbedingungen.

## Heutige Situation

### Importe

Die Importmengen von mineralischen Phosphorprodukten wurden auf Basis der Schweizerischen Aussenhandelsstatistik eruiert. Dies erfolgte über die Auswertung der Importzollanmeldungen der Eidgenössischen Zollverwaltung, welche detaillierte Daten zu Mengen für unterschiedliche Importkategorien umfasst.

Dazu wurden erstens alle Zolltarifnummern bestimmt, unter denen mineralische Phosphorprodukte und Phosphorsäure importiert werden [3]. Für diese Zolltarifnummern wurde anschliessend vom Auftraggeber ein Datensatz der eidgenössischen Oberzolldirektion mit den Importmengen von 2012-2014 mit Angabe der dahinterstehenden Importeure zur Verfügung gestellt [4]. Die importierten Produktmengen wurden über die entsprechenden  $P_2O_5$ -Gehalte<sup>1)</sup> in die importierten Phosphat-Mengen umgerechnet [5], [6]. Zur Charakterisierung der Produkte hinsichtlich ihrer Verwendung wurde zusätzlich die chemische Form des darin enthaltenen Phosphors bestimmt. Die chemische Form ist massgebend für die Wasser- und Citratlöslichkeit und daher für die Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in Düngemitteln [6], [7], sowie auch für die Verfügbarkeit von Futtermittelzusätzen für den tierischen Organismus [8]. Dies ist insofern relevant für die Studie, als dass diese Charakteristiken einen Vergleich mit den konkurrenzierenden P-Recyclingprodukten ermöglichen. Dieses Vorgehen wurde im Projektteam und mit Interviewpartnern besprochen und als zielführend erachtet. Während die in der Aussenhandelsstatistik ausgewiesenen Produktkategorien in den meisten Fällen einen direkten Rückschluss auf die chemische Form des enthaltenen Phosphors zulassen (z.B. Diammonium-Orthophosphat), wurde diese Information für nicht ausreichend spezifizierte Importkategorien (z.B. Mehrnährstoffdünger oder andere) beim grössten Düngemittelhändler in der Schweiz (d.h. Landor) erhoben. Dabei handelt es sich laut Landor um wasserlösliche Phosphate, vorwiegend Triplesuperphosphat. Bei den Futtermittelzusatzstoffen zeigte sich, dass diese einerseits unvermischt importiert werden und damit in den Importzollauswertungen erkenntlich sind. Andererseits werden sie aber auch dem Tierfutter bereits beigemischt importiert. Um diesen P-Fluss zu bestimmen, wurden Daten von Agroscope und der Universität München eingeholt [9].

Für die quantitative Abschätzung der mineralischen P-Flüsse für Anwendungen ausserhalb von Landwirtschaft und Gartenbau wurden Literaturwerte herangezogen [1]. Mit Ausnahmen von Phosphorsäure lassen sich Daten zu mineralischem P, welches in Produkten enthalten ist, nicht ohne weiteres aus Importzollauswertungen ableiten.

---

1) Die Werte zu den  $P_2O_5$ -Gehalten der Düngemittel wurden von der Importzollstatistik 2013 von Agricura übernommen, der  $P_2O_5$ -Gehalt der importierten Phosphorsäure ist in den Importzollangaben enthalten (d.h. 85 Gew.-%), beim Rohphosphat wurde auf gängige Literaturangaben zurückgegriffen. (Quellen sind im Text spezifiziert)

Die mengenmässig wichtigsten Importeure der betrachteten P-Produkte werden namentlich aufgeführt, sofern sie bereits aus anderen Studien bekannt sind.

### **Inländische Produktion, Verarbeitung und Handel**

Informationen zur Produktion, Verarbeitung und Handel von mineralischen Phosphorprodukten im Inland wurden vorwiegend über Interviews mit ausgewählten Experten erhoben (vgl. Tabelle 2), da Angaben dazu fehlen, bzw. für die Projektbearbeitung nicht zugänglich waren.

Es zeigte sich, dass die Schweiz über keine Phosphatlagerstätten verfügt und daher Rohphosphat weder abgebaut, noch zu wasserlöslichen Verbindungen aufgeschlossen wird. Es besteht zudem seit 2000 keine Pflichtlagerhaltung mehr für phosphorhaltige Düngemittel [16] und sonstige Lagerhaltung ist nicht in grösserem Ausmass bekannt. Daher wird angenommen, dass die jährlich importierten Mengen dem jährlichen Verbrauch im Inland entsprechen.

### **Nachfrage**

Für die Analyse der Nachfrageseite wurde vorwiegend auf Wissen und Angaben von Experten zurückgegriffen. Die ursprüngliche Idee, dass die nachgefragte Menge differenziert nach Produkttyp und Regionen für die verschiedenen Marktsegmente aus statistischen Daten abgeleitet werden kann, erwies sich aufgrund des begrenzten zeitlichen Rahmens des Projekts als nicht umsetzbar. Ebenso war es nicht möglich, diese Informationen von den entsprechenden Marktakteuren zu erhalten. Folglich wurde auf die schweizweit nachgefragte Menge nach mineralischen Phosphorprodukten anhand der Importdaten geschlossen (d.h. die entsprechenden Gesamtmengen für Dünger, Futtermittelzusatzstoffe und industrielle Phosphorsäure wurden übernommen). Die Aufteilung dieser Gesamtmengen auf die verschiedenen Marktsegmente (d.h. konventionelle Landwirtschaft, biologische Landwirtschaft, Gartenbau) wurde anhand von Schätzung von Marktakteuren vorgenommen.

### **Segmentierung der Nachfrage**

Aufgrund von Interviews und Literaturdaten wurden die Akteure, die mineralische P-Produkte nachfragen, segmentiert.

### **Rechtliche Rahmenbedingungen**

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für den Einsatz von P in der Landwirtschaft und Düngereproduktion wurden anhand einer Literaturrecherche ermittelt und durch Aussagen von Experten ergänzt.

### **Entwicklungen und Trends auf der Nachfrageseite**

Die Analyse von zukünftigen Entwicklungen der Nachfrage nach mineralischen Phosphorprodukten basierte auf folgender Herangehensweise:

In einem ersten Schritt wurde eine datengestützte Trendextrapolation auf Grundlage der Veränderungen in den vergangenen 3 Jahren vorgenommen, die repräsentativ für die Nachfrage nach

Phosphatdüngemitteln im 21. Jahrhundert sind. Dazu wurden die unter Arbeitsschritt 1.1 erhobenen Importdaten verwendet. Die Interpretation der identifizierten Trends wurde über den Einbezug von Expertenwissen (hauptsächlich Agroscope, FiBL und Landor) vorgenommen (Tabelle 2).

Die datengestützte Trendextrapolation wurde in den Kontext übergeordneter gesellschaftlicher Entwicklungen gestellt, welche mittel- bis langfristig die Menge bzw. die Art der in der Schweiz nachgefragten Phosphorprodukte beeinflussen. Aufgrund des begrenzten Projektrahmens beschränkte sich diese Analyse auf die Identifikation von Einflussfaktoren und einer qualitativen Beschreibung ihrer Wirkung auf die Nachfrage nach Phosphorprodukten. Grundlage für die Identifikation der Einflussfaktoren bildeten der EBP-Trendreport, welcher eine Darstellung von über 60 Entwicklungstrends in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen enthält [10], der Agrarbericht [11] sowie Erfahrungen und Wissen im Projektteam.

### **2.2.2 Angebot-Nachfrage-Matching**

Das Ziel von Arbeitsschritt 2.1 bestand darin, die unterschiedlichen P-Recyclingprodukte hinsichtlich der Produkthanforderungen der identifizierten und weiteren Marktsegmente<sup>2)</sup> zu beurteilen. Damit sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, für welche Marktsegmente welche P-Recyclingprodukte wie gut geeignet sind und damit für einen zukünftigen Absatz in Frage kommen. Als Grundlage dazu wurde erstens eine Übersicht über die denkbaren P-Recyclingprodukte inklusive ihrer Nachfrage-relevanten Charakteristiken erstellt, welche dann anschliessend bei der Beurteilung verwendet wurde.

### **P-Recyclingprodukte und ihre Eigenschaften**

Die Übersicht der Recyclingprodukte und ihre Eigenschaften wurden aus einer parallel bearbeiteten Studie<sup>3)</sup> für das Bundesamt für Umwelt (BAFU) übernommen [12]. Es werden die P-Recyclingprodukte aller jener Rückgewinnungstechnologien berücksichtigt, welche innerhalb der nächsten 5 Jahre für eine Implementierung in der Schweiz aufgrund ihres technologischen Reifegrads in Frage kommen. Die Charakterisierung der P-Recyclingprodukte beinhaltet eine Zusammenstellung der Produkteigenschaften, welche hinsichtlich der Eignung für die Verwendung in den verschiedenen Marktsegmenten massgebend sind. Um zu gewährleisten, dass die für die Marktakteure relevanten Produktcharakteristiken enthalten sind, flossen dabei Erkenntnisse aus Expertengesprächen, die im Rahmen von Arbeitsschritt 1.1 durchgeführt wurden, mit ein. Es

---

2) Die im heutigen Markt identifizierten Marktsegmente wurden ergänzt um weitere Marktsegmente, welche für den zukünftigen Absatz von Recyclingprodukten denkbar sind.

3) Die Studie „Beurteilung von Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung“, die von Ernst Basler + Partner und Proman Management GmbH für das BAFU erstellt wird, umfasst eine gesamtheitliche Beurteilung der mittelfristig realisierbaren Rückgewinnungstechnologien aus den Perspektiven der Nachhaltigkeit und der Realisierbarkeit.

wurden ausschliesslich physikalisch-chemische Eigenschaften berücksichtigt (z.B. Wasser- und Citratlöslichkeit, Schadstoffgehalt).

### **Beurteilung der Eignung für die Marktsegmente**

Die Beurteilung der Eignung der P-Recyclingprodukte für die Marktsegmente wurde anhand von Leitfaden-gestützten Interviews mit Experten aus den jeweiligen Marktsegmenten bzw. aus landwirtschaftlichen Forschungsinstitutionen vorgenommen. Es wurden fünf Marktsegmente berücksichtigt. Drei davon umfassten die im Arbeitsschritt 1.1 ausgewiesenen Marktsegmente (konventionelle Landwirtschaft, biologische Landwirtschaft, Gartenbau). Weil die Recyclingprodukte auch als Ausgangsmaterial für die industrielle Düngerherstellung in Frage kommen, wurden diese um die zwei Marktsegmente „Düngerherstellung CH“ und „Düngerherstellung EU“ ergänzt.

Die Befragung der Experten erfolgte sowohl telefonisch als auch am Workshop, welcher von der ETH Zürich im Rahmen der Arbeiten zum Modul A des Projekts (vgl. 1.1) organisiert und durchgeführt wurde. Insgesamt wurden 10 Interviews mit Experten aus sieben Organisationen geführt (vgl. Tabelle 2).

Dabei standen Fragen zu folgenden Themen im Vordergrund (der detaillierte Interview-Leitfaden ist in Anhang A1 zu finden):

- Beurteilung der Eignung der P-Recyclingprodukte für den Einsatz im jeweiligen Markt- bzw. Nachfragesegment
- Unterschiede zwischen den Recycling- und den vergleichbaren Primärprodukten
- Identifikation von Hemmnissen bzw. Barrieren für den Einsatz der P-Recyclingprodukte

Die Beurteilung der Eignung der P-Recyclingprodukte erfolgte auf einer 3-stufigen Ordinalskala:

- Ungeeignet **(1)**: die chemisch-physikalischen Eigenschaften sind nicht vereinbar mit den Produktanforderungen des jeweiligen Markt- bzw. Nachfragesegments.
- Potenziell geeignet **(2)**: die chemisch-physikalischen Eigenschaften kommen für einen Einsatz grundlegend in Frage; bestehende Hemmnisse sind bewältigbar.
- Geeignet **(3)**: die chemisch-physikalischen Eigenschaften sind mit denjenigen der eingesetzten Primärprodukte vergleichbar.

### 2.2.3 Finanzierungsbedarf und -Instrumente

Um die wirtschaftliche Machbarkeit grob beurteilen zu können, ging es in Arbeitsschritt 2.2 darum, einen möglichen Finanzierungsbedarf für die unterschiedlichen, denkbaren Rückgewinnungsansätze abzuschätzen und einen Überblick über mögliche Instrumente zur Finanzierung der Mehrkosten zu geben.

#### **Abschätzung des Finanzierungsbedarfs**

Für die Abschätzung eines allfälligen Bedarfs zur Finanzierung von Mehrkosten, die mit den Rückgewinnungsansätzen an verschiedenen Stellen in der Wertschöpfungskette verbunden sind, wurden zwei unterschiedliche Perspektiven verfolgt (vergleichbar mit dem Ansatz der Studie zur Phosphorrückgewinnung des Deutschen Umweltbundesamtes [13]).

*Entsorgungskosten:* Kosten (CHF/t TS), welche an verschiedenen Stellen bei der Entsorgung der phosphorreichen Abfälle zukünftig (d.h. Klärschlamm, Tier- und Knochenmehl) im Vergleich zur heutigen Entsorgungspraxis anfallen.

Zur Ermittlung des Finanzierungsbedarfs wurden die Kosten der denkbaren Rückgewinnungsansätze mit denjenigen der heutigen Entsorgungsketten (SVA, KVA, Zementwerk) verglichen. Dabei wurde angestrebt, aktuelle Daten zu den an verschiedenen Stufen anfallenden Entsorgungskosten für Klärschlamm bzw. Tier- und Knochenmehl bei der dafür zuständigen Behörde zu ermitteln. Da diese Daten nicht zur Verfügung gestellt werden konnten, wurden die Kosten zu den heutigen Entsorgungswegen (d.h. Co-Verbrennung in der Kehrichtverbrennungsanlage; Schlammverbrennungsanlage; thermische Verwertung als alternativer Brennstoff/Rohmaterial in Zementwerken) über Literaturwerte angenähert [14]. Obschon bereits vor einiger Zeit erstellt, erscheinen die Daten bei einem Vergleich mit einer aktuellen Erhebung im Kanton Graubünden [15] als gute Näherung. Die Kosten für die zukünftig denkbaren Technologien zur P-Extraktion wurden im Rahmen der bereits angesprochenen Studie fürs BAFU abgeschätzt und für die vorliegende Studie übernommen. Bei der Bestimmung des Kostendeltas zwischen einer zukünftigen Rückgewinnung und der heutigen Klärschlamm-Entsorgung ist zu berücksichtigen, dass (i) bei den am Schlamm bzw. Schlammwasser ansetzenden Rückgewinnungstechnologien der Klärschlamm im Anschluss an die P-Extraktion nach wie vor entsorgt werden muss, bzw. (ii) bei den nach einer thermischen Vorbehandlung (d.h. Verbrennung, Pyrolyse) extrahierenden Technologien entsprechende Vorbehandlungskosten anfallen. Letztere wurden in der vorliegenden Studie über heutige Entsorgungskosten grob genähert.

*Produktkosten:* Mehrkosten (CHF/t Produkt), mit welchen Unternehmen bei der Beschaffung von mineralischen P-Recyclingprodukten im Vergleich zu den entsprechenden Primärprodukten zu rechnen haben, sofern die Mehrkosten nicht von Stakeholdern in der Abwassermanagementkette übernommen werden (→ Haupthindernis bei der Umsetzung einer Kreislaulösung). Auch hier musste bei den Beschaffungskosten für mineralische P-Primärprodukte auf Literaturwerte abgestützt werden ([16], [17], [18]).



## **Übersicht über Finanzierungsinstrumente**

Die Übersicht zu möglichen politischen Instrumenten zur Finanzierung allfälliger Mehrkosten auf der Entsorgungsseite erfolgte auf Grundlage von verfügbarer Literatur [17] und einem Brainstorming-Workshop im erweiterten Projektteam von Ernst Basler + Partner und Proman Management.

Dabei lag der Fokus auf finanzpolitischen Instrumenten, welche entweder die Recyclingprodukte konkurrierenden Primärprodukte verteuern und/oder die Recyclingprodukte über zusätzlich generierte Mittel kompetitiver machen. Diese Übersicht wurde anschliessend noch ergänzt um eine Zusammenstellung von weiteren politischen Instrumenten, welche eine Marktintegration von mineralischen P-Recyclingprodukten unterstützen und fördern bzw. verbindlich vorschreiben.

### **2.2.4 Absatzwege**

Auf Grundlage der in den vorangehenden Arbeitsschritten gewonnenen Erkenntnisse wurden die vielversprechenden Absatzwege für die P-Recyclingprodukte abgeleitet und die zentralen Eckpunkte für eine kommunikative Begleitung und Unterstützung derer Markteinführung vorgeschlagen.

Die Grundvoraussetzung für einen funktionierenden Absatzweg besteht darin, dass die chemisch-physikalischen Eigenschaften der Recyclingprodukte mit den Anforderungen der Nachfrageseite übereinstimmen. Deshalb erfolgte dieser Schritt primär auf Grundlage der Resultate aus Arbeitsschritt 2.1 (Kapitel 0) und berücksichtigte diejenigen Markt- bzw. Nachfragesegmente, für welche die Experten mindestens ein Recyclingprodukt als geeignet erachteten. Des Weiteren flossen Aspekte zur Absatzmenge (Kapitel 3.1) und der Wirtschaftlichkeit (Kapitel 3.3) in die Beschreibung ein.

Bei der Ausarbeitung der Eckpunkte für die Unterstützung der Markteinführung wurden neben allen bisherigen, zusätzlich die uns zugänglichen Erkenntnisse aus Modul A des Projekts mit einbezogen. Hierzu wurden für jeden der vorgängig identifizierten Absatzwege die Zielgruppenspezifischen Kommunikationsziele und –Botschaften erarbeitet.

### **2.2.5 Hauptherausforderungen und Empfehlungen**

Im Sinne einer Gesamtsynthese des vorliegenden Projektes und den Zwischenresultaten aus dem Modul A des Projekts wurden schliesslich die Hauptherausforderungen zusammengefasst, welche für eine erfolgreiche Integration von mineralischen P-Recyclingprodukten in die bestehenden Wertschöpfungsketten zu bewältigen sind. Dies wurde ergänzt um eine Reihe von Handlungsempfehlungen. Diese zeigen auf, in welchen Bereichen welche Art von Anstrengungen und Aktivitäten zu verfolgen sind, um eine betriebs- und volkswirtschaftlich machbare Umsetzung der Rückgewinnungspflicht kurz- und mittelfristig zu unterstützen. Dabei werden die diversen Akteure (z.B. landwirtschaftliche und abfallwirtschaftliche Behörden, Entwickler von Rückgewinnungstechnologien, Händler, Forschungseinrichtungen) berücksichtigt.



## 3 Resultate

### 3.1 Markt für mineralische Phosphorprodukte

#### 3.1.1 Heutige Situation

Die wichtigsten Kennzahlen zum Schweizerischen Markt für mineralische P-Produkte vom Import, über Verarbeitung und Handel bis zur Nachfrage von mineralischen P-Produkten werden im Folgenden beschrieben. Abbildung 1 gibt eine aktuelle Mengenübersicht über die Importseite differenziert nach unterschiedlichen Produkten, während Abbildung 2 die Nachfrageseite beleuchtet, indem die nachgefragten Produktmengen aufgelöst nach Absatzsegmenten illustriert sind.

