
Phosphor als strategische Ressource

Handlungsempfehlungen der Wasserwirtschaft zur Etablierung
eines Marktes für Sekundärphosphor

Phosphor als strategische Ressource

Handlungsempfehlungen der Wasserwirtschaft
zur Etablierung eines Marktes
für Sekundärphosphor

Diskussionspapier von
Ramboll Management Consulting | civity

Inhalt

Management Summary	5
Kapitel 1: 12 Empfehlungen für die Gestaltung eines Marktes für Sekundärphosphor in Deutschland	7
1.1 Für eine echte Kreislaufwirtschaft müssen Schadstoffe konsequent aus dem Kreislauf ausgeschleust werden	
1.2 Eine Novellierung der DüMV zur Förderung von aschebasierten Düngemitteln muss hochwertige Rezyklate sicherstellen	
1.3 Es empfiehlt sich eine zentrale, von den Kläranlagen entkoppelte Phosphorrückgewinnung über die Ascheroute	
1.4 Transparenz und Verbindlichkeit sind Voraussetzungen, um die nötigen Kapazitäten rechtzeitig bis 2029 aufzubauen	
1.5 Investitionssicherheit benötigt verbindliche Fristen und deren Einhaltung sollte nicht zu Nachteilen führen	
1.6 Die Langzeitlagerung von Klärschlammasche ist keine Lösung	
1.7 Das Futtermittelrecht muss angepasst werden, um den Absatz von Sekundärphosphor zu ermöglichen	
1.8 Eine Rezyklatquote schafft Marktsicherheit, zwingt Hersteller zur Nutzung und fördert den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft	
1.9 Die öffentliche Hand muss mit der Beschaffung von sekundärphosphorhaltigen Produkten den Markt stärken und ein Zeichen setzen	
1.10 Das Düngen mit Sekundärphosphor sollte in der Gemeinsamen Agrarpolitik verankert werden	
1.11 Die Externalitäten von Primärphosphor müssen eingepreist werden	
Kapitel 2: Hintergrund: Phosphor und das Potenzial zur Kreislaufführung	13
2.1 Phosphor ist unverzichtbarer Nähr- und Grundstoff für unsere Gesellschaft	
2.2 Für seine Phosphorversorgung ist Deutschland zu 100% von Importen abhängig	
2.3 Phosphor aus Klärschlamm könnte großen Teil des Bedarfs in Deutschland decken	
2.4 Fazit: Die Kreislaufführung von Phosphor birgt großes Potenzial	

Kapitel 3: Der Markt für Primärphosphor ist von wenigen Herstellern dominiert	23
3.1 Phosphor wird überwiegend als Dünge- und Futtermittel eingesetzt	
3.2 Phosphor wird in mehreren Schritten zu Produkten verarbeitet	
3.3 Phosphor wird hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzt	
3.4 In der Landwirtschaft dient Phosphor als Futtermittelergänzung	
3.5 Phosphor wird auch in industriellen Anwendungen genutzt	
Kapitel 4: Beim Aufbau der Phosphorrückgewinnung sind technologische und strategische Fragestellungen zu klären	30
4.1 Extraktion aus der Klärschlammasche ist der sinnvollste Weg, um Phosphor effizient zurückzugewinnen	
4.2 Technologien zur Rückgewinnung sollten sich an der politischen Ambition der AbfKlärV messen lassen: Reduktion von Schadstoffen und Schonung von Ressourcen	
4.3 Kläranlagenbetreiber müssen Strategien für die Klärschlammverbrennung und die Phosphorrückgewinnung entwickeln	
4.4 Es steht zu befürchten, dass mit Eintritt der Pflicht 2029 die notwendigen Kapazitäten nicht zur Verfügung stehen werden	
Kapitel 5: Um auf dem Markt Verwendung zu finden, muss Sekundärphosphor von Abfall zu einem Produkt werden	36
5.1 Nur im Düngebereich liegt eine produktspezifische Abfallenderegulierung vor	
5.2 Jenseits der EU-Düngeprodukte-Verordnung gibt es keine spezifische Abfallenderegulierung für Phosphorrezyklate, sodass das deutsche Kreislaufwirtschaftsrecht industrielle Anwendungszwecke regelt	
5.3 In Lebens- und Futtermitteln ist der Einsatz von Sekundärphosphor nicht erlaubt	
5.4 Auch der Markt stellt Produktanforderungen an Sekundärphosphor	
Kapitel 6: Die Entwicklung anderer Sekundärrohstoffmärkte liefert Fallbeispiele	40
6.1 Fallbeispiel Bioabfall	
6.2 Fallbeispiel Kunststoff	
Literaturverweise und Quellen	46
Impressum	54

Management Summary

Phosphor: strategische Ressource ...

- Phosphor ist **Grund- und Nährstoff unserer Gesellschaft**: als Düngemittel, als Futtermittel und in einer Reihe von industriellen Anwendungen
- In der Landwirtschaft ist Phosphor nicht substituierbar und damit **essenziell für die Versorgungssicherheit**

... und kritischer Rohstoff

- Dieser großen wirtschaftlichen Bedeutung steht ein **erhebliches Risiko** gegenüber: Deutschland ist zu 100% von Importen abhängig
- Auch die EU ist überwiegend von Importen abhängig
- Deutschland und die EU beziehen Phosphor überwiegend aus Ländern mit niedrigen rechtstaatlichen Standards

Ab 2029 besteht eine Rückgewinnungspflicht

- Phosphor kann aus Klärschlamm zurückgewonnen werden; damit liegt eine in Deutschland bislang nicht erschlossene Ressource vor
- Ab **2029** müssen Klärschlhammerzeuger aus Klärschlamm und Betreiber von Verbrennungsanlagen aus Klärschlammmasche Phosphor möglichst hochwertig zurückgewinnen

Diese kann auf zwei Arten umgesetzt werden:

- Bei der **Matrixentkopplung** mit P-Extraktion wird der Phosphor aus der Aschematrix extrahiert und als definierter (Grund-)Stoff, z.B. als Calciumphosphat oder Phosphorsäure, separiert. Dabei wird er auch effizient von Schwermetallen separiert
- Bei Technologien mit **Matrixverbleib** verbleibt der Phosphor in der Aschematrix, diese wird lediglich modifiziert und bleibt Teil des Produkts. Kaum oder gering belasteter Klärschlamm führt bei der Monoverbrennung zu kaum oder gering belasteten Aschen.