Im Jahr 2013 wurden für die Verwendung in der Landwirtschaft insgesamt rund 7'000 t mineralischen Phosphors in Form von unterschiedlichen Düngemitteln importiert, weitere 630 t in Form von Futtermitteln und -Zusatzstoffen. Der Import und damit auch die Nachfrage nach P-Mineraldüngern wird dominiert von Tripelsuperphosphat (TSP) in Reinform oder in Form verschiedener Mehrnährstoffdünger, gefolgt von Rohphosphat und Diammoniumphosphat (DAP). Monoammoniumphosphat (MAP) und andere Phosphate werden dagegen nur in sehr geringen Mengen importiert. Die grosse Nachfrage nach TSP und DAP durch die konventionelle Landwirtschaft ist erklärbar durch die hohe P-Konzentration und Wasserlöslichkeit, wodurch sie gut und schnell pflanzenverfügbar sind.

Sämtlicher mineralischer Phosphor, der in der Schweizer Landwirtschaft eingesetzt wird, ist importiert; es gibt weder Rohphosphatabbau, noch eine primäre Düngemittelproduktion (Aufschluss von Rohphosphat zu wasserlöslichen P-Verbindungen) in der Schweiz.

Rohphosphat, das nicht wasserlöslich und nur sehr beschränkt pflanzenverfügbar ist, hat an den gesamthaft verwendeten Phosphordüngern mit 26% einen sehr grossen Anteil. Dies ist insofern bemerkenswert, als dass Rohphosphat nicht in der konventionellen Landwirtschaft eingesetzt wird, sondern nur in den kleineren Nachfragesegmenten von Gartenbau und Bio-Landwirtschaft.

In mineralischen P-Futtermittelzusatzstoffen kommen für den Organismus verfügbare Calciumphosphate zum Einsatz: Dicalciumphosphate, Monocalciumphosphate oder defluoriniertes Phosphat. Mineralische P-Futtermittelzusatzstoffe werden einerseits direkt als Calciumphosphate importiert, andererseits aber auch bereits im Ausland fertigen Futtermischungen beigegeben. Letzterer Anteil ist erheblich, gemäss Berechnungen beträgt er fast 60%.

**MINERALISCHE P-DÜNGER**

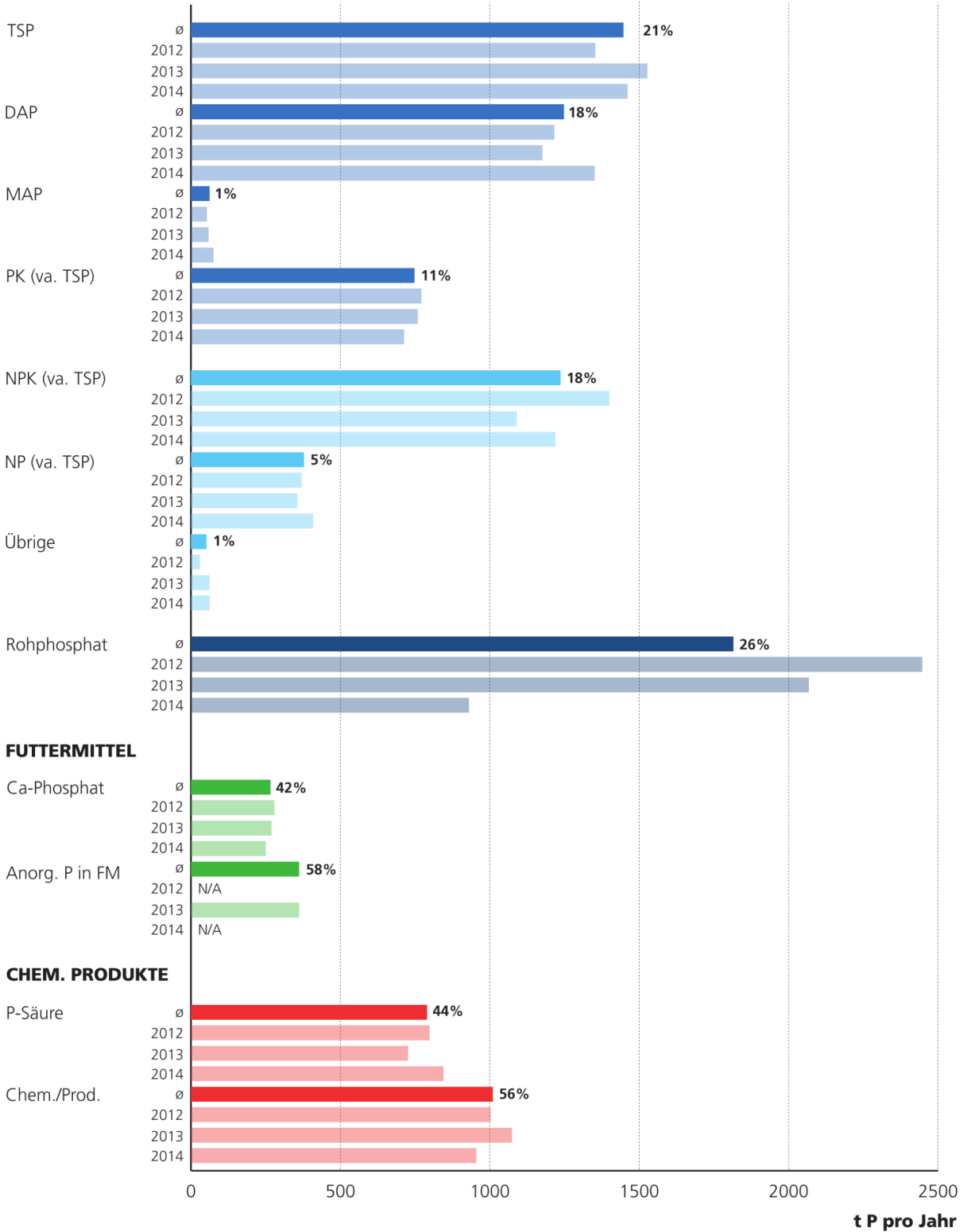


Abbildung 1: Übersicht über Importmengen von P-Produkten in der Schweiz für die Jahre 2012-2014 (inkl. Mittelwert: Ø).

Neben der Verwendung für die Landwirtschaft und den Gartenbau werden weitere mineralische P-Produkte importiert in Form von Chemikalien (Rohstoffe für z.B. die Produktion von Batterien und Pflanzenschutzmitteln) und in Produkten (z.B. Feuerlöschpulver). Gemäss Literaturangaben sind dies jährlich rund 1'800 t P.

#### MINERALISCHE P-DÜNGER (TOTAL: 7095 t pro Jahr)

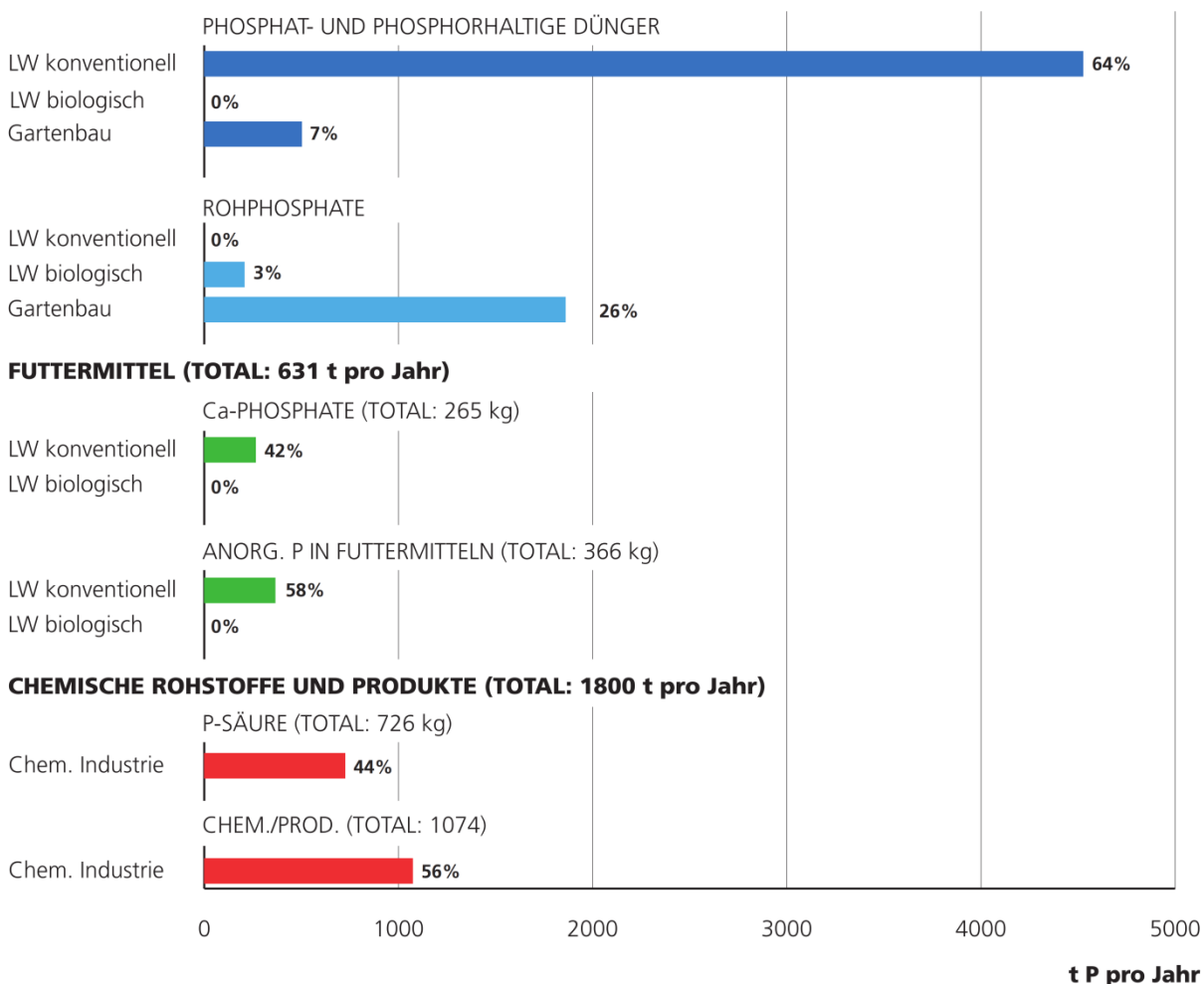


Abbildung 2: Übersicht über Absatzwege und entsprechenden Mengen der P-Produkte in der Schweiz im Jahr 2013.

Die importierten, mineralischen Phosphorprodukte werden in folgenden Marktsegmenten eingesetzt:

- Konventionelle Landwirtschaft (inklusive integrierte Produktion)
  - Dünger im Pflanzenbau (**4754 t P pro Jahr; 50% des P-Gesamtimports bzw. – Nachfrage**)
  - Futtermittel (**366 t P pro Jahr; 4%**) und –Zusatzstoffe (**265 t P pro Jahr; 3%**) in der Tierernährung (**631 t P pro Jahr**)
- Bio-Landwirtschaft: Dünger im Pflanzenbau (**213 t P pro Jahr; 2%**)

- Gartenbau inkl. Bewirtschaftung von Hobby und Sportanlagen (**2341 t P pro Jahr; 25%**)
- Chemische Industrie: Diverse Anwendung in der Industrie, z.B. in der Herstellung von Reinigungsmitteln und Hygieneprodukten, Lebensmitteln und Getränken, etc. (**1800 t P pro Jahr, 19%**)  
(die chemische Industrie wurde hier der Vollständigkeit halber ebenfalls aufgeführt; im weiteren Verlauf dieses Berichts wird darauf jedoch nicht weiter eingegangen; vgl. Kapitel 2.1).

Gemäss Expertenangaben dominiert die konventionelle Landwirtschaft 100% der Nachfrage nach Futtermittelzusatzstoffen und 90% der Nachfrage für Phosphat- und phosphorhaltige Dünger (Rohphosphat ausgenommen). In den Gartenbau gehen die restlichen 10% der Mineraldünger (gemäss Expertenaussagen werden oft dieselben Düngerprodukte wie für die Landwirtschaft verwendet), sowie 90% des importierten Rohphosphats. Die Bio-Landwirtschaft verwendet die restlichen 10% des Rohphosphats.

Die entsprechenden Akteure sind in Abbildung 3 dargestellt. Der wichtigste Hersteller für aufbereitete mineralische P-Dünger für die Schweizer Landwirtschaft ist ICL Fertilizers mit einem vom Projektteam geschätzten Marktanteil von rund 80 Prozent.

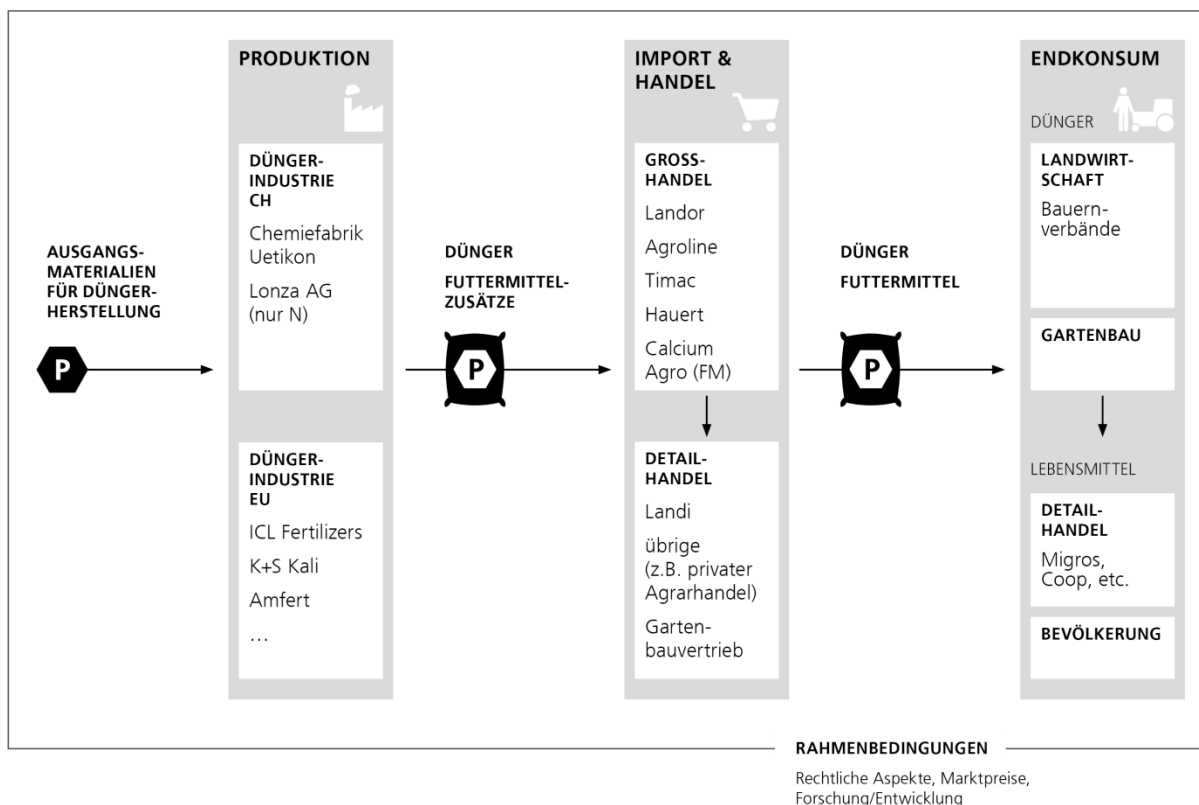


Abbildung 3: Die wichtigsten Akteure entlang der Wertschöpfungskette ab Import bis Endnachfrage.

Der Import von mineralischen P-Düngern (ohne Rohphosphat) wird dominiert von wenigen Großhändlern. Der wichtigste Importeur ist mit 65% die Fenaco; eine Vielzahl an weiteren Importeuren ist gemäß Importstatistik jeweils für weniger als 10% zuständig. Rohphosphat wird

von anderen Akteuren importiert als mineralische P-Dünger; 88% der Importe erfolgen durch drei Gartenbau- und Logistik-Unternehmen. Die wichtigsten Anbieter im Schweizer Gross- und Detailhandel sind Landor, Agroline, Timac Agro und Hauert, sowie landwirtschaftliche Genossenschaften. Die übrigen Akteure sind unabhängige Agrarhändler und Private. Die Akteure, die Futtermittelzusatzstoffe, Futtermittel und Phosphorsäure importieren, verarbeiten und handeln, wurden in dieser Studie nicht näher untersucht.

Die Recherchen zu den Standorten der Akteure waren nicht ergiebig: die meisten mineralischen P-Dünger für die Schweizer Landwirtschaft werden in Basel umgefüllt und abgepackt für die Distribution in die ganze Schweiz. Hauert, welcher einen grossen Anteil der mineralischen P-Dünger für den Gartenbau vertreibt, hat dagegen einen Standort in Grossaffoltern (Kanton Bern). Die Standorte der Händler von Rohphosphat sind nicht bekannt, ebenso wenig die Verteilung der Nachfrage der genannten Abnehmer.

### **3.1.2 Zukünftige Entwicklungen**

Die Verwendung von mineralischem P-Dünger hat im Zeitraum von 2012–2014 leicht abgenommen, während die Verwendung von mineralischen Futtermittelzusätzen konstant blieb. Im Zeitraum von 1990 bis 2013 ist der Verbrauch von mineralischem Phosphordünger (ohne Rohphosphat) um 76 % zurückgegangen [20]. Der grosse Rückgang fand allerdings vor der Jahrtausendwende statt; seither fluktuiert der Verbrauch relativ stark um den heutigen Wert herum und nimmt in der Tendenz nur ganz leicht ab [20]. Die Mengen von Rohphosphat sind über die betrachteten drei Jahre stark eingebrochen, ältere Daten sind nicht bekannt. Keiner der befragten Experten konnte den Rückgang des Bedarfs von Rohphosphat erklären. Der generelle Rückgang an mineralischem P-Düngerbedarf ist dagegen gemäss Agroscope erklärbar durch einen Rückgang von offenen Ackerflächen zugunsten von Wiesenland. Auf Ackerflächen wird in erster Linie mineralischer Dünger angewandt, auf Wiesenland dagegen eher organischer Dünger. Die Daten des Bundesamtes für Statistik (BFS) [21] zeigen, dass der leichte Rückgang landwirtschaftlich genutzter Flächen ein Trend ist, der über die letzten 20 Jahre anhält. Der Verbrauch von mineralischen Phosphaten zur Fütterung ist kurzfristig stabil. Dies ist plausibel, da der Tierbestand zwar rückläufig ist, aber die Leistung pro Vieheinheit sich gleichzeitig tendenziell erhöht. Der Rückgang des Viehbestandes zeigt sich auch in den Daten des BFS [22]: dieser ist in der Schweiz über die letzten 20 Jahren zurückgegangen von 3.97 Mio 1993 auf 3.7 Mio 2013. Dieser Bestandsrückgang dauert bereits seit 1973 an. Im Zeitraum von 1997 bis 2007 ist dagegen die Milchproduktion leicht gestiegen (von 3867 t/Jahr auf 3993 t/Jahr); ebenso die Produktion von Hühnereiern (von 38 auf 39 t) [23].

Die Daten lassen auf einen leichten Trend zum Rückgang des Bedarfs an mineralischen Phosphor für die Schweizer Landwirtschaft schliessen. Die Prognosen der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) sagen im Zeitraum 2014-2018 für Westeuropa eine Zunahme des Bedarfs an mineralischen Phosphor von 0.3% voraus [24]. Abschätzungen über die zukünft-

tige Entwicklung der Nachfrage nach mineralischen Düngemitteln und Futtermittelzusatzstoffen in der Schweiz sind allerdings gemäss Auskunft von verschiedenen Akteuren (u.a. Agroscope) schwierig und die obigen Aussagen – basierend auf den vergangenen drei Jahren – sind entsprechend einzuordnen. Der Grund ist, dass Nachfragentwicklungen von einer Vielzahl schwer vorhersehbarer Entwicklungen in verschiedensten Gesellschaftsbereichen (z.B. Ernährungsgewohnheiten, Agrartechnik und –Politik, Siedlungs- und Raumentwicklung) abhängig sind.

Eine Übersicht über relevante, gesellschaftliche Einflussfaktoren, welche die zukünftige Nachfrage nach mineralischem Phosphor in Düngern und Futtermittelzusatzstoffen beeinflussen, sind in Abbildung 4 dargestellt. Diese Faktoren beeinflussen sich wechselseitig (eine Analyse der Trends einzelner Einflussfaktoren und eine systemdynamische Analyse des Wirkungsgefüges konnte im Rahmen der Studie nicht durchgeführt werden).

Folgende Wirkungsketten sind von grosser Bedeutung für den Bedarf von mineralischem Phosphor in der Landwirtschaft:

- Die Bevölkerungs- und Siedlungsentwicklung geht einher mit steigendem Flächenbedarf: tendenziell werden landwirtschaftlich genutzte Flächen für Ackerbau und Weideland zurückgehen und mit diesen der Bedarf an mineralischen Phosphor-Düngern und Futtermittelzusatzstoffen.
- Fortschritte in der Agrartechnik: Diverse Fortschritte in der Agrartechnik (z.B. Züchtungsfortschritte, verbesserte Anbautechnik) führen zu einem tendenziellen Rückgang des Bedarfs an mineralischen Phosphor pro kg Produkt.
- Eine Zunahme des Umwelt- und Gesundheitsbewusstseins von Konsumenten wirkt sich auf den Nahrungsmittelkonsum einheimischer Produkte aus, den Qualitätsanspruch an Agrarprodukte und den Ernährungsstil breiter Teile der Bevölkerung. Dies wiederum beeinflusst eine Vielzahl weiterer Faktoren wie z.B. den Tierbestand und Produktionsformen. Der gesamthafte Einfluss all dieser Veränderungen auf den mineralischen Phosphor-Bedarf ist ungewiss. So kann z.B. die Umstellung von konventioneller auf Bio-Landwirtschaft den Bedarf senken, während eine Zunahme von Treibhaus-Anbau von Obst und Gemüse den Bedarf steigern könnte.
- Entwicklungen in der Agrarpolitik setzen Massstäbe und Anreize, welche ausgezahlte Direktzahlungen und Deckungsbeiträge, aber auch Produktionsformen und Produktespektren beeinflussen. Diese Anreize können einerseits zum gezielteren Einsatz von Produktionsmitteln und damit zur Senkung des mineralischen Düngerbedarfs beitragen; es ist allerdings auch möglich, dass sie zu einer Steigerung der gesamten landwirtschaftlichen Produktionsmenge der Schweiz inklusive des Tierbestandes führen und damit die Nachfrage nach mineralischen Phosphorprodukten steigern.



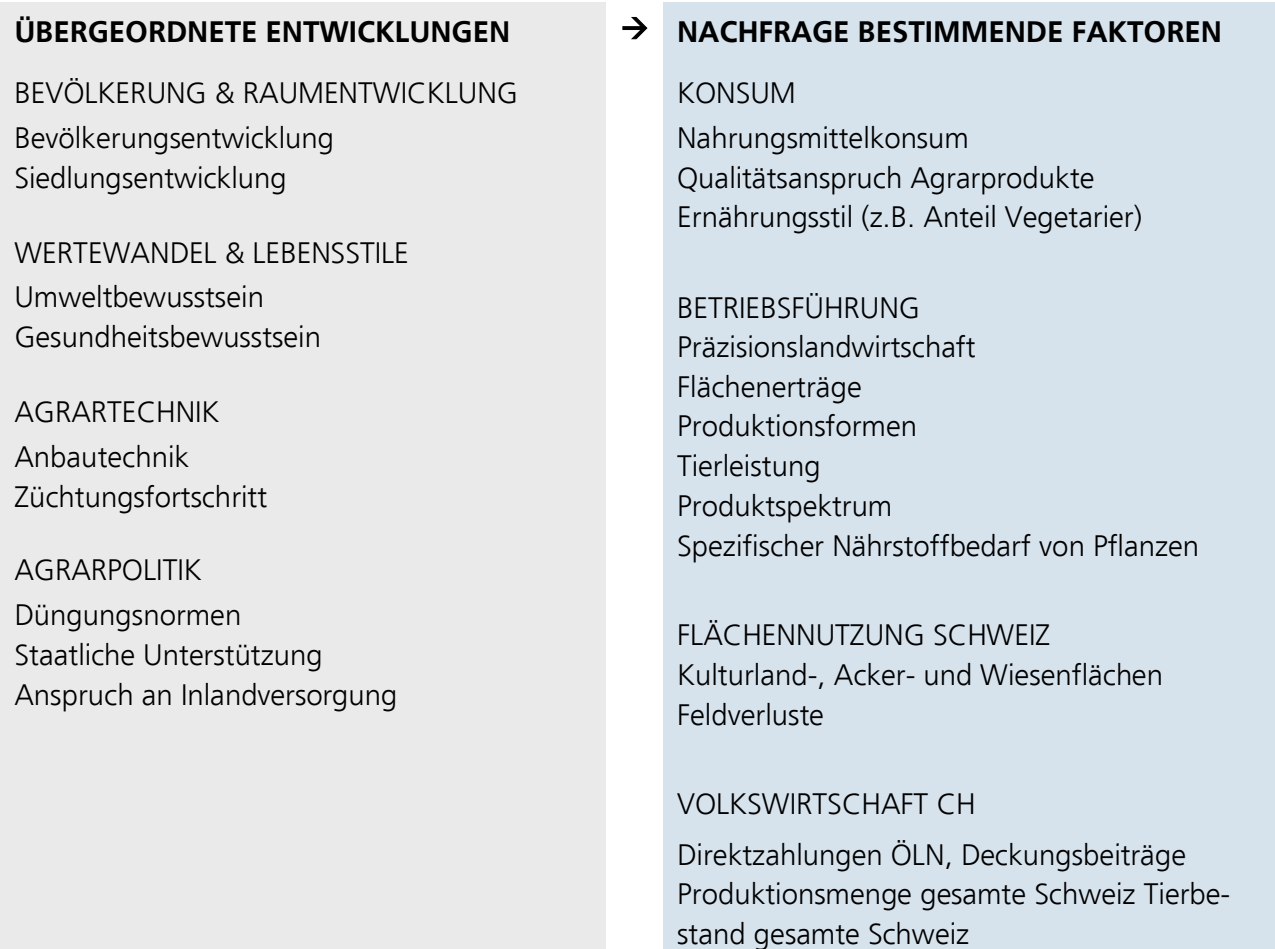


Abbildung 4: *Übergeordnete Entwicklungen und Faktoren mit Einfluss auf den mineralischen Phosphorbedarf.*

Die vorliegenden Einflussfaktoren und Wirkungsketten haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, illustrieren jedoch gesellschaftliche Trends, die aus der Sicht des Projektteams im Zusammenhang mit der Nachfrageentwicklung von mineralischem Phosphor relevant sind. Vieles spricht für einen leichten Rückgang des zukünftigen Verbrauchs von mineralischem Phosphor in der Schweizer Landwirtschaft, die Unsicherheiten sind jedoch gross.

## 3.2 Angebot-Nachfrage-Matching

Zur Einschätzung der zukünftigen Nachfrage von Recyclingprodukten für die charakterisierten Marktsegmente werden die Kriterien beschrieben, welche für die Eignung von Recyclingprodukten aus Sicht der Marktakteure massgebend sind. Anschliessend werden die verfügbaren mineralischen P-Recyclingprodukte charakterisiert. Darauf basiert das anschliessende Angebot-Nachfrage-Matching der Recyclingprodukte mit den Marktsegmenten.

### 3.2.1 P-Recyclingprodukte und ihre Eigenschaften

#### Eignungskriterien für Recyclingdünger

Die Experten in den oben beschriebenen Nachfragesegmenten nannten in Bezug auf Recyclingdünger eine Reihe von Kriterien, die sie berücksichtigen, um die Eignung eines Recyclingproduktes als Dünger zu beurteilen (vgl. INFO-BOX 3 für weiterführende Informationen zur Herstellung von P-Düngern am Ende dieses Unterkapitels). Folgende zentrale Eignungskriterien wurden aufgrund der Experteninterviews identifiziert:

- **Pflanzenverfügbarkeit (vgl. INFO-BOX 1):** Eine gute Pflanzenverfügbarkeit (d.h. hohe Wasser-, oder Citratlöslichkeit) ist für alle Nachfragesegmente erwünscht. Die konventionelle Landwirtschaft bevorzugt wasserlösliche Dünger, im Bio-Landbau dürfen diese dagegen nicht angewandt werden, und beim Gartenbau sind keine Vorgaben oder Präferenzen bekannt. Düngerhersteller streben die grösstmögliche Wasserlöslichkeit von P im Produkt an. ICL Fertilizers kann nicht wasserlösliche Recyclingprodukte verwenden, Lonza dagegen nur begrenzt.

#### **INFO-BOX 1: Pflanzenverfügbarkeit von P-Düngern**

Für die Anwendung von P-Düngern ist die Pflanzenverfügbarkeit des darin enthaltenen Phosphors ein wesentliches Kriterium. Pflanzenverfügbarkeit wird allgemein angegeben durch die Wasser- und Citratlöslichkeit von  $P_2O_5$ . P-Dünger, welche leicht wasserlöslich sind, sind schnell pflanzenverfügbar und werden von konventionellen Landwirten und im Gartenbau geschätzt. Für den Bio-Pflanzenbau sind diese nicht zugelassen (es gibt allerdings keinen Schwellenwert für die Wasserlöslichkeit), aufgrund der erhöhten Auswaschbarkeit aus dem Boden, der mangelnden Förderung des Wurzelwachstums und dem geringen Beitrag zur mikrobiellen Aktivität im Boden. Phosphor-Verbindungen, die zwar schlecht wasserlöslich, aber gut citratlöslich sind, sind ebenfalls gut pflanzenverfügbar, aber tendenziell langsamer, da sie erst in Lösung gebracht werden müssen. Dies geschieht durch Mikroorganismen, die Sekretion von schwachen Säuren durch Pflanzen im Wurzelraum und in sauren Böden durch den Kontakt mit der Bodenmatrix. Solche mineralischen P-Verbindungen entsprechen zwar den Grundsätzen des Bio-Landbaus, sind aber nicht erlaubt. Zurzeit ist gemäss Betriebsmittelliste nur Rohphosphat zugelassen, jedoch werden seitens der Verbände Recyclingdünger im Hinblick auf ihre Eignung für die biologische Landwirtschaft geprüft.

- **Physikalische Form:** Jedes Absatzsegment hat unterschiedliche Anforderungen an die physikalische Form des Düngers. Wenn diese nicht passt, sind zusätzliche Aufbereitungsschritte notwendig, die aufgrund bisheriger Erfahrungen zusätzliche Kosten verursachen können. In der Landwirtschaft ist die Ausbringbarkeit als Dünger wichtig. Konventionelle Landwirte sind meist auf Granulat angewiesen, da sie ihre mineralischen Dünger in dieser Form ausbringen; Biolandwirte sind bezüglich der physikalischen Form von Düngern vergleichsweise flexibel, da sie ohnehin fast nur (nicht granulatförmigen) Hofdünger und Kompost ausbringen. Für den Gartenbau sind keine Anforderungen an die physikalische Form bekannt. In der Düngerherstellung kommt es auf den Prozess an, in den das Recyclingprodukt integriert wird. Für Lonza ist ein pulverförmiges Recyclingprodukt wichtig, ICL Fertilizers kann granuliert oder pulverförmige Stoffe verarbeiten, legt aber Wert auf ein trockenes Recyclingprodukt mit maximal 5% Wassergehalt.
- **Schadstoffgehalt:** Die Recyclingprodukte müssen geltende Schwermetallgrenzwerte einhalten. Ascheprodukte wurden als vertrauenswürdiger bezeichnet als Recyclingprodukte, die ohne Erhitzen aus Klärschlamm gewonnen werden, da die Gewissheit besteht, dass sie keine organischen Schadstoffe enthalten.
- **P-Gehalt im Recyclingprodukt:** Generell ziehen Anwender einen hohen P-Gehalt im Produkt Dünger vor, da dann weniger Fahrten nötig sind, um die benötigte Menge P auszubringen. Düngerhersteller haben entsprechend ein Interesse, möglichst konzentrierte Recyclingprodukte zu verwenden. Lonza gab an, hohe P-Konzentrationen im Recyclingprodukt vorzuziehen, ICL Fertilizers machte dazu keine Aussagen.

Die folgenden weiteren Kriterien wurden von den Marktakteuren für eine erfolgreiche Einführung von Recyclingprodukten in die Marktsegmente als zentral erachtet:

- **Rechtliche Rahmenbedingungen und Normen (vgl. INFO-BOX 2):** Die Kompatibilität der Recyclingprodukte mit geltenden Vorschriften und Normen ist zentral; nicht kompatible Recyclingprodukte kommen nicht in Frage. Ebenfalls wichtig ist der rechtliche Status der Recyclingprodukte als Produkt (idealerweise REACH-zertifiziert).
- **Düngermethode:** Für die direkte Anwendung als Dünger in der Landwirtschaft (konventionell und biologisch) sowie im Gartenbau werden für die Recyclingdünger analog zu gängigen Düngern Düngermethoden benötigt, die deren Einsatz für verschiedene Kultur- und Bodentypen in Abstimmung mit anderen Düngern spezifizieren.

Da sich die rechtlichen Rahmenbedingungen und Normen derzeit in Bezug auf P-Recyclingprodukte in Veränderung befinden und noch nicht absehbar ist, was in Zukunft gelten wird, wird dieses Kriterium zur Beurteilung der Eignung im folgenden Schritt nicht miteinbezogen. Dasselbe gilt für Düngermethoden, welche für mineralische Recyclingdünger bislang noch nicht vorliegen. Beide Kriterien werden daher im Rahmen der abschliessenden Synthese aufgenommen.

**INFO-BOX 2: Die wichtigsten rechtlichen Rahmenbedingungen und Normen**

**Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV), Düngerverordnung (DüV) und Düngerbuchverordnung (DüBV):** Recyclingprodukte, die in der Schweizer Landwirtschaft oder im Gartenbau als Dünger angewendet werden, unterliegen der ChemRRV, der DüV und der DüBV. In Anhang 2.6 der ChemRRV sind die Grenzwerte von organischen Düngern, Recycling- und Hofdüngern sowie von Mineraldüngern und Erzeugnissen aus tierischen Nebenprodukten festgelegt, die für eine Zulassung zwingend einzuhalten sind. Für mineralische Recyclingdünger gibt es derzeit keine Regelung. Grenzwerte für mineralische Recyclingdünger werden bis 2018 erarbeitet (vgl. BLW-Projekt „MinRec“).

**Betriebsmittelliste für den biologischen Landbau:** Nur Dünger, welche in der Betriebsmittelliste aufgeführt sind, dürfen in der biologischen Landwirtschaft angewendet werden. Derzeit sind keine mineralischen Recyclingdünger enthalten [19]. Recyclingprodukte, welche die ab 2018 geltenden, neuen Grenzwerte für mineralische Recyclingdünger einhalten und mit den Grundsätzen des biologischen Landbaus kompatibel sind (z.B. gute Pflanzenverfügbarkeit bei schlechter Wasserlöslichkeit), sind für eine Aufnahme in die Betriebsmittelliste zu prüfen.

**Futtermittel-Verordnung (FMV):** Futtermittelzusatzstoffe werden in der Schweiz durch die Futtermittelverordnung geregelt, wobei mineralische Recycling-Zusatzstoffe nicht geregelt sind. Ob diese geregelt werden und ob Recyclingprodukte aus den heute bekannten Recyclingverfahren eine Chance zur Zulassung haben, ist nicht bekannt.

**REACH-Norm - Verordnung (EG) Nr. 1907/2006:** Beim Export von Recyclingprodukten oder daraus hergestellten Produkten in die EU müssen internationale Normen berücksichtigt werden. REACH ist die englische Abkürzung für Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien. Die Verordnung ist gültig für die Herstellung von chemischen Stoffen in der EU, beziehungsweise deren Import: Es dürfen nur chemische Stoffe in Verkehr gebracht werden, die registriert worden sind, also ein REACH-Zertifikat vorweisen können. Wenn Recyclingprodukte aus der Schweiz in die EU exportiert werden, müssen die Hersteller ein REACH-Zertifikat erlangen. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist für Recycler die Erlangung eines REACH-Zertifikats nicht nur kostspielig, sondern oft auch schwierig, da die Qualität des Recyclingproduktes je nach verarbeitetem Medium und Verfahren sehr schwer kontrollierbar ist.

**Basler Übereinkommen über die Kontrolle der grenzüberschreitenden Verbringung gefährlicher Abfälle und ihrer Entsorgung:** Recyclingprodukte unterliegen grundsätzlich dem Abfallrecht; es sei denn die rezyklierten Stoffe haben ein REACH-Zertifikat für Produkte. Exporte von Abfällen erfordern Bewilligungen der Behörden der Export- Import- und Transitländer. Mit dem Transport müssen speziell registrierte Transporteure beauftragt werden. Zudem müssen die importierenden Düngemittelhersteller eine Bewilligung zur Verwertung von Abfällen erlangen.

### INFO-BOX 3: Herstellung von P-Mineraldüngern

**P-Mineraldüngerherstellung:** Aus dem Aufschluss von Rohphosphat mit Schwefelsäure wird P-Säure hergestellt, die den Ausgangsstoff für Phosphatdünger bildet. Bei NPK-Düngern wird demgegenüber meist Salpetersäure zum Aufschluss verwendet.