Matrixentkopplung und gering belastete Aschen werden der Ambition der AbfKlärV gerecht

- Die AbfKlärV wurde novelliert mit dem Ziel eines stärkeren Umwelt- und Ressourcenschutzes und insbesondere einer weiteren **Verringerung des Schadstoffeintrags** in den Boden
- Der Schadstoffeintrag lässt sich nur nachhaltig verringern, wenn die Schadstoffe konsequent aus dem Kreislauf herausgezogen werden

Eine Novellierung der DüMV zur Förderung von aschebasierten Düngemitteln muss hochwertige Rezyklate sicherstellen

- Mit Technologien mit Matrixverbleib lassen sich aschebasierte Düngemittel herstellen
- Es sollte auch möglich sein, kaum oder gering belastete Aschen in die Düngemittelproduktion zu integrieren

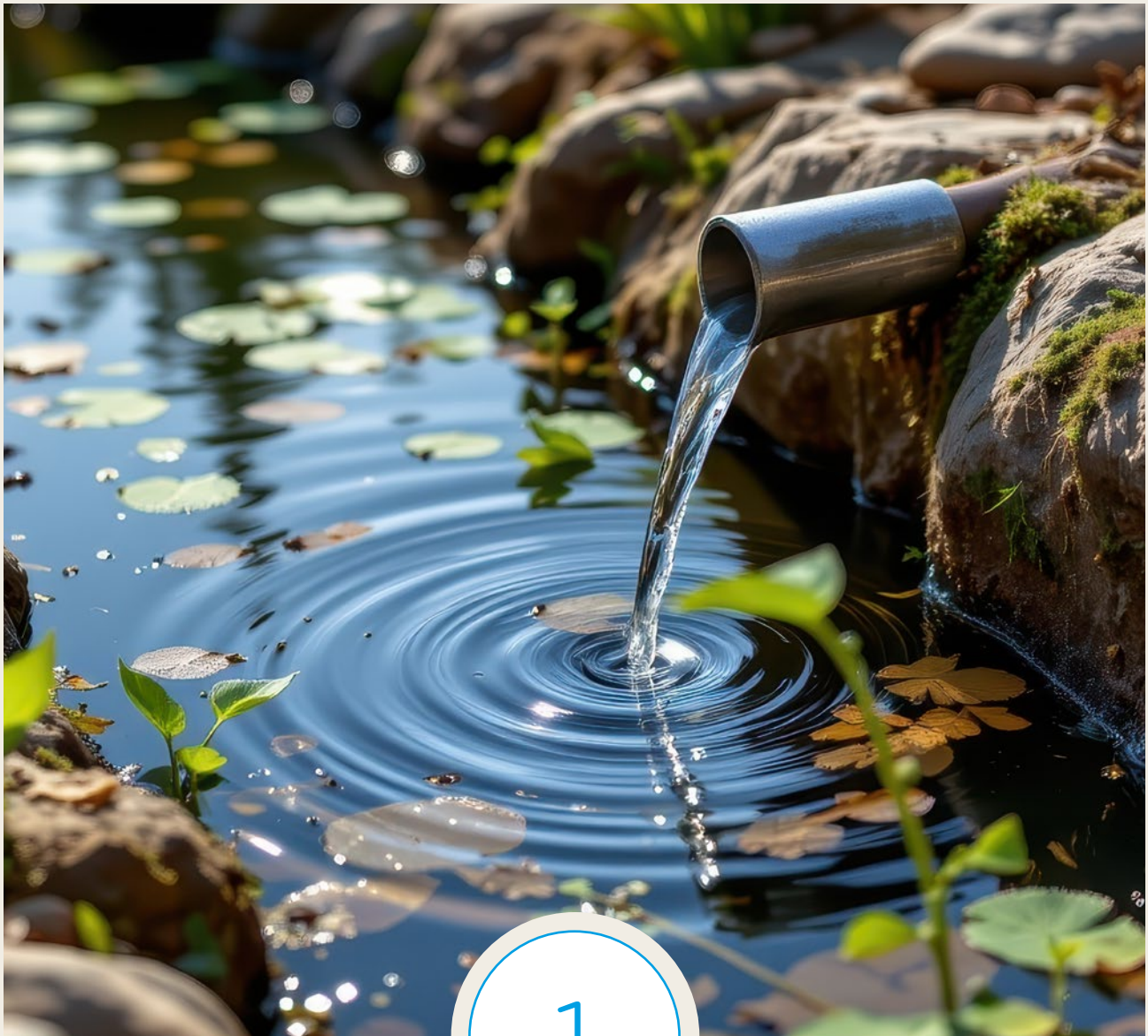
Es braucht eine Quote, um die Marktgängigkeit von Sekundärphosphor zu fördern

- Der Preis für Primärphosphor spiegelt weder umweltbezogene Externalitäten noch soziale Kosten
- Eine Quote schafft fairere Wettbewerbsbedingungen
- Die gesicherte Abnahme schafft Investitionssicherheit; die Kosten für das Recycling werden nicht nur von Pionieren getragen, sondern auf alle Marktteilnehmer verteilt

Vorschlag zur Ausgestaltung

- Anwendungsbereich: Inverkehrbringer von P-Düngemitteln in der EU (EU-Hersteller und -Importeure)
- Quotenmodell: Einstieg mit niedriger Quote (z.B. 5%) und stufenweise Erhöhung, auch unter Berücksichtigung der (steigenden) Mengen auf dem Markt
- Hybridmodell mit Zertifikaten (physische Beimischung oder Kauf von Zertifikaten)