**Düngerherstellung mit Recyclingprodukten:** Recyclingprodukte können je nach Form und Pflanzenverfügbarkeit bzw. Wasserlöslichkeit an unterschiedlicher Stelle in der Düngerproduktion eingesetzt oder direkt ausgebracht werden. Wenig lösliche, mit Rohphosphat vergleichbare Tricalciumphosphate können mit Phosphorsäure aufgeschlossen werden. Lösliche Recyclingprodukte können direkt ausgebracht oder mit aus Säure gewonnenen P-Düngern gemischt werden. Bei der Vermischung schliessen geringe Mengen freier P-Säure im mineralischen Produkt das P im Recyclingprodukt auf und machen es teilweise wasserlöslich. Wird Wasserlöslichkeit angestrebt, so ermöglicht eine höhere Wasserlöslichkeit des P-Recyclingproduktes einen höheren Anteil des Recyclingproduktes in der Mischung. Viele Struvite (Magnesium-Ammoniumphosphat), Dicalciumphosphate (DCP) und Mischphosphate (Calcium-Natriumphosphate oder Calcium-Aluminiumphosphate) aus dem Recycling sind gut pflanzenverfügbar, können aber auch durch die Vermischung mit säurehaltigen P-Düngern teilweise wasserlöslich werden. Monocalciumphosphat (MCP) entspricht dem Triple-Superphosphat und ist wasserlöslich. Es braucht nicht weiter aufgeschlossen werden.

Den Aufschluss mit P-Säure kann in der Schweiz kein Unternehmen ohne grössere Infrastrukturinvestitionen durchführen weil es zurzeit weder eine Produktion von Phosphorsäure gibt, noch die Infrastruktur für den Aufschluss. Die Methode der Vermischung könnte dagegen voraussichtlich auch vom N-Düngerhersteller Lonza in der Schweiz durchgeführt werden.

**Herstellung von NP-Düngern in der Schweiz:** Lonza produziert Ammoniumnitrat. Diesem werden Zuschlagstoffe beigemischt, um den N-Gehalt von 34% auf 27,5% zu senken. Recyclingprodukte können die üblichen Zuschlagstoffe ersetzen. Ein Mischungsverhältnis von 1:1 resultiert in einem N-Gehalt von 17%, ähnlich dem N-Gehalt von 18% in Di-Ammoniumphosphat (DAP), ein Mischungsverhältnis von 3:1 ergibt einen N-Gehalt von 11,3%, ähnlich dem N-Gehalt von 11% in Mono-Ammoniumphosphat (MAP). Der P-Gehalt im Mischprodukt hängt vom P-Gehalt im Recyclingstoff ab. Liegt er beispielsweise bei 18%, so erhält man im ersten Fall einen N:P 17:9 Dünger, im zweiten Fall einen N:P 11:12 Dünger. Höhere P-Konzentrationen im Recyclingprodukt erlauben die Herstellung eines breiteren Spektrums an NP-Düngern, mit vorteilhaftem, höherem Gesamtnährstoffgehalt. Das von Lonza verwendete Recyclingprodukt muss aus Sicherheitsgründen frei von organischen Rückständen sein. Die Herstellung eines Mehrnährstoffdüngers aus dem Recyclingprodukt von ASH DEC wurde erfolgreich getestet. Der relativ tiefe P-Gehalt im ASH DEC Produkt limitiert das Marktpotential der so hergestellten Mischdünger. Die maximale Menge Recyclingprodukt ist auch limitiert durch die Granulierbarkeit der entstehenden Mischung.

## Mineralische P-Recyclingprodukte und ihre Eigenschaften

Die unterschiedlichen mineralischen P-Recyclingprodukte mit entsprechenden Angaben zu den wichtigsten Nachfrage-beeinflussenden Eigenschaften sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Folgende Recyclingprodukte könnten gemäss dem technologischen Reifegrad der zugehörigen Rückgewinnungsverfahren in den nächsten 5 Jahren in der Schweiz auf den Markt gelangen: Struvit (Magnesium-Ammoniumphosphat auch als MAP bezeichnet), Monocalciumphosphat (MCP), Dicalciumphosphat (DCP) – auch als Mischphosphat mit Aluminiumphosphaten, Tricalciumphosphat, Calcium-Natriumphosphat, Phosphorsäure und weisser Phosphor. Letzteres Produkt unterscheidet sich stark von allen anderen und liegt aufgrund seines Anwendungsbereichs (Phosphatchemie zur Herstellung von Phosphatverbindungen für nicht landwirtschaftliche Anwendungen) ausserhalb des Interesses der vorliegenden Studie. Daher wird im Folgenden nicht weiter darauf eingegangen.

Tabelle 3: Mineralische P-Recyclingprodukte und ihre Nachfrage-beeinflussenden Eigenschaften (Angaben beruhen auf Informationen der Anbieter von Recyclingtechnologien).

Recyclingprodukt	NPK-Gehalt (Richtwerte)*)	Physikalische Form (Textur)	Wasserlöslichkeit	Citratlöslichkeit	Organische Schadstoffe	Anorganische Schadstoffe
Struvit (MAP) aus Schlammwasser, trocken	6-28-0 (+10 Mg)	Granulat (2-6 mm)	0-2%	> 80%	Sehr gering	Sehr gering
Struvit (MAP) aus Klärschlamm, nass	5-21-0 (+ 7 Mg)	Kristalle	0-2%	> 80%	Mittel	Gering
Dicalciumphosphat (DCP)	0-30-0 bis 0-45-0	Pulver	0-2%	> 90%	0 bis gering	Gering
Monocalciumphosphat (MCP)	0-38-0	Granulat	> 70%	> 90%	0	Sehr hoch
Tricalciumphosphat	0-10-0 bis 0-15-0	Schlacke bzw. Pyrolysekoks	0-2%	> 50%	0	Gering
Calciumnatriumphosphat	0-17-0 (+ 6 S)	Feinkorn	0-2%	> 80%	0	Gering
Phosphorsäure	0-54-0	Flüssig	Gelöst	Gelöst	0	Gering bis sehr gering
Weisser Phosphor	0-100-0	Pulver	-	-	0	Sehr gering

\*) Die Nährstoffgehalte hängen vom Ausgangsstoff und von den Verfahrensparametern ab und können zum Teil erheblich abweichen.

Der Phosphor-Gehalt der Recyclingprodukte variiert stark, weil die Phosphatverbindungen als Mischphosphate vorliegen oder andere Verbindungen die Konzentration der Phosphatverbindungen mindern. Der  $P_2O_5$ -Gehalt liegt zwischen 15 und 54 %, wobei P-Säure den höchsten P-Gehalt hat, gefolgt von DCP. Die physikalische Form der Recyclingprodukte wird ebenfalls angegeben, da sie für einige Anwendungssegmente eine grosse Bedeutung hat. Die Recyclingprodukte können in Form von Pulver, Feinkristallen, Schlacke, oder Feinkorn vorliegen, P-Säure ist flüssig. Die Wasserlöslichkeit ist sehr variabel, die meisten Recyclingprodukte haben einen sehr tiefen Wert von 0-2%, nur MCP ist mit über 70% gut wasserlöslich. Die Citratlöslichkeit ist bei allen Recyclingprodukten gut, am tiefsten ist sie bei Tricalciumphosphat mit über 50%. Für viele Recyclingprodukte sind keine genauen Schadstoffgehalte bekannt, einerseits weil die Technologien derzeit noch im Erprobungsstadium sind, andererseits weil sie vom Schadstoffgehalt des verwendeten Ausgangsmaterials abhängen, der gerade bei Klärschlamm räumlich und zeitlich stark variiert. Die Angaben in Tabelle 3 beziehen sich auf derzeit verfügbare Daten, die vielfach auf Vorserien bzw. Herstellung in Pilotanlagen beruhen. Im Zielkonflikt zwischen einfacher Verfahrensführung, hoher Pflanzenverfügbarkeit und geringem Schadstoffgehalt entscheiden sich manche Anbieter gegen eine Abreicherung der Schadstoffe, so dass im Extremfall alle Schadstoffe des Ausgangsstoffes in das Produkt transferiert werden. Auf Nachfrage des Projektteams gaben viele Technologie-Betreiber an, dass die derzeit herrschenden Grenzwerte für mineralische Dünger eingehalten werden, nicht aber die Grenzwerte für Recyclingdünger. Am Ende werden die Schadstoffgehalte in den Serienprodukten von den gesetzlichen Rahmenbedingungen abhängen, da bei vielen Verfahren die Einhaltung tiefer Grenzwerte möglich aber relativ aufwendig ist.

Die Recyclingprodukte werden nicht wie herkömmliche P-Dünger hergestellt, die zukünftigen Anbieter der Recyclingprodukte sind heute noch nicht Teil des P-Marktes. Aufgrund der Recyclingverfahren können die Recyclingprodukte grob in fünf Kategorien eingeteilt werden. Die erste Kategorie umfasst die Herstellung von Struvit aus Klärschlamm oder Schlammwasser und eignet sich zur dezentralen Anwendung auf ARAs, hat allerdings die in der Schweiz kaum verbreitete biologische Phosphorelimination zur Voraussetzung. Die Technologien haben einen eher geringen Rückgewinnungsgrad von P mit maximal 12%, sie wenden a priori keine Hitzeeinwirkung an, wodurch organische Schadstoffe nicht vernichtet werden, und können kein Tiermehl verwenden [12]. Es gibt allerdings Bestrebungen, vor der Struvit Kristallisation eine chemische oder thermische Hydrolyse anzuwenden, die auch die Hygienisierung des Schlammes zur Folge hätte und den Rückgewinnungsgrad auf maximal 25% erhöhte. Die zweite Kategorie umfasst Rückgewinnungsverfahren aus Schlamm, wobei durch Anwendung von Säuren die Hygienisierung erfolgt und anorganische Schadstoffe entweder nicht gelöst werden (und damit im Reststoff verbleiben) oder durch selektive Fällungsschritte ausgeschieden werden. Die dritte Kategorie basiert entweder auf Pyrolyse oder Schmelze des Schlammes, bei der der Rückstand – Koks oder Schlacke - das Produkt bildet. Bei Pyrolyseverfahren werden Schwermetalle kaum entfernt. Bei Schmelzverfahren erfolgt, aufgrund der hohen Temperaturen, eine effektive Schwermetallab-

scheidung. Bei den Verfahren der vierten und fünften Kategorie werden die Produkte nach der Verbrennung oder Vergasung des Schlammes aus der Asche gewonnen und daher als Ascheprodukte bezeichnet. Die auf Asche basierenden Recyclingverfahren können auch Tiermehl verwerten und haben oft sehr hohe Rückgewinnungsquoten von über 90%. Schmelz-, Verbrennungs- und Vergasungsverfahren eignen sich eher für zentralisierte, grosse Anlagen, z.B. auf dem Gelände grosser ARA, SVA oder bei Zementwerken. Aus Asche können P-Produkte sowohl mit nasschemischen Verfahren (Kategorie 4), als auch mit thermischen Verfahren (Kategorie 5) gewonnen werden. Sie sind immer frei von organischen Schadstoffen, die bei der Verbrennung/Vergasung eliminiert werden. Die Schwermetallabscheidung hängt von der Verfahrensführung ab. Eine weitgehende Entfernung ist mit einigem Aufwand bei allen Verfahren möglich [12].

### 3.2.2 Beurteilung der Eignung für die Marktsegmente

Die Beurteilung der Eignung der Recyclingprodukte für unterschiedliche Anwendungen orientiert sich an fünf Marktsegmenten. Dazu werden die vorgängig identifizierten Marktsegmente (vgl. 3.1.1) um die beiden Marktsegmente der Düngerherstellung im Inland bzw. in Europa ergänzt, da diese potenzielle Absatzwege für Recyclingprodukte darstellen:

- **Konventionelle Landwirtschaft.** Diese verwendet P-Produkte als Dünger welche der Düngerverordnung (DüV), der Düngerbuchverordnung (DüBV) und der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) unterliegen. Die Landwirte verwenden mehrheitlich Düngerprodukte, für die detaillierte Methoden zur Anwendung verfügbar sind und Maschinen, die sich zur Ausbringung von Granulat eignen.
- **Biologische Landwirtschaft.** Diese verwendet P-Produkte als Dünger, welche der DüV, der DüBV, und der ChemRRV unterliegen und auf der Betriebsmittelliste für den biologischen Anbau aufgeführt sind. Die Landwirte verwenden unterschiedliche Technologien zur Ausbringung von Düngern.
- **Gartenbau.** Dieser verwendet P-Produkte als Dünger welche der DüV, der DüBV, und der ChemRRV unterliegen. Die Techniken zur Ausbringung wurden nicht untersucht.
- **Düngerherstellung im Inland.** Diese unterliegt Schweizer Recht mit den oben angeführten Bestimmungen. Produkte für den Schweizer Markt müssen diese Bestimmungen einhalten; in die EU exportierte Produkte unterliegen der REACH-Norm.
- **Düngerherstellung im Ausland.** Diese unterliegt nicht Schweizer Recht, für den Export der Recyclingprodukte ist vom Abgeber entweder die Konformität mit der REACH-Norm zu erlangen, oder eine Exportbewilligung für Abfälle einzuholen. Gemäss aktueller Gesetzeslage gelten Dünger mit mineralischen Nährstoffen in der Schweiz als Recyclingdünger, wenn das nährstoffhaltige Ausgangsmaterial sekundäre (erneuerbare) Stoffe sind, im Gegensatz zu Primärrohstoffen wie Rohphosphat. Diese Recyclingdünger sind bewilligungspflichtig und können nur zugelassen werden, wenn die bestehenden rechtlichen Vorgaben eingehalten werden, insbesondere die Schwermetall-Grenzwerte der ChemRRV. Bewilligungspflichtige Dünger dürfen nur importiert oder in Verkehr gebracht werden, wenn sie eine Zulassung haben.



---



























Die Abnehmersegmente lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen: (1) direkte Verwendung als Düngemittel in der Landwirtschaft (konventionelle und biologische Landwirtschaft) und im Gartenbau, (2) Verwendung in der Düngemittelproduktion (im Inland und im Ausland).

Die Resultate der Eignung der verschiedenen Recyclingprodukte für die betrachteten fünf Marktsegmente sind in Tabelle 4 übersichtlich illustriert.

Auf den ersten Blick fallen Unterschiede zwischen den berücksichtigten Recyclingprodukten auf, was deren Eignung für verschiedene Verwendungszwecke anbelangt. Während die Verwendung von ausgewählten Recyclingprodukten in gewissen Marktsegmenten geeignet und damit potenziell marktfähig erscheint, stimmen die Marktanforderungen bei anderen Segmenten gar nicht mit den Eigenschaften der Recyclingprodukte überein. So zeigen die Beurteilungen der befragten Experten, dass zurzeit keines der aktuell verfügbaren Recyclingprodukte für eine direkte Anwendung als Dünger in der konventionellen Landwirtschaft akzeptiert würde. Dies ist hauptsächlich auf die geringe Wasserlöslichkeit, Probleme bei der Ausbringung aufgrund fehlender oder mangelhafter Granulierung, den im Vergleich zu konventionellen P-Düngern zu geringen P-Gehalt im Produkt und die Schadstoffgehalte der Recyclingprodukte zurückzuführen. Bei den übrigen Marktsegmenten hat die Analyse gezeigt, dass jeweils mindestens eines der Recyclingprodukte den Anforderungen der Nachfrageseite entspricht und damit für eine Anwendung geeignet ist. So werden entwässertes Struvit (MAP) und Tricalciumphosphat als geeignete Substitute für Rohphosphat beurteilt und kommen daher für die direkte Verwendung als Dünger im Gartenbau sowie als Ausgangsmaterial für die Europäische Düngemittelindustrie in Frage. Ebenfalls als geeignet für die Verwendung als Ausgangsmaterial für die inländische und Europäische Düngemittelherstellung werden von den interviewten Marktakteuren die beiden Recyclingprodukte Mono- und Dicalciumphosphat eingestuft. Im Weiteren ist die Europäische Düngemittelindustrie (vgl. Abbildung 3) für den Aufschluss von Rohphosphat auf grosse Mengen an Phosphorsäure angewiesen und bietet daher ein geeignetes und vielversprechendes Nachfragesegment für Phosphorsäure, die im Wege von P-Recycling aus sekundären anthropogenen Quellen hergestellt wird. Vor allem quantitative Unterschiede bestehen auch im Hinblick auf die Verwertung der Recyclingprodukte in der inländischen und der europäischen Düngemittelindustrie. Aufgrund der größeren Verfahrens- und Produktvielfalt der Europäischen Industrie sind die Verwertungsmöglichkeiten breiter, doch bietet auch der inländische Düngerproduzent Lonza eine interessante Option für anorganische Recyclingprodukte. Die auf Grundlage dieses Schritts abgeleiteten, vielversprechenden Absatzwege für Recyclingprodukte werden in Kapitel 3.4 näher beschrieben.

Tabelle 4: Eignungs-Beurteilung der Recyclingprodukte für die fünf Marktsegmente (☹: ungeeignet, ☺: Einsatz denkbar, ☺: gut geeignet) inklusive deren Vor- und Nachteile und Angabe der potenziellen Absatzmengen (abgeschätzt über heutige Importmengen).

	Anwendung als Dünger			Anwendung in Düngerindustrie	
	Landwirtschaft konventionell	Landwirtschaft Bio	Gartenbau*	Inland	EU
Struvit (MAP) aus Schlammwasser, trocken	☹ – Granulat – wenig wasserlöslich	☺ + gut citratlöslich + wenig wasserlöslich + Recyclingprodukt wird bereits eingesetzt	☺ + gut citratlöslich + ein Markenprodukt + Recyclingprodukt wird bereits eingesetzt	☺ + gut pflanzenverfügbar + hoher P-Gehalt – enthält N – nicht pulverförmig	☺ + Recyclingprodukt wird bereits eingesetzt
	50 – 70 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	50 – 70 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr
Struvit (MAP) aus Schlammwasser, feucht	☹ – Wenig wasserlöslich – Nicht granulatförmig (schwer ausbringbar) – Organische Schadstoffe	☹ + Gut citratlöslich – Wenig wasserlöslich – Organische Schadstoffe	☺ + Gut citratlöslich – organische Schadstoffe	☹ – Geringer P-Gehalt – organische Schadstoffe	☹ – Hoher Wassergehalt
	Unbekannt (keine Importe)	0 t P pro Jahr	Unbekannt (keine Importe)	> 5000 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr
Dicalciumphosphat (DCP)	☹ – Wenig wasserlöslich – Nicht granulatförmig (schwer ausstreubar)	☹ + Sehr gut citratlöslich – Wenig wasserlöslich	☺ + Sehr gut citratlöslich – kein Markenprodukt	☺ + Gut pflanzenverfügbar + geeigneter P-Gehalt + Pulverförmig	☺ + Recyclingprodukt wird bereits verwendet
	600 t P pro Jahr (FM)	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr

Mono-calcium-phosphat (MCP)					
	+ Gut wasserlöslich – Nicht granulatförmig – (schwer ausstreubar) hoher Schadstoffgehalt	– Gut wasserlöslich	+ Gut wasserlöslich – Hoher Schadstoffgehalt	+ Gut wasserlöslich + Hoher P-Gehalt + Pulverförmig – Hoher Schadstoffgehalt	+ Gut wasserlöslich + Hoher P-Gehalt
	Unbekannt (keine Importe)	0 t P pro Jahr	Unbekannt (keine Importe)	> 5000 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr
Tricalcium-phosphat					
	– Wenig wasserlöslich – Nicht granulatförmig (schwer ausstreubar)	+ Relativ gut citratlöslich + Schlecht wasserlöslich + Rohphosphat-Substitut	+ Relativ gut citratlöslich + Rohphosphat-Substitut	– Wenig löslich – Geringer P-Gehalt – Nicht pulverförmig	+ Rohphosphat-Substitut
	0 t P pro Jahr	90 – 200 t P pro Jahr	800 – 1800 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr
Calcium-Natrium-phosphat					
	+ Gut wasserlöslich – Wenig citratlöslich	+ Gut wasserlöslich – Wenig citratlöslich	+ Gut citratlöslich – Kein Markenprodukt	+ Gut citratlöslich + Nicht pulverförmig (Feinkorn)	+ Gut citratlöslich – Geringer P-Gehalt – Natrium im Recycling
	60 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	60 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr
Phosphorsäure					
	– Kein Düngemittel	– Kein Düngemittel	– Kein Düngemittel	– Nicht verwertbar	+ P-Säure-Substitut
	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	> 5000 t P pro Jahr
Weisser Phosphor					 
	– Kein Düngemittel	– Kein Düngemittel	– Kein Düngemittel	– N. verwertbar (Dünger) + Rohstoff für Phosphatchemie	– N. verwertbar (Dünger) + Rohstoff für Phosphatchemie
	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	0 t P pro Jahr	0 (> 5000) t P pro Jahr

### 3.3 Finanzierungbedarf und Instrumente

#### 3.3.1 Potenzielle Mehrkosten einer P-Rückgewinnung

##### Vergleich der Produktkosten

Bezogen auf die rückgewonnene Menge Phosphor betragen die Rückgewinnungskosten gemäss Bewertung in P-REX und Experteneinschätzung je nach Verfahren zwischen 0–8 CHF/ kg  $P_2O_5$  [12], [13] (vgl. Abbildung 5).

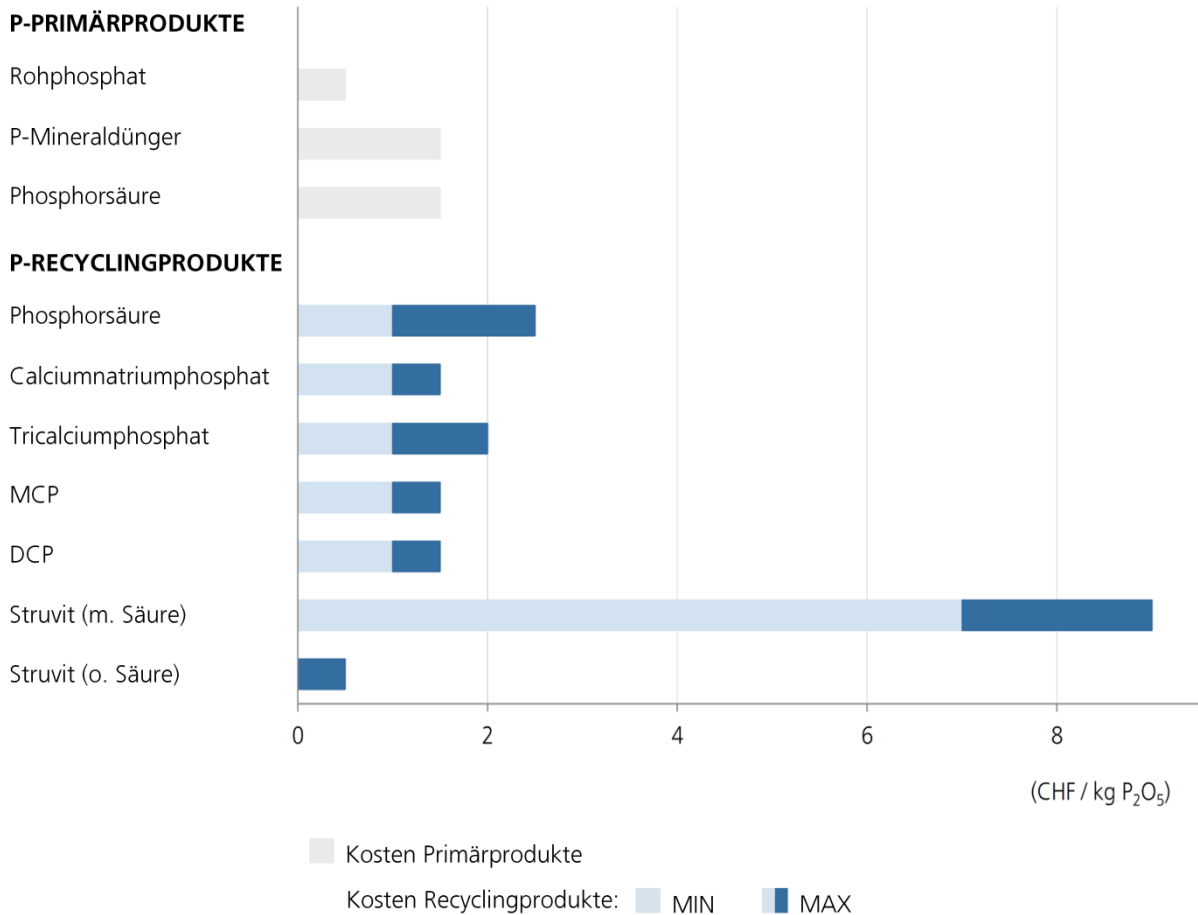


Abbildung 5: Herstellungskosten für P-Recyclingprodukte (blau) im Vergleich zum Einkaufspreis von P-Produkten aus Primärphosphat (grau). Mit Phosphorsäure ist die Qualitätsstufe „merchant grade“ Säure gemeint.

Die Bandbreite der Kosten erklärt sich durch die Vielzahl an unterschiedlichen Technologien mittels derer die Recyclingprodukte hergestellt werden können. Der Extremfall ist Struvit: hier variiert

ren die Kosten zwischen 0<sup>4)</sup> und 8 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, je nach Verfahren. Die übrigen festen Recyclingprodukte kosten alle 1–1.5 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; P-Säure kostet 1–2.5 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Die Bezugskosten für Phosphate aus globalen Primärquellen in der Schweiz liegen derzeit bei rund 0.4–0.5 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> für Rohphosphat und 0.8–0.9 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [26]<sup>5)</sup> für mineralische P-Dünger und Phosphorsäure. Für den Verkauf an die Industrie und den Handel müssten Recyclingprodukte mit diesen Kosten konkurrenzfähig sein, wenn sie nicht andere Wettbewerbsvorteile für sich in Anspruch nehmen können, wie z.B. ein tieferes Schadstoffniveau. Ein solcher Wettbewerbsvorteil wird allerdings nur dann relevant werden, wenn Landwirte bereit sind, für das tiefere Schadstoffniveau mehr zu bezahlen, was aufgrund der Aussagen aus den Interviews und Erfahrungen des Projektteams zurzeit nicht der Fall ist.

Landwirte zahlen am Beginn des Jahres 2016 [18] rund CHF 1.50 je kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (im Schnitt CHF 67.75 je 100 kg Triple Superphosphat mit 46% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [18]) und damit einen Preis, mit dem viele Recyclingprodukte auf den ersten Blick konkurrenzfähig sind. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass in diesem Preis die Kosten für Handling, Verpackung, Transport im Inland, Vertrieb und Beratung enthalten sind. Auf diese Leistungen wird der Landwirt auch beim Kauf von Recyclingprodukten nicht verzichten wollen. Es ist anzunehmen, dass Hersteller von Recyclingprodukten, die direkt an den Landwirt verkaufen wollen, eine Struktur aufbauen müssen, die die oben genannten Serviceleistungen erbringen können, was hohe Investitionen erfordert. Das Beispiel der kanadischen Firma Ostara [27] zeigt, wie eine Vertriebsstruktur für ein Recyclingprodukt (Struvit unter dem Namen „Crystal Green®“) aufgebaut und das Recyclingprodukt erfolgreich vermarktet werden kann. Die Vermarktung des Recyclingproduktes und die Kosten durch die Beratung der Landwirte durch Agraringenieure werden vom Projektteam als erheblich und vergleichbar mit den Verfahrenskosten des Recyclings eingeschätzt<sup>6)</sup>.

Das oben gesagte legt den Schluss nahe, dass sich die Verfahrensanbieter für die eine – Vertrieb über den Handel – oder die andere – Direktvertrieb an den Landwirt – entscheiden und Ihre Strategie dementsprechend ausrichten können. Das ist nicht ganz der Fall. Die Erfahrung zeigt, dass ein junges Unternehmen in Europa kaum Chancen hat, Kapital für Vermarktungsstrategien aufzubringen und dass grosse Unternehmen, auch wenn sie im oder nahe am Düngemittelmarkt tätig sind, massive Investitionen in neue Produkte und Märkte scheuen, sofern die Amortisation der Investition von gesetzlichen Regelungen abhängt. Bekanntermassen haben die Europäischen Gesetzgeber in den letzten Jahren gelegentlich Regelungen und Subventionen eingeführt und wenig später widerrufen, so dass die mit der jeweiligen Regelung verbundenen Investitionen

<sup>4)</sup> In der ARA Berlin, welche Phosphor mittels Bio-P ausfällt, führt die Ausfällung von Struvit zu Einsparungen in der Betriebsführung der ARA, welche die Mehrkosten vollständig kompensieren.

<sup>5)</sup> Die Einkaufspreise für Händler liegen unter den Verkaufspreisen von Düngemitteln, zu denen Landwirte die Dünger erstehen.

<sup>6)</sup> Nach Experteneinschätzung hat Ostara wahrscheinlich den gleichen Betrag in die Vermarktung des Produktes investiert, wie in die Entwicklung des Verfahrens und beschäftigt eine Reihe von Agraringenieuren als landwirtschaftliche Berater, was noch bei keinem Europäischen Anbieter von Recyclingprodukten zu beobachten ist.

abgeschrieben werden mussten. Ein prominentes Beispiel dafür ist Biodiesel aus Europäischen Ölsaaten: zunächst gefördert und nach neuen Erkenntnissen zurückgenommen, was Unternehmen, die auf diese Entwicklung gesetzt hatten, heftige Verluste und Konkurse beschert hat. Dementsprechend hat die im Januar in Rotterdam stattgefundene Veranstaltung zur Kreislaufwirtschaft<sup>7</sup> als eine der Hauptforderungen der Wirtschaft an den Gesetzgeber Glaubwürdigkeit und Planbarkeit hervorgebracht.

Der Vergleich der aktuellen, teilweise geschätzten, Herstellungskosten der Recyclingprodukte mit den gültigen Bezugskosten des Handels und der Industrie zeigt, dass die Bezugskosten für Recyclingprodukte über jenen der Primärphosphate liegen, wenn nicht Sekundäreffekte zum Tragen kommen, wie z.B. die Betriebseinsparungen der Bio-P ARA durch Einrichtung der Struvit-Kristallisationsanlagen. Andere Verfahren bringen diese unmittelbaren, lokal wirksamen Sekundäreffekte nicht mit und müssen in einem grösseren Rahmen beurteilt werden. Immerhin verspricht eine Reihe von Verfahren eine geringere Schadstoffbelastung für die Schweizer Böden, eine Entlastung von Deponien und einen wichtigen Schritt in die Kreislaufwirtschaft, die von Experten und Politikern als Königsweg in eine weniger rohstoffintensive Zukunft gesehen wird. In diesem Zusammenhang wird die Frage zu diskutieren sein, ob P-Recycling nicht als hoheitliche Aufgabe, ähnlich wie die Abwasserreinigung, zu betrachten sein wird und daher die geringfügigen Mehrkosten über die Abwassergebühren eingebracht werden sollen.

Die Experteninterviews sowie die bereits vorliegenden Erkenntnisse aus dem Modul A „Akzeptanzanalyse“ haben gezeigt, dass Landwirte bereit sind, für Recyclingprodukte ähnliche Preise zu akzeptieren, als für die gängigen Primärprodukte. Voraussetzungen hierfür sind jedoch, dass (i) eine mit Primärprodukten vergleichbare Düngungswirkung nachgewiesen ist, und (ii) die Recyclingdünger gesetzlich für den Bestimmungszweck zugelassen sind. Diese Erkenntnis stützt die Annahme, dass Industrie und Handel mittelfristig ebenfalls Preise akzeptieren werden, die mit den oben angeführten, globalen Bezugskosten vergleichbar sind. Diese gilt jedoch nur, wenn auch die Qualität der Recyclingprodukte – insbesondere im Hinblick auf ihre Verarbeitung mit den etablierten Prozessen – der Qualität der Primärstoffe entspricht. Dabei stehen sowohl die Gleichförmigkeit (Nährstoffgehalt, Korngrößen) und die Staubbelastung der Sekundärstoffe im Vergleich zu den Primärphosphaten in der Kritik, als auch die mit – aus Schlamm gewonnenen - Sekundärphosphaten verbundenen Risiken durch Pathogene und andere organische Substanzen. Um Erlöse auf dem Niveau der Bezugskosten von Handel und Industrie zu erzielen, werden Anbieter von Recyclingprodukten auch die oben genannten Herausforderungen in ihre Entwicklungsziele aufnehmen müssen. Alternativ bieten sich in diesem Bereich aber auch Marktchancen für technische Dienstleistungsunternehmen, die diese Leistungen erbringen und aus einer Vielzahl von unterschiedlichen Recyclingstoffen ein homogenes Recyclingprodukt herstellen. Erste

---

<sup>7</sup> Unwrapping the Packager – Towards a Circular Economy in Europe, January 25-26, 2016

Bestrebungen in diese Richtung sind dem Projektteam aus den Niederlanden und Deutschland bekannt.

### Vergleich der Entsorgungskosten

Heute werden, nach der Datenlage des BAFU, über 40% des Klärschlammes zu rund 750 CHF/ t TS in SVA verbrannt, je knapp 30% in Zementwerken zu 608 CHF/t TS und in KVA zu 802 CHF/t TS. Die anteilmässigen Durchschnittskosten der heutigen Klärschlamm Entsorgung liegen folglich bei knapp 730 CHF/ t Trockensubstanz (TS). Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der Entsorgungskosten für Klärschlamm ohne und mit Phosphor-Recycling.

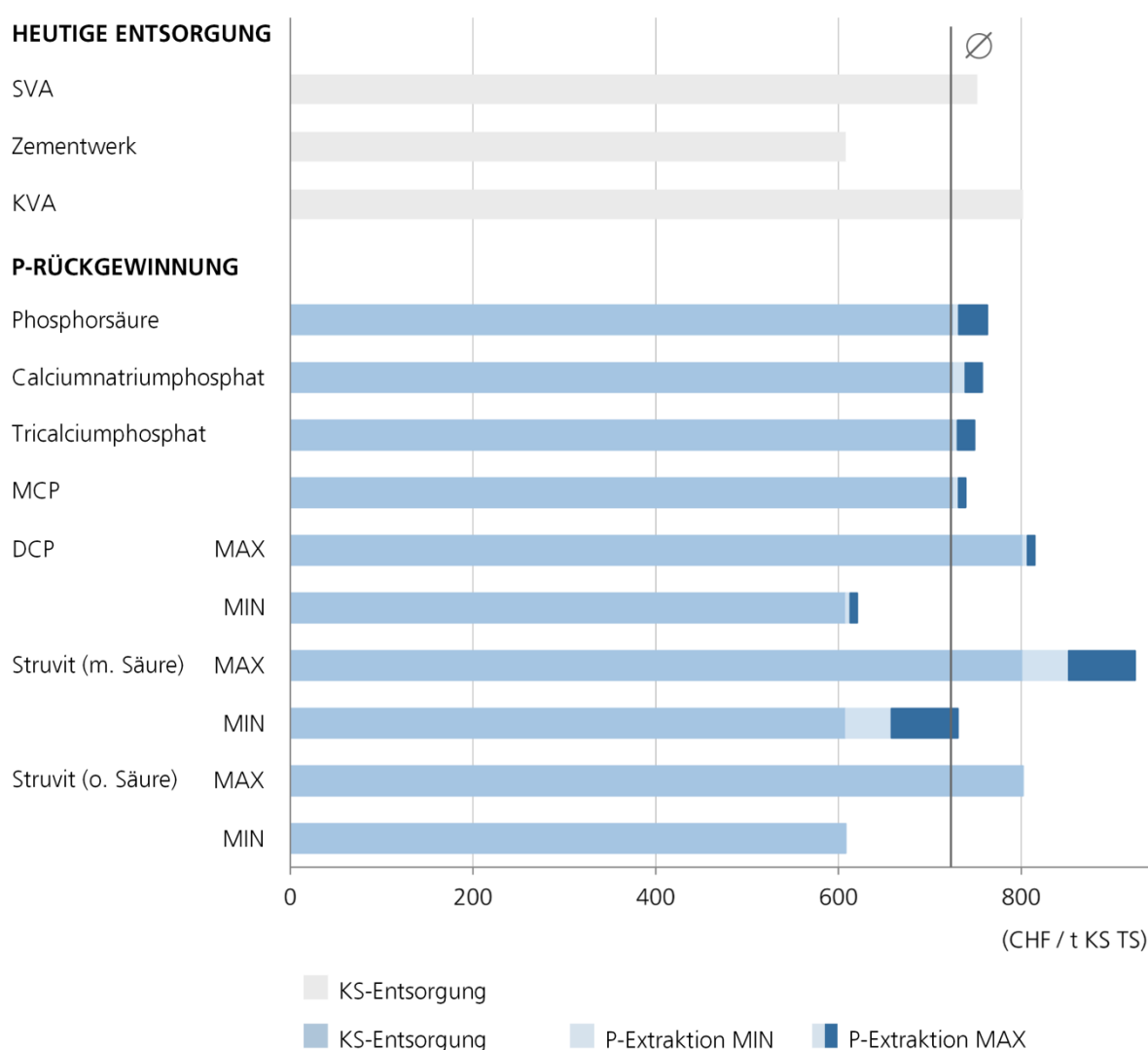


Abbildung 6: Kosten der heutigen Klärschlamm Entsorgung (grau) und von verschiedenen Recyclinglösungen (blau). MIN und MAX stehen für die minimalen, bzw. maximalen Kosten der Recyclingverfahren.

Wenn die Recyclingkosten den Entsorgungskosten von Klärschlamm zugerechnet und gleichzeitig die Entsorgungsstrukturen optimiert werden, kann die Einführung der Phosphorrückgewinnung je nach Verfahren gegenüber den heute gängigen Entsorgungsverfahren auch zu gesamtwirtschaftlichen Einsparungen führen, im äussersten Fall jedoch eine Verteuerung von 2-3% mit sich bringen, wenn man die a priori unwirtschaftlichen Verfahren bei dieser Betrachtung aussen vor lässt. Die Kosten einer dem Stand der Technik entsprechenden Monoverbrennung liegen deutlich unter den Kosten heutiger, gemischter Entsorgungswege, wie die Berechnungen des Kantons Zürich zeigen<sup>8</sup>. Man kann daher davon ausgehen, dass selbst unter der Annahme von Mehrkosten für P-Recycling in Höhe von 0.5–1.0 CHF/ kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> im Verbund mit einer Modernisierung der Anlagenstruktur und einer Optimierung der Entsorgungswege Entsorgungskosten eingespart werden, auch wenn dazu Investitionen erforderlich sind.