12 Empfehlungen für die Gestaltung eines Marktes für Sekundärphosphor in Deutschland



Für eine echte Kreislaufwirtschaft müssen Schadstoffe konsequent aus dem Kreislauf herausgeschleust werden

Die AbfKlärV wurde novelliert mit dem Ziel eines stärkeren Umwelt- und Ressourcenschutzes und insbesondere einer weiteren Verringerung des Schadstoffeintrags in den Boden.¹ Lange war es gängige Praxis, Phosphor durch die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm wieder dem Stoffkreislauf zurückzuführen. 2022 wurden etwa 20% des Klärschlammes bodenbezogen in der Landwirtschaft verwertet. Diese Möglichkeit geht allerdings mit einer mitunter erheblichen Schadstoffbelastung (u.a. Krankheitserreger, Medikamentenrückstände, Hormone) einher.² Mit der AbfKlärV wurde die bodenbezogene Verwertung von Klärschlamm eingeschränkt: Ab 2029 dürfen nur noch Klärschlämme aus Abwasserbehandlungsanlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu 100.000 Einwohnerwerten bodenbezogen verwertet werden, ab 2032 nur noch Klärschlämme aus Anlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu 50.000 Einwohnerwerten.³

Für eine Reduzierung des Schadstoffeintrags reicht eine Einschränkung der bodenbezo-

genen Verwertung allerdings nicht aus. Der Schadstoffeintrag lässt sich nur nachhaltig verringern, wenn die Schadstoffe konsequent aus dem Kreislauf herausgezogen und herausgehalten werden.⁴ Im Sinne einer echten Kreislaufwirtschaft ist es eine qualitativ hochwertige Lösung, den Phosphor aus der Aschematrix zu extrahieren und z.B. als Calciumphosphat oder Phosphorsäure, zu separieren, damit er auch effizient von Schwermetallen separiert werden kann. Darüber hinaus führt wenig oder kaum belasteter Klärschlamm führt bei der Monoverbrennung zu kaum oder gering belasteten Aschen, die unter Einhaltung der geltenden Qualitätsanforderungen, insbesondere des vorsorgenden Boden- und Gewässerschutzes, zur Herstellung von bzw. Verwendung in Düngeprodukten eingesetzt werden können. Hierbei muss der Fokus auf der agronomischen Eignung, der Einhaltung von Grenzwerten für Schadstoffe sowie einer belastbaren Risikobetrachtung des jeweiligen Düngeprodukts liegen. Vermischungs- und Verdünnungsverbote sind dabei einzuhalten.



Eine Novellierung der DüMV zur Förderung von aschebasierten Düngemitteln muss hochwertige Rezyklate sicherstellen

Mit Technologien mit Matrixverbleib lassen sich aschebasierte Düngemittel herstellen. Es sollte auch möglich sein, kaum oder gering

belastete Aschen in die Düngemittelproduktion zu integrieren



Es empfiehlt sich eine zentrale, von den Kläranlagen entkoppelte Phosphorrückgewinnung über die Ascheroute

Die Produktion und der Verkauf von Sekundärphosphor und die damit einhergehende Übernahme von Produktverantwortung erfordern Ressourcen und Kompetenzen, die nicht zum Kerngeschäft von Abwasserentsorgern gehören. Zudem fordert der Markt Mindestabnahmemengen, die die Produktionskapazitäten der meisten Entsorger deutlich übersteigt. Auch bietet die Bündelung von Mengen Vorteile: Zum einen wird das Homogenisieren des Rezyklats vor dem Hintergrund der stark schwankenden Zusammensetzung von Klärschlamm bzw. Klärschlammmaschen erleichtert, zum anderen ist das Produkt weniger anfällig für kläranlagenspezifische Betriebsstörungen. Auch aus logistischen Gründen ist es sinnvoller, die Klärschlammmaschen zu zentralen Anlagen zu befördern. Es bietet sich also eine Spezialisierung entlang der Sekundärphosphor-Wertschöpfungskette an: Klärschlamm-

erzeuger geben den Klärschlamm in die thermische Verwertung (Monoverbrennung). Die Betreiber von Monoverbrennungsanlagen verarbeiten den Klärschlamm zu Klärschlammmasche. Verfahrensanbieter nehmen Klärschlammmaschen unterschiedlicher Herkunft an, gewinnen daraus Phosphor und bringen ihn in den Markt.

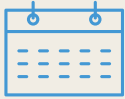
Vielfach wird von Abwasserentsorgern auf die Schwierigkeit bei der Bildung von Kooperationen hingewiesen. Dabei bieten sich Kooperationen vor dem Hintergrund der Marktstruktur – Hunderte von Klärschlammherzeugern unterschiedlicher Größe, die im gesamten Bundesgebiet verteilt sind – besonders an. Hier braucht es eingehendere Untersuchungen, wie Kooperationen zwischen Abwasserentsorgern gefördert werden können.



Transparenz und Verbindlichkeit sind Voraussetzungen, um die nötigen Kapazitäten rechtzeitig bis 2029 aufzubauen

Die Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen stehen vor der Aufgabe, bis Anfang 2029 ein Verfahren umzusetzen, für das es noch keine bewährte Lösung gibt. Dabei besteht eine gegenseitige Abhängigkeit zwischen Klärschlammherzeugern und Verfahrensanbietern: Verfahrensanbieter investieren in Kapazitäten, wenn Klärschlammherzeuger sich langfristig an sie binden; Klärschlammherzeuger sind zurückhaltend, sich langfristig an Verfahrensanbieter zu binden, weil daraus finanzielle Nachteile erwachsen könnten.

Erschwerend kommt hinzu, dass Technologie und Geschäftsmodell von Verfahrensanbietern von Klärschlammherzeugern häufig als „Black Box“ wahrgenommen werden. Hier empfiehlt sich ein engerer Austausch zwischen Wasserbetrieben und Verfahrensanbietern, wie er von Phosphor-Akteuren beispielsweise im Vereinigten Königreich oder in den Niederlanden beobachtet wird. Auch der Austausch zwischen den Verfahrensanbietern sollte auf eine wettbewerbsverträgliche Weise gefördert werden.



Investitionssicherheit benötigt verbindliche Fristen und deren Einhaltung sollte nicht zu Nachteilen führen

Zur Planungs- und Investitionssicherheit gehört auch das Festhalten an den in der AbfKlärV festgelegten Fristen. Neben dem Festhalten an den Fristen ist es wichtig, dass Klärschlammherzeuger, die sich um eine fristgerechte Umsetzung der Pflicht zum

Phosphorrecycling bemüht haben, nicht benachteiligt werden. Das könnte man umsetzen, indem beispielsweise eine Umlage von Klärschlammherzeugern erhoben wird, die die Pflicht nicht fristgerecht erfüllen.



Die Langzeitlagerung von Klärschlammmasche ist keine Lösung

Die AbfKlärV erlaubt die Lagerung der Klärschlammverbrennungssasche in einem Langzeitlager, sofern keine Vermischung stattfindet und die Möglichkeit einer späteren Phosphorrückgewinnung gewährleistet wird.⁵ Die Lagerung der Asche wird vielfach als Hemmnis für Investitionen in Rückgewinnungskapazitäten betrachtet. Auf der 101. Umweltministerkonferenz wurde festgestellt, dass Entscheidungen unter anderem aufgrund der Möglichkeit zur Langzeitlagerung nicht getroffen wurden.⁶

Die Deutsche Phosphor-Plattform (DPP) und der Verband Kommunaler Unternehmen (VKU) raten von einer Langzeitlagerung der Aschen ab.^{7,8} Der zusätzliche Aufwand für die Lagerung, die Rückholung und die anschließende Phosphorrückgewinnung verursacht im Vergleich zur unmittelbaren Phosphorrückgewinnung hohe Kosten, die vermeidbar sind. Zudem wird das Problem auf künftige Generationen verschoben.



Das Futtermittelrecht muss angepasst werden, um den Absatz von Sekundärphosphor zu ermöglichen

Die aktuelle europäische Futtermittelverordnung macht den Absatz von Sekundärphosphor als Zusatzmittel in der Tiernahrung unmöglich, weil keine Abfälle verwendet werden dürfen, die in der Behandlung von Abwasser gewonnen wurden. Eine Öffnung des Futtermittelrechts für definierte, qualitätsgesicherte Sekundärphosphorprodukte würde neue Absatzmärkte schaffen.



Eine Rezyklatquote schafft Marktsicherheit, zwingt Hersteller zur Nutzung und fördert den Aufbau einer Kreislaufwirtschaft

Für die Marktgängigkeit von Sekundärphosphor braucht es ein level playing field zwischen Primär- und Sekundärphosphor. Da der Preis für Primärphosphor weder umweltbezogene Externalitäten noch soziale Kosten spiegelt, ist Sekundärphosphor auf dem Markt zumindest preislich unattraktiver.

Mit Rezyklat-Einsatzquoten können fairere Wettbewerbsbedingungen geschaffen und damit der Einsatz von Rezyklaten gesteigert werden. Neuere Beispiele für Rezyklat-Einsatzquoten sind die EU-BattVO (2023), die Rezyklat-Einsatzquoten für bestimmte Metalle vorsieht, sowie die EU-Verpackungsverordnung (2022), die Rezyklat-Einsatzquoten für Kunststoffverpackungen vorsieht.⁹

Die durch die Quote gesicherte Abnahme schafft Investitionssicherheit. Die Kosten für das Recycling werden nicht nur von Pionieren getragen, sondern auf alle Marktteilnehmer verteilt.

Eine Quote für Sekundärphosphor könnte so ausgestaltet werden, dass sie Inverkehrbringer von P-Düngemitteln in der EU (d.h. EU-Hersteller und -Importeure) in die Pflicht nimmt. Denkbar wäre ein Einstieg mit einer niedrigen Quote (z.B. 5%) und einer stufenweisen Erhöhung, auch unter Berücksichtigung der (steigenden) Mengen auf dem Markt. Zu klären

wäre, ob eine physische Beimischung von Sekundärphosphor Pflicht ist oder ob der Pflicht auch über den Kauf von Zertifikaten nachgekommen werden kann, dies wäre dann ein Hybridmodell mit Zertifikaten. Damit würde z.B. der Tatsache Rechnung getragen werden, dass sich viele Produktionsstätten von P-Düngemitteln außerhalb der EU befinden.



Rechenbeispiel:

- Inlandsabsatz in Tonnen P/Jahr für Düngemittel: ca. 90.000
- Eine Quote von 5% würde eine gesicherte Abnahmemenge in 4.500 Tonnen recyceltem Phosphor/Jahr bedeuten
- Das maximale Potential an Sekundärphosphor beträgt nach einer UBA-Studie 50.000 Tonnen P/Jahr.



Die öffentliche Hand muss mit der Beschaffung von sekundärphosphorhaltigen Produkten den Markt stärken und ein Zeichen setzen

Mit der Nachfrage von Bund, Ländern und Kommunen können Marktpotenziale geschaffen und ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft geleistet werden: Die öffentliche Beschaffung hat sowohl Marktmacht als auch Vorbildfunktion.¹⁰ Auch Kommunen kaufen Düngemittel, beispielsweise für Parkanlagen und Friedhöfe. Nach § 45 KrWG muss die öffentliche Hand bei der Beschaffung unter anderem Erzeugnisse bevorzugen, die durch Recycling von Abfällen hergestellt worden sind. Dennoch

stehen Beschaffende in der Praxis vor Bedenken und Hürden, die eine Umsetzung der Bevorzugung erschweren. Es gilt die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass sekundärphosphorhaltigen Düngemitteln bei der öffentlichen Beschaffung der Vorrang gewährt werden kann, zum Beispiel mit gesonderten Quoten, der Definition von Bewertungskriterien in der Beschaffung oder Handreichungen zur Bewertung von Sekundärphosphor.