**Erzielbare Produkterlöse.** Aus den Experteninterviews und Zwischenresultaten von Modul A geht hervor, dass konventionelle Landwirte, wie auch Bio-Landwirte und Akteure im Gartenbau bereit sind, für Recyclingprodukte bei gleicher Qualität gleich viel zu zahlen wie für konventionelle Dünger. Bio-Landwirte und Akteure im Gartenbau haben allenfalls eine leicht erhöhte Zahlungsbereitschaft, wie der Fall der ARA Berlin zeigt, die einen Teil des produzierten Struvits gut als Dünger vermarkten kann. Düngerhersteller haben dagegen, gemäss Expertenaussagen, eine geringere Zahlungsbereitschaft für Recyclingprodukte als für vergleichbare Produkte aus Primärquellen. Der erzielbare Preis liegt bei 10-30 %, allenfalls 50% vom Marktpreis – hauptsächlich aufgrund der bereits genannten Probleme bzw. aufgrund von Mehrkosten bei der Verarbeitung von Recyclingphosphaten, auch wenn – laut Informationen des Projektteams – einige europäische Hersteller den Imagegewinn bereits erkannt haben, der mit der Verarbeitung von Recyclingprodukten einhergehen kann.

Sofern die EU den mit der Pressemitteilung vom 17.03.2016, „Circular Economy: New Regulation to boost the use of organic and waste-based fertilizers“ angekündigten Kurs einhält und tatsächlich stufenweise die Grenzwerte für Cadmium auf 60 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 40 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und 20 mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, ist auch eine Annäherung bei den Schadstoffgrenzwerten auf tieferem Niveau zu erwarten. In der revidierten EU Düngemittelverordnung sind auch Grenzwerte für die anderen, relevanten Schwermetalle vorgesehen, die insbesondere für Recyclingdünger maßgeblich sind (Arsen, Blei, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink). In Konsequenz würden die mässige Verteuerung von Primärphosphat infolge der Qualitätsverbesserung durch tiefere Cadmium-Gehalte, die Wettbewerbsfähigkeit von Sekundärphosphaten mit gleichfalls tiefen Schwermetallgehalten verbessern und ein relevanter Beitrag zur langfristigen Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit geleistet.

---

<sup>8</sup> [http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/abfall\\_rohstoffe\\_altlasten/abfall/siedlungsabfaelle/klaerschlamm.html](http://www.awel.zh.ch/internet/audirektion/awel/de/abfall_rohstoffe_altlasten/abfall/siedlungsabfaelle/klaerschlamm.html)



Zusammenfassend kann aus den dieser Studie zugrunde liegenden Recherchen geschlossen werden, dass die Verpflichtung zum P-Recycling weder eine relevante Belastung der Schweizerischen Wirtschaft, noch der Landwirte nach sich ziehen muss, wenn die Potentiale gehoben werden, die in der Abwasserwirtschaft, vor allem in der Schlamm Entsorgung und in den noch in der Frühphase der Entwicklung stehenden Verfahren zum P-Recycling stecken. In der Anfangsphase können politische Instrumente die zügige Umsetzung und den reibungslosen Übergang in das Zeitalter der Nutzung der bisher vernachlässigten Nährstoffe befördern.

### **3.3.2 Finanzierungsinstrumente zur Förderung der Markteinführung**

Begrenzt man den Bezugsrahmen auf rein marktwirtschaftliche Gesichtspunkte, kann zurzeit kein Recyclingphosphat die unmittelbaren Produktionskosten erwirtschaften und ist erst durch Sekundäreffekte ein ausgeglichenes oder sogar positives Ergebnis möglich. Wenn der Sekundäreffekt unmittelbar auf der ARA eintritt, wie bei der Implementierung von Struvit Kristallisation, dann geht die Rechnung auf und das Verfahren wird umgesetzt. Wenn der Sekundäreffekt nicht unmittelbar auf der ARA eintritt, wie bei der seit 2015 eingeführten Schlamm Entsorgung durch Monoverbrennung im Kanton Zürich, dann erscheint P-Recycling als Belastung. Der Sekundäreffekt, dass das neue Konzept deutliche Einsparungen für die betroffenen Bürger mit sich gebracht hat, wird nicht mehr als Beitrag zur Kostendeckung des P-Recycling angerechnet obwohl man dies mit der gleichen Berechtigung tun könnte, als die Betriebskostenvorteile auf der ARA durch Struvit Kristallisation. Aus dieser Betrachtung wird deutlich, dass der Bezugsrahmen entscheidend für die Bilanz ist.

Im Rahmen eines erweiterten Bezugsrahmens sind zur gezielten finanziellen Förderung der Markteinführung von mineralischen P-Recyclingprodukten verschiedene politische Finanzierungsinstrumente denkbar. Diese sind in Tabelle 5 zusammengestellt und beschrieben.

Tabelle 5: Politische Instrumente zur finanziellen Förderung von mineralischen P-Recyclingprodukten.

Instrument	Beschreibung und Grobbeurteilung
Lenkungsabgabe	<p><b>Allgemein:</b> Staatliche Abgabe mit dem Ziel, das Verhalten der Beitragenden in eine bestimmte Richtung zu lenken (Lenkungsabgabe); Einnahmen werden zweckgebunden zur Lenkung eingesetzt.</p> <p><b>Wirkungsart:</b> Verteuerung der Dünger aus Primärrohstoffen und Förderung der Wirtschaftlichkeit der Recyclingprodukte</p> <p><b>Umsetzungsvariante:</b> Erhebung einer Lenkungsabgabe beim Import von Primärprodukten mit bedeutendem P-Gehalt; Verwendung der Einnahmen zur (Co-)Finanzierung von Investitionen in Rückgewinnungstechnologien oder zur „Verbilligung“ von Recyclingprodukten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Doppelter finanzieller Anreiz zur Beschaffung von P-Recyclingprodukten durch Verteuerung von Primärprodukten bei gleichzeitiger Förderung der Recyclingprodukte</li> <li>+ Bedeutende Lenkungswirkung durch Ansatz beim Import</li> <li>– Umsetzungsaufwand</li> <li>– Auswahl bzw. Festlegung der besteuerten Produkte</li> <li>– Opposition von Düngemittelindustrie und Landwirtschaft</li> <li>– Massnahme verliert mit abnehmendem Import an Wirkung</li> </ul>
Kausalabgabe	<p><b>Allgemein:</b> Öffentliche Abgabe an das Gemeinwesen, um vom Staat eine gewisse Gegenleistung zu erhalten.</p> <p><b>Art der Wirkung:</b> Förderung der Wirtschaftlichkeit der Recyclingprodukte</p> <p><b>Umsetzungsvariante 1:</b> Erhebung einer vorgezogenen Recyclinggebühr (VRG) auf Klärschlamm und Tier- und Knochenmehl bei „Abfallproduzenten“, z.B. ARA und Fleischindustrie; Verwendung der Gebühr zur finanziellen Unterstützung bzw. zur Deckung von Mehrkosten der Rückgewinnungssysteme</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Verursacherprinzip +/- umgesetzt</li> <li>– Frage nach Verursacher (worauf soll die Abgabe genau erhoben werden?)</li> <li>– Potenzielle Opposition der Akteure, die Abgabe zu entrichten haben</li> <li>– Umsetzungsaufwand</li> </ul> <p><b>Umsetzungsvariante 2:</b> Erhöhung der Gebühr für die Einleitung von Abwässer bei einleitenden Haushalten und Betrieben; Deckung der Mehrkosten der Rückgewinnung über die zusätzlich generierten Einnahmen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Verursacherprinzip akkurat umgesetzt</li> <li>+ Vergleichsweise kostengünstige Umsetzung</li> <li>+ Keine Opposition von politisch organisierten Akteuren</li> <li>– Evtl. Bedarf für gesetzliche Anpassungen</li> <li>– Harmonisierung der Kantone</li> </ul>

---

Subventionierung	<p><b>Allgemein:</b> Staatliche Unterstützung der P-Rückgewinnung über Steuer-gelder; Recyclingprodukte werden ausreichend verbilligt; entweder vo-rübergehend zur Finanzierung von Investitionen oder permanent zur Fi-nanzierung der Rückgewinnungskosten</p> <p><b>Wirkungsart:</b> Förderung der Wirtschaftlichkeit der Recyclingprodukte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vergleichsweise kostengünstige Umsetzung</li> <li>+ Keine Opposition von politisch organisierten Akteuren</li> <li>+ Eignet sich für gemischte Finanzierung mit anderen Instrumenten</li> <li>– Verursacherprinzip nicht umgesetzt (pauschal)</li> <li>– Bedarf einer gesetzlichen Grundlage</li> <li>– Erhöht die Staatsquote, wenn nicht andere Ausgaben reduziert wer-den</li> </ul>
Steuer auf Pri-märprodukte	<p><b>Allgemein:</b> Staatliche Unterstützung der P-Rückgewinnung über Steuer-gelder; Recyclingprodukte werden ausreichend verbilligt; entweder vo-rübergehend zur Finanzierung von Investitionen oder permanent zur Fi-nanzierung der Rückgewinnungskosten</p> <p><b>Umsetzungsvariante:</b> Erhebung einer Steuer beim Import von Primärpro-dukten mit bedeutendem P-Gehalt; Einnahmen werden nicht zweckge-bunden verwendet</p> <p><b>Wirkungsart:</b> Verteuerung von Primärprodukten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bedeutende Lenkungswirkung durch Ansatz beim Import</li> <li>– Umsetzungsaufwand</li> <li>– Auswahl bzw. Festlegung der besteuerten Produkte</li> <li>– Opposition von Düngemittelindustrie und Landwirtschaft</li> <li>– Massnahme verliert mit abnehmendem Import an Wirkung</li> </ul>

---

Grundsätzlich existieren verschiedene Finanzierungsinstrumente, zur Lenkung bzw. zur Ver-schiebung von Anreizstrukturen in Richtung der Recyclingprodukte. Deren konkrete Ausgestal-tung geht über den Rahmen der vorliegenden Studie hinaus.

Häufig werden Finanzierungsinstrumente mit weiteren Instrumenten kombiniert, um die Wir-kung der Intervention zu verstärken bzw. unterschiedliche Wirkungszeiträume zu ergänzen. Tabelle 6 ergänzt die Übersicht um die weiteren zur Verfügung stehenden politischen Mittel.

Tabelle 6: Weitere denkbare politische Instrumente zur Unterstützung der Markteinführung von mineralischen P-Recyclingprodukten.

Instrument	Massnahmenbeschrieb	Ziel der Massnahme
Gebote und Verbote	Anforderungen an Zusammensetzung von Düngemittelprodukten einführen (Beimischquoten für P-Recyclingprodukt im Produktionsprozess)	Vermehrte Verwendung von P-Rezyklat in bestehenden Produkten/ Wertschöpfungsketten (Herstellung regulieren)
	Gesetzliche Anforderungen an Schadstoffkonzentrationen in verschiedenen Düngemitteltypen angleichen	Verteuerung von mineralischen Düngemitteln aufgrund Schadstoffgehalt (Nachfrage steuern)
	Gesetzliche Anforderungen zur Ausgestaltung der P-Rückgewinnung auf ARA einführen	Anforderung an P-Abwasserbehandlung anpassen (Angebot vergrössern)
	Inlandmarktschutz (Vorrang inländischer P)	Import mineralischer Düngemittel regulieren (Herstellung regulieren)
Service- und Infrastrukturinstrumente	Investitionsförderungen für die ersten Pilotanlagen sowie die Finanzierung wissenschaftlicher Begleitprogramme	Grosstechnische Umsetzung beschleunigen (Angebot vergrössern)
Vereinbarung	Bestehende Produktlabels mit Kriterium „Verwendung P-Recyclingprodukt“ ergänzen bzw. neues Qualitätslabel einführen	Förderung informierter Konsumententscheidungen (Nachfrage steuern)
	Freiwillige Abnahmevereinbarung für P-Recyclingprodukt zwischen Düngemittelindustrie und Recyclingproduktherstellern, insb. ARA	Vermehrte Verwendung von P-Rezyklat in bestehenden Produkten/ WSK (Herstellung beeinflussen)
	Abnahmepflicht für P-Recyclingprodukt zwischen Düngemittelindustrie und Recyclingproduktherstellern, insbesondere ARA	Vermehrte Verwendung von P-Rezyklat in bestehenden Produkten/ Wertschöpfungsketten (Herstellung regulieren)
Kommunikationsinstrumente	Sensibilisierung von Endkunden um Qualität / Unbedenklichkeit von P aus Abwasser aufzuzeigen	Förderung fundierter Konsumententscheidungen (Nachfrage steuern)

### 3.4 Absatzwege

Auf Grundlage der Ergebnisse des Angebot-Nachfrage-Matchings (vgl. 3.2.2) wurden zwei vielversprechende Absatzwege identifiziert. Für jeden Absatzweg werden das Mengen-Potenzial und die involvierten Akteure des P-Marktes beschrieben. Beide Absatzwege berücksichtigen den Grundsatz der Kreislaufschliessung für die Schweiz: das in der Schweiz rezyklierte P wird in der Schweiz zurück in den Kreislauf geschleust.

#### 3.4.1 Direkte Anwendung im Gartenbau und - nach Aufnahme in der Betriebsmittelliste - in der biologischen Landwirtschaft

Dieser Absatzweg richtet sich an die Marktsegmente Gartenbau und, nach Zulassung, Bio-Landbau, für die geeignete Recyclingprodukte identifiziert wurden. Als geeignet in diesem Zusammenhang gelten nicht wasserlösliche, langsam wirkende Dünger, deren Nährstoffe durch Wurzelextrakte mobilisiert werden.

Die direkte Anwendung im Pflanzenbau durch Biolandwirtschaft und Gartenbau könnte maximal rund 1'000-2'000 t P, d.h. rund ein Drittel der maximal jährlich in der Schweiz rezyklierbaren Menge P verwerten.

Dieser Absatzweg könnte die heutigen mineralischen P-Dünger für den Gartenbau (rund 500 t P/Jahr), sowie Rohphosphat (rund 1'800 t P /Jahr) theoretisch ersetzen, daher konkurriert er mit den bestehenden Importen dieser Dünger. Die Händler im Inland könnten anstelle der bisherigen Produkte die geeigneten Recyclingprodukte an Bio-Landwirte und Akteure im Gartenbau vertreiben. Es ist aber auch denkbar, dass die Recyclingunternehmen in Konkurrenz zu den Händlern treten und die Recyclingprodukte selber vermarkten, wie das u.a. die Berliner Wasserbetriebe in der ARA Waßmannsdorf mit Struvit als „Berliner Pflanze“ gezeigt haben [28], wobei gemäss mündlicher Information der Betreiber aufgrund der unzureichenden Marketingaktivitäten nur ein Teil der Produktion auf diesem Weg vertrieben werden kann.

Recyclingprodukte, die sich aufgrund ihrer Charakteristik grundsätzlich für den Bio-Landbau qualifizieren und daher Chancen auf Aufnahme in die Betriebsmittelliste haben sind alle nicht wasserlöslichen, nicht mit Säure aufgeschlossenen Dünger wie trockenes, schadstofffreies Struvit, thermisch aufgeschlossenes Calcium-Natriumphosphat, Tricalciumphosphat und vielleicht auch „mild“, mit CO<sub>2</sub> aufgeschlossenes Dicalciumphosphat, wie es von Budenheim entwickelt und ab 2016 im Pilotbetrieb getestet wird. Damit eröffnete sich ein Potential sowohl für dezentral, auf der ARA recycelte Phosphate als auch Produkte aus zentralen Anlagen. Die Produktion einer zentralen Anlage könnte den Grossteil des Biolandbau- und Gartenbaubedarfs der Schweiz decken. Darüber hinaus ist mit dem FiBL eines der – auch bei der EU-Generaldirektion Landwirtschaft - einflussreichsten Forschungsunternehmen für den Bio-Landbau in der Schweiz etabliert.

Für die Entwicklung dieses Absatzweges sollten Bio-Landwirte und Gartenbauunternehmen darüber informiert werden, dass ausgewählte Recyclingprodukte (sobald in der Betriebsmittelliste aufgenommen), für die direkte Anwendung als Düngemittel in der biologischen Landwirtschaft

geeignet sind und gangbare Alternativen zu heute eingesetzten Produkten (Rohphosphat) darstellen. In die Betriebsmittelliste für die Biolandwirtschaft aufgenommene Recyclingprodukte werden eingehend auf ihre Eignung und Unbedenklichkeit geprüft. Dazu sollten folgende Aspekte betont werden:

- **Qualitativ mindestens gleichwertig:** Ausgewählte Recyclingprodukte (d.h. trockenes Struvit, Tricalciumphosphat) entsprechen den Grundsätzen der biologischen Landwirtschaft. Sie sind aufgrund ihrer qualitativen Eigenschaften (d.h. Pflanzenverfügbarkeit/ Citratlöslichkeit, Schadstoffgehalt, P-Gehalt) im Vergleich zu heute eingesetzten Rohphosphaten mindestens gleichwertig.
- **Laufende Optimierung von Rückgewinnungstechnologien:** Die laufenden technologischen Verbesserungen führen zur einer kontinuierlichen Verbesserung der Produktqualität und der Wirtschaftlichkeit von Recyclingprodukten (dabei sind Kooperationen zwischen Technologieentwicklern und der Anwendungsseite zentral zur Optimierung der Marktgängigkeit).
- **Beitrag zur Kreislaufschliessung und Versorgungssicherheit:** Mit dem Einsatz von P-Recyclingdüngern wird ein wesentlicher Beitrag zu einem nachhaltigen Ressourcenmanagement (z.B. Schonung begrenzter, natürlicher Ressourcen; Reduktion der Umweltbelastung; Beitrag zur regionalen Wertschöpfung) und zur sicheren Versorgung mit essentielltem Phosphor geleistet.

### 3.4.2 Düngerherstellung mit nachfolgender Anwendung im Pflanzenbau

Dieser Absatzweg involviert mehrere Marktsegmente: erst die Düngerherstellung im In- oder Ausland, für die geeignete Recyclingprodukte identifiziert wurden. Anschliessend werden geeignete P-Dünger an Akteure der konventionellen Landwirtschaft und des Gartenbaus verkauft. Über diesen Absatzweg könnten konventionelle Dünger aus Recyclingprodukten in der Größenordnung von über 5'000 t P pro Jahr hergestellt werden. Damit kann die jährlich maximal rezyklierbare Menge P der Schweiz verwertet werden.