Das Düngen mit Sekundärphosphor sollte in der Gemeinsamen Agrarpolitik verankert werden

Düngemittel mit Sekundärphosphor sollten im Rahmen der Grundanforderungen für die Betriebsführung und gute landwirtschaftliche und ökologische Bedingungen (GLÖZ-Standards) verankert werden.¹¹ Zudem sollte eine

engere Verzahnung zwischen der Gemeinsamen Agrarpolitik, der EU-Kreislaufwirtschaftsstrategie und der EU-Düngemittelverordnung stattfinden.



Die Externalitäten von Primärphosphor müssen eingepreist werden

Der Preis für Primärphosphor spiegelt nicht ausreichend die damit verbundenen Externalitäten (Umweltschäden, Menschenrechtsverletzungen, etc.). Werden diese eingepreist, wird Primärphosphor teurer und Sekundärphosphor damit attraktiver. Es sollten dringlich Modelle erarbeitet und untersucht werden zur Einpreisung der Externalitäten von Primärphosphor. Ein Vorschlag der European Sustainable Phosphorus Plattform (ESPP) ist die Erweiterung des Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM).¹² Der CBAM besteuert emissionsintensive Waren beim Import in die

EU. Umgesetzt wird das durch die Verpflichtung zum Erwerb von CBAM-Zertifikaten. Der Preis der CBAM-Zertifikate ist eng mit dem europäischen Emissionshandel verknüpft. Ab Januar 2026 müssen EU-Unternehmen CBAM-Zertifikate für die in importierten Düngemitteln enthaltenen Emissionen erwerben.¹³ Die ESPP schlägt vor, ein „Phosphorus Border Adjustment Mechanism“ (PBAM) auf phosphorhaltige Produkte (Düngemittel, Futtermittel, Lebensmittel) einzuführen.¹⁴



Hintergrund: Phosphor und das Potenzial zur Kreislaufführung

Phosphor ist ein Rohstoff, der als Düngemittel und Futtermittel unverzichtbar ist für die globale Versorgungssicherheit. Auch in der Industrie findet er breite Verwendung. Dieser großen Bedeutung steht ein erhebliches Versorgungsrisiko gegenüber: Deutschland verfügt nicht über natürliche Phosphatvorkommen und ist zu 100% von Importen abhängig. Dabei wird Phosphor zum Großteil aus Ländern importiert, die geringe rechtsstaatliche Standards haben. Mit dem Phosphor, der sich durch menschliche Ausscheidungen im Klärschlamm ansammelt, liegt eine in Deutschland bislang nicht erschlossene Ressource vor. Ab 2029 ist es in Deutschland verpflichtend, Phosphor aus Klärschlamm bzw. Klärschlammasche zurückzugewinnen. Damit könnte ein Potential von etwa 50.000 Tsd. Tonnen Phosphor/Jahr gehoben werden. Das würde einen großen Teil des Phosphorbedarfs in Deutschland decken. Dabei trägt die Kreislaufführung von Phosphor nicht nur zur Unabhängigkeit Deutschlands bei, sondern reduziert auch die Umwelt- und die sozialen Belastungen, die mit der Produktion von Primärphosphor einhergehen.

Phosphor ist unverzichtbarer Nähr- und Grundstoff für unsere Gesellschaft

Phosphor ist ein Rohstoff, der als Nährstoff für alles Leben auf der Erde unentbehrlich ist. Sowohl bei Menschen als auch bei Tieren und Pflanzen ist er unverzichtbarer Baustein von Zellen und Erbgut und spielt eine zentrale Rolle bei der Energieversorgung.¹⁵ Weder kann man ihn aus anderen Stoffen herstellen, noch kann man ihn durch andere Stoffe ersetzen. Schon im vergangenen Jahrhundert bezeichnete ihn der Schriftsteller Isaac Asimov deshalb als „*Flaschenhals des Lebens*“.¹⁶

Pflanzen nehmen Phosphor über den Boden auf, Menschen und Tiere über die Nahrung.¹⁷ Ohne menschliche Einwirkung wird Phosphor ganz natürlich im Kreislauf geführt: Pflanzen sterben ab und verrotten, der Phosphor wird dem Boden zurückgeführt und steht für neues Wachstum zur Verfügung.¹⁸ Mit der Ernte wird dieser Kreislauf durchbrochen. Der Boden verarmt und muss künstlich mit Nährstoffen versorgt werden.¹⁹ Neben Kalium und Stickstoff zählt Phosphor zu den wichtigsten Nährstoffen in der Landwirtschaft. Der überwiegende Teil des abgebauten Phosphors wird in der Düngemittelproduktion verwendet: Schätzungen reichen von etwa 80 bis 95%.²⁰ Phosphatdüngemittel kommen sowohl in der industriellen als auch in der kleinbäuerlichen Landwirtschaft flächendeckend zum Einsatz und sind von elementarer Bedeutung für den Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und damit für

die globale Versorgungssicherheit.²¹ Die zweitwichtigste Anwendung findet Phosphor ebenfalls in der Landwirtschaft, als Futtermittel.²²

Phosphate, die nicht in der Düngemittelindustrie eingesetzt werden, werden als technische Phosphate bezeichnet.²³ Technische Phosphate sind Grundstoffe für eine breite Palette von Industrieanwendungen, insbesondere in der Getränke- und Lebensmittelindustrie und in der Reinigungsmittelindustrie.²⁴