Dieser Absatzweg könnte theoretisch sämtliche heute eingesetzten mineralischen P-Dünger für die konventionelle Landwirtschaft und den Gartenbau (rund 5'100 t P/Jahr, siehe Kapitel 3.1.1) ersetzen. Wenn der Recycling-P-Dünger im Inland durch Lonza hergestellt würde, könnte er die bestehenden Importe dieser Dünger verdrängen. Lonza könnte mit den Händlern im Inland kooperieren, wie dies bereits für N-Dünger geschieht. Wenn der Recycling-P-Dünger im Ausland durch ICL Fertilizers hergestellt würde, müsste sich am heutigen Gefüge von Importeuren und Händlern praktisch nichts ändern, da bereits heute laut Expertenaussagen ein Grossteil der P-Dünger von ICL Fertilizers bezogen wird.

Die zur Düngerherstellung im Inland geeigneten Recyclingprodukte eignen sich zur zentralisierten Herstellung in wenigen Anlagen. Sie müssten zu Lonza in den Kanton Wallis transportiert werden (Strasse oder Bahn) und von dort wie die bisher hergestellten N-Dünger mit der Bahn nach Basel für die Distribution in die ganze Schweiz. Die Logistikkette zwischen dem Hersteller Lonza und dem Lager- und Vertriebsknoten im Rheinhafen Basel ist ökonomisch und ökologisch optimiert und scheint gut geeignet, auch die Recyclingprodukte aufzunehmen. Für die Dünger-

herstellung im Ausland eignen sich dezentral und zentral hergestellte Produkte. Diese könnten von den Recyclingstandorten direkt zum Produktionsstandort des Düngerherstellers im Ausland (für ICL Fertilizers wäre dies Ludwigshafen in Süddeutschland) transportiert werden. Die verarbeiteten Düngerprodukte könnten von Basel aus in die ganze Schweiz verteilt werden.

Für die Entwicklung dieses Absatzweges sollten die Akteure der Düngemittelindustrie regelmäßig über den aktuellen Stand und sich abzeichnende Entwicklungen auf der Technologie- bzw. Produktseite informiert werden, sowie auch technologie- bzw. produktseitige Verbesserungen unterstützen. Zudem sollten sie über die angestossenen bzw. sich abzeichnenden Anpassungen der rechtlichen Rahmenbedingungen informiert sein. Dazu sollten folgende Aspekte betont werden:

- **Qualitativ mindestens gleichwertig:** Ausgewählte Recyclingprodukte (d.h. trockenes Struvit, DCP, MCP, Tricalciumphosphat, Phosphorsäure) sind für bestehende Produktionsverfahren bestens geeignet. Sie sind aufgrund ihrer qualitativen Eigenschaften (d.h. Löslichkeit, P-Gehalt, Schadstoffgehalt) im Vergleich zu heute eingesetzten Primärprodukten mindestens gleichwertig.
- **Laufende Optimierung von Rückgewinnungstechnologien:** Vgl. oben, 3.4.1.
- **Beitrag zur Nachhaltigen Entwicklung (Imagepotenzial, CSR):** Mit dem Einsatz von P-Recyclingdüngern wird ein wesentlicher Beitrag zu einem nachhaltigen Ressourcenmanagement geleistet (Schonung begrenzter, natürlicher Ressourcen; Reduktion der Umweltbelastung; Beitrag zur regionalen Wertschöpfung) und zur sicheren Versorgung mit essentiellm Phosphor geleistet. Entsprechend wird damit ein wesentlicher Beitrag zum betrieblichen Umweltmanagement geleistet.

Akteure der konventionellen Landwirtschaft, sowie des Gartenbaus sollten darüber informiert werden, dass Düngerprodukte, welche teilweise oder ganz aus Recyclingprodukten bestehen entwickelt werden, die für die direkte Anwendung als Düngemittel in der Landwirtschaft geeignet sind und gangbare Alternativen zu heute eingesetzten Produkten darstellen. Dazu sollten folgende Aspekte betont werden:

- **Qualität der Recyclingprodukte:** Die in Zukunft auf den Markt gelangenden Düngemittel, die auf Basis von rückgewonnenen Ausgangsmaterialien hergestellt wurden, werden sich qualitativ nicht von den gängigen Primärprodukten unterscheiden (die Qualität ist aufgrund der bekannten Herkunft aus der Schweiz oder Europa tendenziell höher einzustufen). Sie unterliegen den mindestens gleich strengen Anforderungen wie bereit eingesetzte Primärprodukte.
- **Düngemittel aus der Region:** Mit der Phosphor-Rückgewinnungspflicht in der neuen VVEA werden auf dem Markt „grüne“, in der Schweiz hergestellte Düngemittel angeboten.
- **Beitrag zur Kreislaufschliessung und Versorgungssicherheit:** Mit dem Einsatz von P-Recyclingdüngern wird ein wesentlicher Beitrag zu einem nachhaltigen Ressourcenmanagement (z.B. Schonung begrenzter, natürlicher Ressourcen; Reduktion der Umweltbelastung; Beitrag zur regionalen Wertschöpfung) und zur sicheren Versorgung mit essentiellm Phosphor geleistet.

**INFO-BOX: Erkenntnisse zur Akzeptanz beruhend auf Interviews und Zwischenerkenntnissen aus dem Modul A „Akzeptanzanalyse“**

Erkenntnisse aus den Interviews und den laufenden Arbeiten zum Modul A legen nahe, dass bei der Kommunikation u.a. folgende Akzeptanz-beeinflussende Aspekte zu berücksichtigen sind:

- Der Begriff „Recycling“ ist mit Vorsicht zu verwenden: Die Abnehmer zweifeln prinzipiell an der Qualität von Recycling-Produkten, bis hin zur Befürchtung, dass man ihnen ohne Rücksicht auf ihre Bedürfnisse Abfall „andrehen“ möchte. Ein Experte gab an, dass schnell geschäftsschädigende Legenden kursieren, wie z.B. dass der EHEC-Ausbruch in Europa durch kontaminierten Dünger verursacht wurde.
- Der Produkt-Status von Recyclingprodukten ist wichtig: Idealerweise werden Recyclingprodukte so weit aufbereitet, dass sie den in der Schweiz geltenden Rechtsnormen vollinhaltlich entsprechen und im Hinblick auf Homogenität, physikalischer Beschaffenheit (Dünger als staubfreies Granulat) und Schadstoffgehalt eindeutig als Produkt zertifiziert und wahrgenommen werden. Sofern das Endprodukt nicht ausschließlich für den Schweizer Markt bestimmt ist, kann ein REACH-Zertifikat den Verkauf von Recyclingprodukten erleichtern, da Düngerhersteller und Händler (z.B. Hauer) auch Produkte exportieren und beim Herstellungsprozess die strikt getrennte Verarbeitung von zertifizierten und nicht zertifizierten Inputs aufwändig ist. Der Abfall-Status von Recyclingstoffen kann dem Ruf verarbeitender Unternehmen schaden, da Abnehmer nicht gerne einen Dünger aus Abfall möchten und einem Düngerhersteller, der Abfälle entgegennimmt, mit einem gewissen Misstrauen begegnen. Die strikte Einhaltung rigider gesetzlicher Vorgaben (Recyclingprodukt ist besser als Produkt aus Primärrohstoff), begleitet mit Vermittlung von Wissen über Nährstoffkreisläufe und Schadstoffe im Rohphosphat können diesem Misstrauen entgegen wirken.
- Asche-Produkte werden generell als vertrauenswürdiger eingestuft, da die verfahrensbedingt hohe Temperatur die Vernichtung organischer Schadstoffe und mikrobiologischer Verunreinigungen garantiert (besonders problematisch sind Bakterien, Viren und Medikamentenrückstände). Schwermetalle werden als weniger problematisch eingestuft, da sie leicht analytisch feststellbar sind.



## 4 Schlussfolgerungen

Die in der vorliegenden Studie vorgenommene Analyse kann als umfassende, und gleichzeitig grobe Auslegeordnung zu marktbezogenen Fragen für eine zielorientierte, koordinierte P-Rückgewinnung aus phosphorreichen Abfällen betrachtet werden.

Ausgehend von einer Analyse des heutigen Markts für mineralische Phosphorprodukte wurden die in Zukunft denkbaren Recyclingprodukte an den Ansprüchen der unterschiedlichen Nachfragesegmente gespiegelt, um herauszufinden, für welche Produktanwendungen bzw. welche Qualitätsmerkmale von Produkten eine erfolgreiche Marktintegration denkbar ist. Auf dieser Grundlage wurden die vielversprechenden Absatzwege abgeleitet und beschrieben (namentlich der Gartenbau und – nach Aufnahme einzelner Produkte in die Betriebsmittelliste - die Bio-Landwirtschaft, sowie die Düngemittelindustrie) sowie Marketingargumente entwickelt. Es wurde eine grobe Abschätzung von notwendigen Anpassungen und damit verbundenen Einsparungen oder Kosten in der Klärschlamm Entsorgung bzw. in der Beschaffung von Recyclingprodukten (gegenüber entsprechenden Primärprodukten) vorgenommen und eine Übersicht über politische Instrumente zur Finanzierung der – bei der ausschließlichen Betrachtung Produktions- und Vermarktungskette - entstehenden Mehrkosten erstellt.

Dieses abschliessende Kapitel verfolgt das Ziel, die diversen Erkenntnisse in Form einer Synthese auf den Punkt zu bringen. Dies geschieht in Form (i) einer zusammenfassenden Gesamtaussage, (ii) einer Darstellung der Hauptherausforderungen, die für die Realisierung eines marktfähigen Recyclingsystems für P aus phosphorreichen Abfällen zu bewältigen sind, und (iii) von Empfehlungen zuhanden der unterschiedlichen Stakeholder, wie sie zur Bewältigung dieser Herausforderungen einen Beitrag leisten können.

### 4.1 Synthese

Grundsätzlich weisen die Resultate der Studie darauf hin, dass der Schweizer Markt das Potential hat, das aus dem Recycling gewonnene Phosphat aufzunehmen. Damit kann der Düngerkreislauf potenziell geschlossen werden; doch auch die Chemieindustrie kann Phosphorsäure zu chemischen Produkten verarbeiten, was einen bedeutenden Absatzweg für aufbereitete P-reiche Abfälle darstellt.

Hingegen ist kurzfristig die flächendeckende Rückgewinnung des Phosphors aus phosphorreichen Abfällen innerhalb der Schweiz über die direkte Verwendung als Dünger ohne weitere Aufbereitung unrealistisch. Der Hauptgrund liegt darin, dass keines der bis jetzt angebotenen Recyclingprodukte für eine direkte Anwendung als Dünger in der konventionellen Landwirtschaft ausreichend qualifiziert ist. Das liegt unter anderem an der fehlenden Homogenität der Produkte, der ungenügenden Eignung für marktgängige Düngerstreuer und anderer Mängel, die mit einer vergleichsweise einfachen und kostengünstigen Nachbehandlung zu beheben sind.

Diese Nachbehandlung könnte von regionalen Dienstleistungsunternehmen übernommen werden.

Über die oben genannten Kriterien hinaus, sehen Handel und Industrie zurzeit die mangelnde Wasserlöslichkeit der meisten Produkte als Barriere für die Anwendung in der konventionellen Landwirtschaft. Nachdem viele Produkte, trotz ungenügender Wasserlöslichkeit, ihre Wirksamkeit in zahlreichen Versuchen bewiesen haben, kann diesem Argument wahrscheinlich erfolgreich begegnet werden.

In den Marktsegmenten Gartenbau und biologische Landwirtschaft ist die Wasserlöslichkeit schon jetzt kein Kriterium. Im Gegenteil, Dünger dürfen für die biologische Landwirtschaft gerade nicht wasserlöslich sein. Aus diesem Grund wurde dieses Marktsegment als ein erfolversprechender Absatzweg näher untersucht – es könnte bis zu einem Drittel der recycelbaren Phosphate aufnehmen. Gartenbau und –in Zukunft – die biologische Landwirtschaft erscheinen für ausgewählte Recyclingprodukte (insbesondere trockenes Struvit, Tricalciumphosphat, Calcium-Natriumphosphat und vielleicht auch „mild“ (mit CO<sub>2</sub> nach dem Budenheim Verfahren) aufgeschlossenes Dicalciumphosphat) ein vielversprechendes Marktsegment. Laut Aussagen der Marktakteure wird in diesem Segment von vornherein kein Preisabschlag für Recyclingprodukte gegenüber den vergleichbaren Primärprodukten erwartet, was sich im Vergleich zum Absatz über die Düngemittelindustrie positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Rückgewinnung auswirkt. Da auf Phosphorsäure basierende Produkte für die Anwendung in der biologischen Landwirtschaft nicht in Frage kommen, sind die meisten Recyclingprodukte im Vorteil gegenüber den konventionellen Düngern und sie sind in jedem Fall dem bisher in der biologischen Landwirtschaft ausschließlich verwendeten Rohphosphat hinsichtlich Wirksamkeit und Umweltverträglichkeit überlegen. Anträge für die Aufnahme in die Betriebsmittelliste liegen für Struvit und Calcium-Natriumphosphat vor. Das entsprechende Marktvolumen beträgt in der Schweiz immerhin rund 2000 t P/Jahr, womit bei flächendeckendem Recycling ein Drittel der Produktion in diesem Segment zu annähernd kostendeckenden Preisen abgesetzt werden könnte.

Weiter zeigt die Studie, dass ein mengenmässig „quasi-unerschöpflicher“ Absatzweg für Recyclingprodukte über die Düngemittelindustrie denkbar ist (d.h. der gesamte aus phosphorreichen Abfällen rückgewonnene Phosphor könnte so abgesetzt werden). Sowohl die inländische Lonza wie auch einzelne Düngemittelhersteller (z.B. ICL Fertilizers) erachten ausgewählte Recyclingprodukte (d.h. trockenes Struvit, DCP, MCP, Tricalciumphosphat, Phosphorsäure) als gangbare Alternativen zu gehandelten Rohphosphaten aus Primärabbau bzw. Phosphorsäure. Unter Berücksichtigung der Rückgewinnungsgrade, welche im Falle der Tricalciumphosphat- und Phosphorsäure-produzierenden Technologien bis zu 90% erreichen, könnte über diesen Absatzweg der Phosphor-Kreislauf praktisch verlustfrei geschlossen werden. Bei den übrigen Recyclingprodukten ist das Kreislaufschliessungspotenzial aufgrund der bedeutend tieferen Rückgewinnungsgrade (DCP/MCP: 40-70%, trockenes Struvit: max. 15% [12]) vergleichsweise eingeschränkt.

Wenn man die Lage unter rein marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet, sind die Haupthindernisse für diesen Absatzweg die tiefen Handelspreise der konkurrierenden Primärprodukte bzw. die im Vergleich zu den Primärprodukten mangelnde Homogenität bzw. Eignung der Recyclingprodukte für die etablierten Prozesse, was die erzielbaren Preise und damit die Kostendeckung der Verfahren weiter drückt.

Einen relevanten Beitrag zur Kostendeckung liefern Sekundäreffekte. Der Sekundärnutzen für Struvit ist in der Schweizerischen ARA-Landschaft kaum relevant, weil nur wenige Kläranlagen die biologische Phosphorelimination nutzen. Dagegen kann der Sekundärnutzen einer Neuordnung der Schlammentsorgung, wie das Beispiel Zürich zeigt, die voraussichtlichen Mehrkosten der Recyclingverfahren mehr als nur kompensieren. Zur Bilanzierung dieses Nutzens muss der Bezugsrahmen allerdings erweitert werden, weil, wie in Zürich, der Nutzen bereits jetzt realisiert wird und die Kosten erst nach Einführung des P-Recyclings anfallen. Nutzen und zukünftige Kosten fallen in diesem Rahmen beim an die ARA angeschlossenen Haushalt an – insofern ist er der erste Adressat für das Clearing. Sollten am Ende tatsächlich Mehrkosten anfallen, sind diese selbst bei den aufwändigeren Rückgewinnungsverfahren relativ gering und sollten kein bedeutendes Hindernis für die Umsetzung einer Rückgewinnungslösung darstellen.

## 4.2 Hauptherausforderungen und Empfehlungen

Zur Unterstützung einer wirtschaftlich und ökologisch sinnvollen Umsetzung der Phosphor-Rückgewinnung werden abschliessend die zentralen Herausforderungen, welche für eine erfolgreiche Integration von P-Recyclingprodukten in die Wertschöpfungsketten des Düngemarkts zu bewältigen sind, zusammengestellt und entsprechende Handlungsorientierungen für die unterschiedlichen Akteure vorgeschlagen.

**Regulatorische Rahmenbedingungen:** Die regulatorischen Rahmenbedingungen sehen noch „großzügigere“ Regelungen für Primärphosphate gegenüber Recyclingprodukten vor. Eine Gleichbehandlung beider Gruppen ist anzustreben. Diese kann im Hinblick auf die langfristige Sicherung der Bodenfruchtbarkeit durchaus niedrige Grenzwerte enthalten, die auch eine langfristige Akkumulation von Schadstoffen im Boden verhindern.

Regulierende Behörden: Fortsetzung der bereits in Gang gesetzten Bemühungen um eine Angleichung der Zulassungsbedingungen (Schadstoffgrenzwerte) für Primär- und Recyclingphosphate

Fortsetzung des Dialogs mit relevanten Stakeholdern (z.B. mit Technologieentwicklern, ARA und Marktakteuren).

Landwirtschaftliche Forschungsinstitute und Beratung: Fortsetzung der Untersuchungen zur Eignung von Recyclingdüngern für die biologische Landwirtschaft in Feldversuchen, ggf. unter Bereitstellung zusätzlicher Kapazitäten (im Auftrag der Anbieter von Recyc-

ling-Düngern, Verbänden und ggf. der DG Agri der Europäischen Kommission)

Prüfung einer Empfehlung für die Zulassung von mineralischen P-Recyclingdüngern in der Betriebsmittelliste für den Einsatz in der Bio-Landwirtschaft.

Aufnahme von mineralischen Recyclingdüngern in die gängigen Düngermethoden, um deren Einsatz für verschiedene Kultur- und Bodentypen in Abstimmung mit anderen Düngern zu spezifizieren.

Recycling-Industrie: In Kooperation mit landwirtschaftlichen Forschungsinstituten die erforderlichen wissenschaftlichen Nachweise erbringen, dass die in den Verkehr zu bringenden Produkte den jeweils geltenden gesetzlichen Regelungen entsprechen und die Anforderungen jener Akteure und Marktsegmente erfüllt werden, die mit dem Produkt versorgt werden sollen, z.B. die Anforderungen des Bio-Landbaus.

**Ungenügende Wirtschaftlichkeit unter rein marktwirtschaftlichen Gesichtspunkten:**

Zurzeit werden wirtschaftliche Sekundäreffekte dem Recyclingdünger nur dann angerechnet, wenn Sekundärnutzen und Nährstoffrecycling direkt auf der ARA bilanziert werden können (z.B. Struvit-Kristallisation zur Vermeidung von Ablagerungen in ARA-Rohrleitungen). Wenn dagegen der Sekundärnutzen dadurch entsteht, dass im Hinblick auf P-Recycling die Schlamm Entsorgung neu und effizienter geregelt wird, wie seit 2015 in Zürich, dann werden die erzielten Einsparungen nicht automatisch dem P-Recycling gutgeschrieben. Wenn hingegen der Rahmen weiter gefasst und der Gesamtnutzen betrachtet wird, kann eine auf den ersten Blick unwirtschaftliche Technologie tatsächlich einen gesamtwirtschaftlichen Nutzen bringen. Die korrekte Setzung der Systemgrenzen sollte dafür sorgen, dass nicht die an die ARA angeschlossenen Bürger den Nutzen und die Landwirtschaft die Kosten zu tragen haben. Darüber hinaus hat sich gezeigt, dass das Einsparungspotential bei der Klärschlammbehandlung wesentlich größer ist, als die möglichen Mehrkosten durch P-Recycling, wenn gemeinschaftliche Lösungen gesucht werden.