Ein übermäßiger Eintrag von Phosphor belastet die Umwelt

Menschliches Eingreifen in Form von Düngen kann den natürlichen Phosphorkreislauf aus dem Gleichgewicht bringen.²⁵ So werden beispielsweise an mehr als der Hälfte aller Messstellen an deutschen Flüssen zu hohe Phosphor-Konzentrationen gemessen. Die Überdüngung der Gewässer (Eutrophierung) löst übermäßiges Wachstum von Algen und Wasserpflanzen aus und kann in Extremsituationen zu Fischsterben führen.²⁶ Technische Phosphate verschärfen das Problem der Eutrophierung, indem beispielsweise phosphorhaltige Reinigungsmittel über das Abwasser in die Gewässer gelangen.²⁷ Eine entscheidende Gegenmaßnahme ist die Herstellung und Nutzung von Düngemitteln, deren Nährstoffgehalte auf die Bedürfnisse der Böden abgestimmt sind. Weitere Gegenmaßnahmen sind sowohl die Reduzierung von Phosphor in Produkten als auch die Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlagen.²⁸



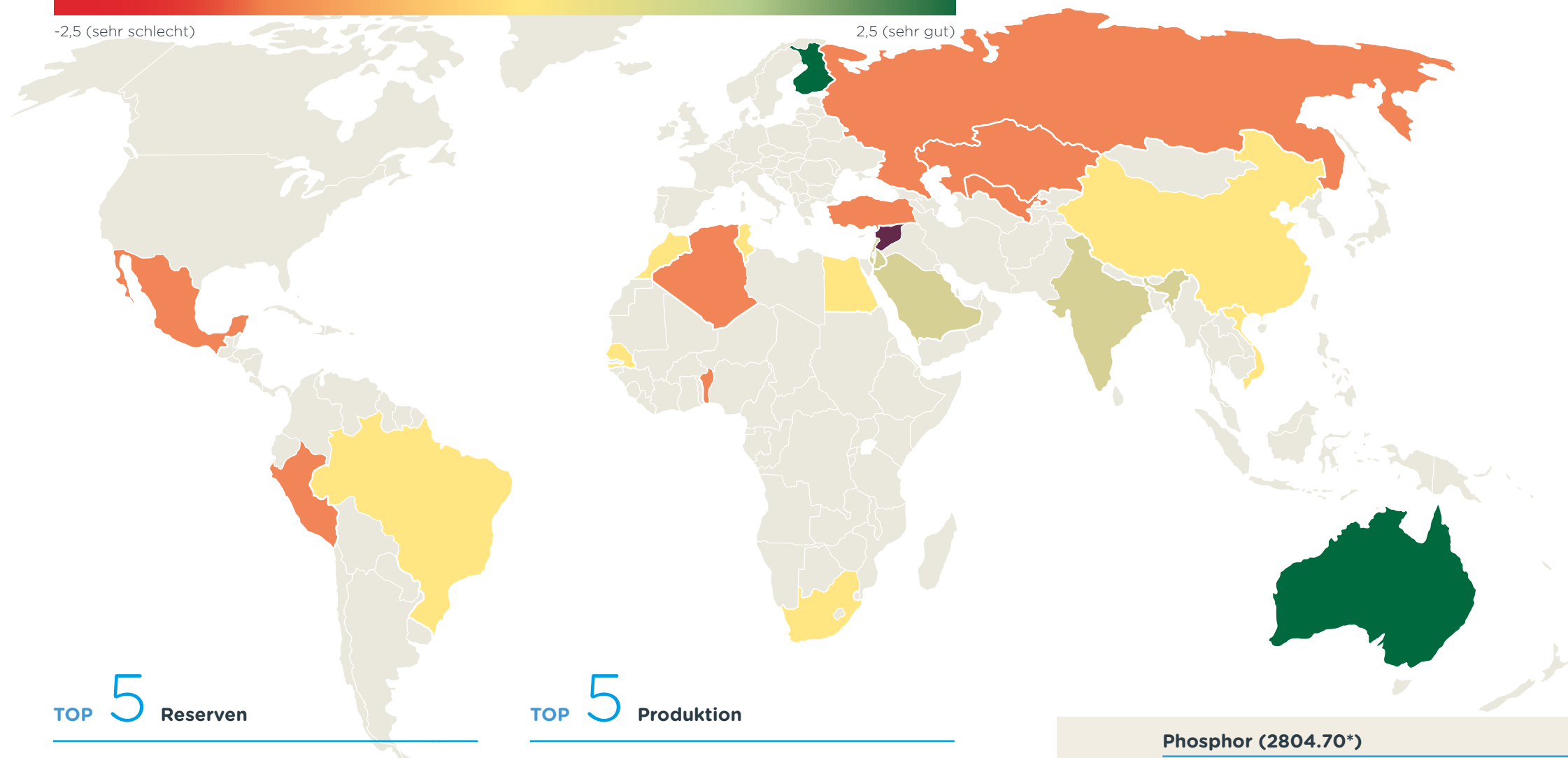
Phosphor:

Phosphor (Symbol „P“, Ordnungszahl 15) ist ein essenzielles Element für alle lebenden Organismen, da es ein Hauptbestandteil von DNA und RNA ist und bei der Energieübertragung in Zellen eine Rolle spielt. In der Natur kommt Phosphor nicht als freies Element vor, sondern hauptsächlich in gebundener Form als Phosphat (P_2O_5), meistens in Mineralien in der Erdkruste. Phosphor gehört rein mengenmäßig zu den häufigsten Elementen der Erde. In der einschlägigen Literatur wird sehr oft von Phosphor gesprochen, obwohl es sich um Phosphat handelt.^{53, 54, 55}

Phosphat findet sich überwiegend in Ländern mit niedriger Rechtsstaatlichkeit; mit dem Import von Phosphorprodukten machen sich Deutschland und die EU abhängig von geopolitisch schwierigen Partnern

Abb. 1: Länder, die über Phosphatreserven verfügen inkl. Kennzeichnung des Rechtsstaatlichkeitsscores 2023

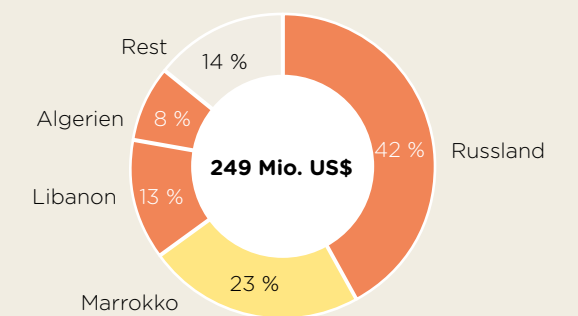
Rechtsstaatlichkeit („rule of law“-Indikator der Weltbank 2023)



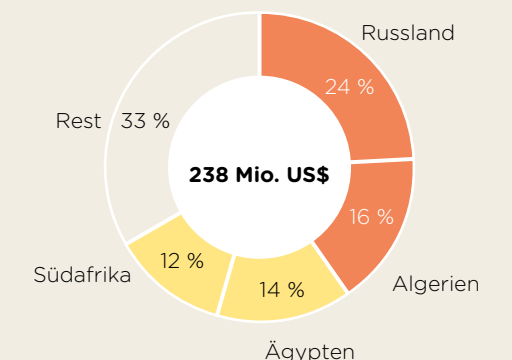
Quelle: U.S. Geological Survey 2025, World Bank 2025

Abb. 2: Importe von ausgewählten Phosphor-Handelsprodukten in die EU 2023 nach Herkunftsland

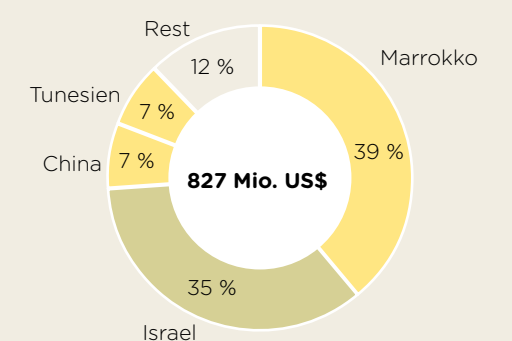
Natürliche Calciumphosphate, natürliche Aluminiumcalciumphosphate und Phosphatkreiden (nicht gemahlen) (2510.10.00*)



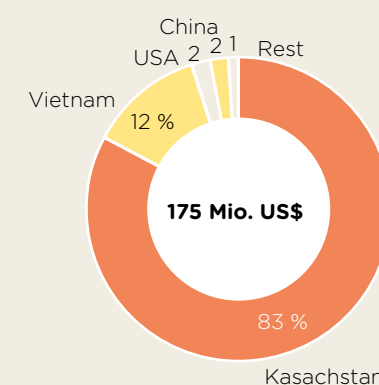
Natürliche Calciumphosphate, natürliche Aluminiumcalciumphosphate und Phosphatkreiden (gemahlen) (2510.20.00*)



Phosphorsäure und Polyphosphorsäuren (2809.20.00*)



Phosphor (2804.70*)



* Genutzte Nomenklatur: HO - HS 1988/1992

Quelle: World Integrated Trade Solution 2025

Für seine Phosphorversorgung ist Deutschland zu 100% von Importen abhängig

Der großen wirtschaftlichen Bedeutung von Phosphor steht ein erhebliches Versorgungsrisiko gegenüber: Deutschland verfügt nicht über natürliche Phosphatvorkommen und ist zu 100% von Importen abhängig.²⁹

Abbauwürdige Phosphorvorkommen sind global sehr ungleich verteilt.³⁰ Das U.S. Geological Survey (USGS) schätzt, dass es weltweit 74 Mrd. Tonnen Rohphosphat-Reserven gibt. Auf der Weltkarte in Abbildung 1 sind die Länder, in denen Reserven bekannt sind, eingefärbt. Der USGS-Schätzung zufolge weist Marokko mit 50 Mrd. Tonnen mit Abstand die größten Vorkommen auf, gefolgt von China mit 4 Mrd. Tonnen.³¹ Eine akute Rohstoffknappheit ist nicht zu erwarten,^{32, 33} Zudem werden mit hoher Wahrscheinlichkeit neue Ressourcen erschlossen werden können.³⁴

2023 war der größte Produzent von Rohphosphat China mit 90 Mio. Tonnen, gefolgt von Marokko (35 Mio. Tonnen), den USA (20 Mio. Tonnen) und Jordanien (12 Mio. Tonnen).³⁵

Abbildung 2 zeigt EU-Importe von ausgewählten Phosphat-Handelsprodukten. 2023 hat die EU Phosphat in Form von Gestein im Wert von 487 Mio. US\$ importiert. Nicht gemahlen stammte es hauptsächlich aus Russland und Marokko, gemahlen hauptsächlich aus Russland und Algerien. Den größten Einfuhrwert verzeichnet das Handelsprodukt „Phosphorsäure und Polyphosphorsäuren“ mit 827 Mio. US\$. Phosphor importierte die EU im Wert von 175 Mio. US\$, überwiegend aus Kasachstan.³⁶



Von der EU wird Phosphor als „kritischer Rohstoff“ eingestuft.³⁷ Nach EU-Definition sind das Rohstoffe, „die aufgrund ihrer großen wirtschaftlichen Bedeutung und ihres hohen Versorgungsrisikos, das häufig durch eine hohe Konzentration des Angebots aus einigen wenigen Drittländern verursacht wird, als kritisch angesehen werden“.³⁸