Regulierende Behörden sowie kantonale und kommunale (ARA) Betriebe: Festlegung nachvollziehbarer Systemgrenzen zur gerechten Aufteilung der Kosten- und Nutzen des Phosphorrecyclings (z.B. Anrechnung der Kosteneinsparung durch effizientere Schlammbehandlungsanlagen auf die Kosten des P-Recycling).

Auswahl von geeigneten Instrumenten zur Förderung von Klärschlamm-Behandlungswegen, die Phosphorrecycling möglichst effektiv ermöglichen (z.B. Ersatz der teuren Schlamm Entsorgung in der KVA durch energieeffiziente Mono-Verbrennungsanlagen).

- Bereitschaft zur Kooperation über ARA-, kommunale- und kantonale Grenzen hinweg damit gemeinsam kostengünstige Wege zur Kreislaufschließung entwickelt werden können.
- Technologieentwickler/  
Verfahrensanbieter: Verfahren zur Rückgewinnung weiter optimieren, insbesondere im Hinblick auf die aufgezeigten Defiziten bei der Anwendung bzw. Verarbeitung in etablierten Prozessen (Homogenität, organische Schadstoffe, staubfreies Granulat, Nährstoffkonzentration).
- Gründung von Dienstleistungsunternehmen zur Behandlung der von den ARA bzw. SVA hergestellten Halbprodukte, d.h. Aufgabenteilung zwischen der einfachen P-Rückgewinnung und der Herstellung von standardisierten Recyclingprodukten.
- ARA: Kooperation der Technologieanbieter mit den ARA und SVA im Hinblick auf die Entwicklung von Prozesslösungen, die mit den Verfahren und dem Know-how am Zielstandort kompatibel sind.
- Düngemittelindustrie: Bereitschaft zum Informationsaustausch und zur Kooperation mit den Technologieanbietern, damit Recyclingprodukte möglichst friktionsfrei in die etablierten Prozesse einfließen können.

**Unklare abfallpolitische Ziele zur Kreislaufschließung:** Die gegenwärtige Regelung der Rückgewinnungspflicht (vgl. VVEA, Art.15) enthält keine konkreten Anforderungen an die P-Rückgewinnung, sowohl was quantitative Vorgaben zur rückgewonnenen Menge wie auch grenzüberschreitende Lösungen anbelangt.

Regulierende Behörden: Abfallpolitische Anforderungen an die P-Rückgewinnung in der Vollzugshilfe zur VVEA klar vorgeben, damit technologische Weiterentwicklungen und grosstechnische Pilotprojekte gezielt auf den regulatorisch vorgegebenen Rahmen ausgerichtet werden können.

**Qualitätssicherung und Verbesserung der Akzeptanz von „Nicht-Asche-basierten“-Recyclingdüngern:** Potenzielle Abnehmer von „Nicht-Asche“-Recyclingprodukten für den direkten Einsatz als Dünger haben angesichts fehlender thermischer Behandlung Bedenken gegenüber einer möglicherweise problematischen organischen Belastung im Produkt (z.B. hormonaktive Substanzen, Erreger).

Regulierende Behörden: Möglichst weitgehende Klärung des potenziellen Problems bzw. Risikos von organischen Schadstoffen in „nicht-Asche“-Produkten.

Grenzwerte in der ChemRRV auf bekannte, organische Schadstoffe ausdehnen.

Fortsetzung des Dialogs mit relevanten Stakeholdern (z.B. Technologieentwickler, Marktakteure).

Landwirtschaftliche Forschungsinstitute: Weitere Forschung zur Schliessung von Wissenslücken über die mit organischen Schadstoffen verbundenen Risiken und Gefahren.

Technologieentwickler/Verfahrensanbieter: Gezielte Kommunikation von Informationen über die verfügbaren Typen, aber auch die Qualität und Eignung von Recyclingprodukten für die landwirtschaftliche Anwendung als Dünger.

Massnahmen zur Qualitätssicherung, sowie auch diesbezügliche Regelung durch Normen und rechtlichen Rahmenbedingungen thematisieren.

Ergänzende Prozessschritte zur Hygienisierung (z.B. hormonaktive Substanzen, Erreger) von „Nicht-Asche“-Produkten.

**Ungenügende Datengrundlage zum mineralischen P-Markt:** Die gegenwärtig öffentlich verfügbaren Daten zum Import, Produktion und Handel sowie zum Endkonsum von mineralischen P-Produkten lassen eine detaillierte Beschreibung der Wertschöpfungsketten nur schwer zu.

Regulierende Behörden: Für die nicht genauer spezifizierten Düngerimportkategorien (Mehrnährstoffdünger, NP-Dünger und PK-Dünger) wäre es gut zu wissen, um welche Form von Phosphor es sich dabei handelt.

Regionale Daten zu inländischen Aktivitäten (z.B. Mischen) und vor allem zur Nachfrage nach P-Produkten differenziert nach der Form des darin enthaltenen P, dem P-Gehalt, etc. würde das Verständnis des heutigen Markts verbessern und damit die gezielte Marktintegration von Recyclingprodukten unterstützen.

## 5 Literatur

- [1] Binder, C.R., de Baan, L. & Wittmer, D. (2009). Phosphorflüsse in der Schweiz. Stand, Risiken und Handlungsoptionen. Umwelt-Wissen Nr. 0928. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- [2] Porter, M.E. (2008). The Five Competitive Forces that Shape Strategy. Harvard Business Review.
- [3] Eidgenössische Zollverwaltung (2012). Tarifnummernverzeichnis.
- [4] Eidgenössische Zollverwaltung (2015). Importzollangaben 2012-2015.
- [5] Agricura (2014). Importstatistik Kalenderjahr 2013. Bern.
- [6] Rehm, G., Schmitt, M., Lamb, J., Randall, L. & Busman, L. (2002). Understanding Phosphorous fertilizers. Regents of the University of Minnesota.
- [7] Kratz, S. & Schnug, E. (2009). Zur Frage der Löslichkeit und Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor in Düngemitteln. Journal für Kulturpflanzen, 61(1), 2-8.
- [8] Nethe L. (2009). Reduktion des Zusatzes von anorganischem Phosphor im Futter. Freie Universität Berlin-
- [9] Jedelhauser, M. (2015). Phosphorflüsse in Futtermitteln und Mineraldüngern. Schriftliche Mitteilung. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- [10] EBP (2012). Trend-Report. Zollikon: Ernst Basler + Partner AG.
- [11] BLW (2010). Agrarbericht. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft.
- [12] Spörri A., Erny. I., Hermann, R. & Hermann, L. (2016, noch in Erarbeitung). Beurteilung von Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung (Arbeitstitel). Bern: Bundesamt für Umwelt.
- [13] Umwelt Bundesamt (2015). Bewertung konkreter Massnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. Deutschland: Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- [14] Laube, A. & Vonplon, A. (2004). Klärschlamm Entsorgung in der Schweiz. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

- [15] Salzberger, D. & Wiedmer, B. (2012). Variantenstudium Klärschlamm Entsorgung Kanton Graubünden 2011. Chur: Amt für Natur und Umwelt Graubünden.
- [16] Raaflaub, M. & Genoni, M. (2005). Preise für landwirtschaftliche Produktionsmittel in der Schweiz und in den EU-Nachbarländern. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft.
- [17] Pinnekamp, J., Everding, W., Gethke, K., Montag, D. et al. (2011). Phosphorrecycling-Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- [18] BLW (2016). Marktbericht Mineraldünger. Bern: Bundesamt für Landwirtschaft.
- [19] FiBL (2015). Betriebsmittelliste 2015. Frick: Forschungsinstitut für biologischen Landbau.
- [20] Agricura (2014). Entwicklung des Mineraldüngerverbrauchs. Bern.
- [21] BFS (2015). Strukturen – Landwirtschaftliche Nutzfläche. Bern: Bundesamt für Statistik.
- [22] BFS (2015). Gross- und Kleinviehbestand nach Kantonen (Viehzählungen). Bern: Bundesamt für Statistik.
- [23] BFS (2009). Schweizer Landwirtschaft, Taschenstatistik 2009. Neuchatel: Bundesamt für Statistik.
- [24] FAO (2015). World fertilizer trends and outlook to 2018. Rom: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [25] TBF (2015). Studie Phosphorrückgewinnung aus Abwasser und Klärschlamm. Zürich: Organisation Kommunale Infrastruktur.
- [26] Index mundi (Website abgerufen am 28.03.2016). URL: <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate>.
- [27] Ostara (Website abgerufen am 28.03.2016). URL: [www.ostara.com](http://www.ostara.com).
- [28] Berliner Wasserbetriebe (Website abgerufen am 28.03.2016). URL: <http://www.bwb.de/content/language1/html/6946.php>.



## A1 Leitfaden für Experteninterviews

### Ausgangslage

Die nachfolgenden Fragen wurden im Rahmen des BLW-Mandates *Angebots- und Nachfragepotenzial mineralischer Recyclingdünger in der Schweiz, Modul B: Marktvolumen, Marktpotenzial, Machbarkeit* erarbeitet. Sie werden einem ausgewählten Kreis von Expertinnen und Experten (vgl. Tabelle 2) vorgelegt.

### Grundlagen

- Es wird eine Liste mit P-Recyclingprodukten präsentiert, die aufgrund der Ausgereiftheit der Recyclingtechnologie in den nächsten 5-10 Jahren in der Schweiz hergestellt werden können.
- Bezeichnungen:
  - o Als **Recyclingprodukt** wird eine Verbindung bezeichnet, die aus Sekundärquellen stammt, also aus dem Recycling.
  - o Als **Endprodukt** werden verkaufsfertige Produkte für den Grosshandel/ Detailhandel bezeichnet

### Ziel

Es ist das Ziel, eine Übersicht der Recyclingprodukte und ihrer Eignung für den Einsatz in der Düngemittelindustrie, respektive Landwirtschaft (siehe Tabelle) zu schaffen. Für interessante Recyclingprodukte werden zudem (qualitative) Angaben erhoben, die als Grundlage für Absatzstrategien und Finanzierungsinstrumente dienen können. Angaben zur heutigen Nachfrage stammen aus der Auswertung der Importzolldeklarationen phosphorhaltiger Düngemittel.

Recyclingprodukt	Einsatz in der Düngemittelindustrie	Einsatz in der Landwirtschaft
<b>Name Recyclingprodukt</b>	Eignung: 1-5 (1= ungeeignet, 5= sehr gut geeignet)	Eignung: 1-5 (1= ungeeignet, 5= sehr gut geeignet) Potenzial: Heute verwendete Menge des P-Produktes aus primären Quellen in der Schweiz in t/a
<b>MAP entwässert (Struvit)</b>	Eignung:	Eignung:  Heutige Nachfrage: 50-70 t/a
<b>MAP nicht entwässert (Struvit)</b>	Eignung:	Eignung:  Kein Einsatz in nennenswerten Mengen bekannt.
<b>Dicalciumphosphat (DCP)</b>	Eignung:	Eignung:  Aktuelle Nachfrage von DCP und MCP für Futtermittelzusätze: 250-270 t/a

<b>Monocalciumphosphat (MCP)</b>	<i>Eignung:</i>	<i>Eignung:</i>
		<i>Aktuelle Nachfrage von DCP und MCP für Futtermittelzusätze: 250-270 t/a</i>
<b>Tricalciumphosphat/Rohphosphat</b>	<i>Eignung:</i>	<i>Eignung:</i>
		<i>Aktuelle Nachfrage nach Rohphosphat: 900 t/a (die Nachfrage ist in den letzten 3 Jahren um 60% eingebrochen)</i>
<b>Calciumnatriumphosphat</b>	<i>Eignung:</i>	<i>Eignung:</i>
		<i>Aktuelle Nachfrage ist nicht bekannt, da kein Düngerprodukt unter dieser Zolltarifnummer eingeführt wird. Falls es unter „andere Phosphate“ eingeführt wird, beträgt die Nachfrage max. 60 t/a</i>

### Einsatzmöglichkeiten

Es gibt drei Einsatzmöglichkeiten für P-Recyclingprodukte in der Landwirtschaft:

1. **Einsatz in der Landwirtschaft** als Düngemittel (oder Futtermittelzusatzstoff) ohne chemische Umwandlung (Mischen mit anderen Inhaltsstoffen und abpacken ist aber denkbar). **Experten:** Landor und Agroline (des weiteren Hauert und Forschungsinstitute wie FibL, Agroscope, ETH, HAFL, etc.). Diese Experten werden in vertieften Interviews befragt durch die ETH im Rahmen von Modul A.
2. **Düngemittelproduktion:** Einsatz der Recyclingprodukte in der Produktion von Düngemitteln. Diese Produktionsprozesse finden heute nicht in der Schweiz statt; die Recyclingprodukte müssen daher entweder in die EU exportiert werden, oder ein entsprechender Produktionsprozess wird im Inland neu aufgebaut.  
**Experten:** Lonza (möglicher zukünftiger Produktionsprozess im Inland) und ICL Fertilizers (Hauptimporteur der Schweiz)

### Fragen zum Einsatz in der Landwirtschaft

Einbezug all jener Recyclingprodukte, die (möglicherweise durch Zuhilfenahme von Mischen, aber ohne chemische Umwandlungsprozesse) als Endprodukte für den Einsatz in der Landwirtschaft verwendet werden können.

1. Wie gut kann ein heute gängiges Primärprodukt durch das entsprechende Recyclingprodukt substituiert werden?
  - a) Diskussion der Eignung anhand von Chancen und Risiken:
    - Rechtliche Rahmenbedingungen
    - Interessen von Akteuren (z.B. etablierte Lieferanten, Konkurrenz)

Unterschiede zwischen Recyclingprodukt und Primärprodukt

Ansprüche der Abnehmer ans Produkt (NPK-Verhältnis, etc)

Identifizierte Probleme: was bräuchte es, um die Eignung zu verbessern?

b) Eignung in einer Skala von 1-5 bewerten

2. Best geeignete Recyclingprodukte seitens Nachfrage in Landwirtschaft vertieft diskutieren:

a) Welche Menge des Recyclingproduktes könnte den heutigen Abnehmern des entsprechenden Primärproduktes verkauft werden? In t/ Jahr.

b) Welche Akteure sind zentral für eine Markteinführung?

Kosten entlang der Wertschöpfungskette „Einsatz in der Landwirtschaft“:

c) Wie viel kosten die vergleichbaren Düngerprodukte mit Primärphosphor derzeit?

d) Sind die Preise/ die Nachfrage stabil, resp. welche Einflüsse haben Preisschwankungen?

e) Wie viel % der Kosten des verkäuflichen Endproduktes macht das P-Primärprodukt aus?

f) Könnte ein Düngerprodukt mit Recycling-Phosphor vergleichbar viel kosten wie eines aus Primär-P? Dürfte es teurer sein/ müsste es billiger sein?

g) Wo könnten zusätzlichen Kosten bei der Verwendung des Recyclingprodukts entlang der Wertschöpfungskette entstehen? (z.B. Marketing, Anpassungen in Düngerleitfäden, Weiterbildung, etc..)

h) Ist „Recycling“ ein Begriff, der sich in im Marketing von Düngemitteln positiv einsetzen liesse?

### **Fragen zum Einsatz in der Düngemittelproduktion**

Einbezug jener Recyclingprodukte, die als Ausgangsstoff in der Produktion von landwirtschaftlichen Hilfstoffen werden könnten: Düngemittel und Futtermittelzusatzstoffe.

1. Wie gut kann ein heute gängiges Primärprodukt durch ein Recyclingprodukt substituiert werden?

a) Diskussion der Eignung anhand von Chancen und Risiken:

Rechtliche Rahmenbedingungen;

Interessen von Akteuren (z.B. etablierte Lieferanten, Konkurrenz);

Unterschiede zwischen Recyclingprodukt und Primärprodukt;

Identifizierte Probleme: was bräuchte es, um die Eignung zu verbessern?

b) Eignung in einer Skala von 1-5 bewerten

**Spezifische Fragen an ICL Fertilizers**

2. Die am besten für die Verwendung in der Düngerherstellung geeigneten Produkte sollen vertieft diskutiert werden:
  - a) Welche Recyclingproduktmenge könnte anstelle des derzeit verwendeten Primärproduktes verwendet werden (jährliche Betrachtung)?
  - b) Wie lange würde die Umstellung auf das Recyclingprodukt dauern?
  - c) Welche Produkte lassen sich aus dem Recyclingprodukt herstellen?
  - d) Welche Akteure sind zentral für eine Markteinführung des Recyclingprodukts?
  - e) Welche Hindernisse gibt es? (z.B rechtliche Rahmenbedingungen, Recyclingprodukt- und Produkteigenschaften, etc..)
  - f) Kosten entlang der Wertschöpfungskette „Einsatz in der Düngemittelproduktion“:
    - o Wie viel kosten die Endprodukt derzeit? (CHF pro kg/ oder pro 100 kg)?
    - o Wie viel % der Kosten des verkäuflichen Endproduktes macht das P-Primärprodukt aus?
    - o Welchen Preis dürfte das Recyclingprodukt maximal haben? Bzw. wie gross darf der Anteil im Verhältnis zu den gesamten Produktionskosten des Endproduktes sein?
    - o Wo würden zusätzlichen Kosten würden bei der Verwendung von Recycling-P entlang der Wertschöpfungskette entstehen?
    - o Könnte der produzierte Dünger aus Recycling-P allenfalls teurer verkauft werden als der aus Primär-P (Umweltnutzen)? Wie gross ist der Spielraum?

**Spezifische Fragen an Lonza AG:**

2. Best geeignete Produkte für einen Produktionsprozess in der Schweiz sollen vertieft diskutiert werden:
  - a) Was für Produkte könnte man herstellen? Für welche Kunden?
  - b) Könnte man in den nächsten 10 Jahren mit der Produktion beginnen? Wenn ja, in welcher Grössenordnung? (t/a)
  - c) Welche Akteure sind zentral für den Aufbau des Produktionsprozesses?
  - d) Welche Hindernisse gibt es? (Rechtliche Rahmenbedingungen, Recyclingprodukt- und Produkteigenschaften, etc..)
  - e) Welchen Preis Kosten dürfte das Recyclingprodukt maximal haben? Bzw. wie gross darf der Anteil im Verhältnis zu den gesamten Produktionskosten des Endproduktes sein?
  - f) Wären finanzielle Anreize sinnvoll, um eine Produktion in der Schweiz aufzubauen? Wenn ja, wo und wie könnten die ansetzen?