Die Versorgung mit Phosphor unterliegt Preis- und Lieferrisiken

Die Deutsche Rohstoffagentur ermittelt regelmäßig Preis- und Lieferrisiken für verschiedene Rohstoffe anhand der Länderkonzentration (Herfindahl-Hirschman-Index, HHI) und des gewichteten Länderrisikos (GLR). In Bezug auf Phosphat werden fünf Handelsprodukte untersucht in den Kategorien Steine, chemische Erzeugnisse und Düngemittel. Wie auf Abbildung 3 zu sehen ist, waren all diese Produkte bei der letzten Bewertung 2020 mit Risiko behaftet, vier davon sogar mit einem hohen Risiko.³⁹

Betrachtet man die Länder, aus denen Deutschland diese Produkte bezieht, ergibt sich seit der Risikobewertung 2020 ein kritischeres Risiko. In einer Pressemitteilung von Juni 2022 warnte der Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) vor dem strategischen Risiko im Bereich Phosphor, weil die Logistik von Kasachstan über Russland und Belarus erfolgt.⁴⁰

Die Düngemittelindustrie ist stark vertikal integriert

Die Phosphatdüngemittelindustrie ist stark vertikal integriert, das heißt, die meisten Phosphatdüngemittelhersteller sind selbst im Bergbau tätig. Nur 30% der Phosphatdüngemittelhersteller sind auf den Kauf von Rohphosphat oder Phosphorsäure angewiesen.⁴¹ Von den 5 Mitgliedern des Industrieverbands Agrar (iva), die phosphorhaltige Düngemittel in Deutschland vertreiben, verfügen 4 über konzern-

eigene Phosphatminen: ICL in Israel und China, Yara in Finnland, EuroChem in Kasachstan, Brasilien und Russland und das Mutterunternehmen von Compo, Grupa Azoty, in Senegal.

Der Trend in Richtung einer vertikalen Integration setzt sich fort. Die Länder mit den größten Phosphorvorkommen ziehen die Wertschöpfungsketten mehr und mehr an sich.⁴² 80% des weltweit geförderten Rohphosphats wird direkt vor Ort weiterverarbeitet.⁴³ Das wirkt sich nicht nur auf Wertschöpfungspotenziale in Deutschland aus, sondern birgt ein zusätzliches Versorgungsrisiko, weil Düngemittel besonders von Handelsbarrieren betroffen sind.⁴⁴

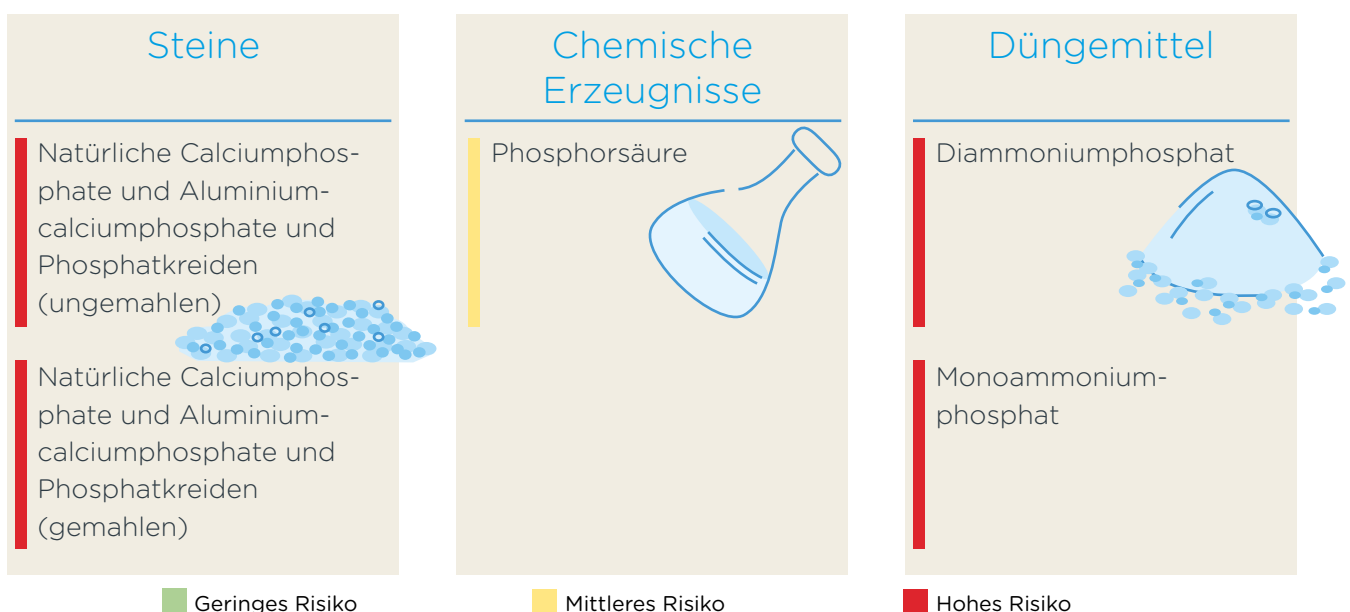
Die Einbettung der Phosphor-Wertschöpfungskette in größere politische und wirtschaftliche Zusammenhänge wirkt sich auf die Preise von Düngemitteln und Lebensmitteln aus.⁴⁵ In seiner Analyse des Düngejahres 2024 führt der Industrieverband Agrar e.V. (IVA) zahlreiche Faktoren auf, die sich auf den Düngemittelmarkt ausgewirkt haben. Insbesondere Verwerfungen in den globalen

Lieferketten durch die Coronapandemie wirken immer noch nach und führen zu höheren Transportkosten und Verzögerungen.⁴⁶

Die Einfuhr in die EU von Phosphor-Düngemitteln aus Russland und Belarus ist aufgrund bestehender Abhängigkeiten und der Relevanz für die Versorgungssicherheit nicht betroffen von den Sanktionen infolge des russischen Angriffskriegs auf die Ukraine. Auch Vorprodukte sind nicht betroffen. 2023 war Russland Hauptimporteur von natürlichen Calciumphosphaten in die EU (siehe Abbildung 2).⁴⁷

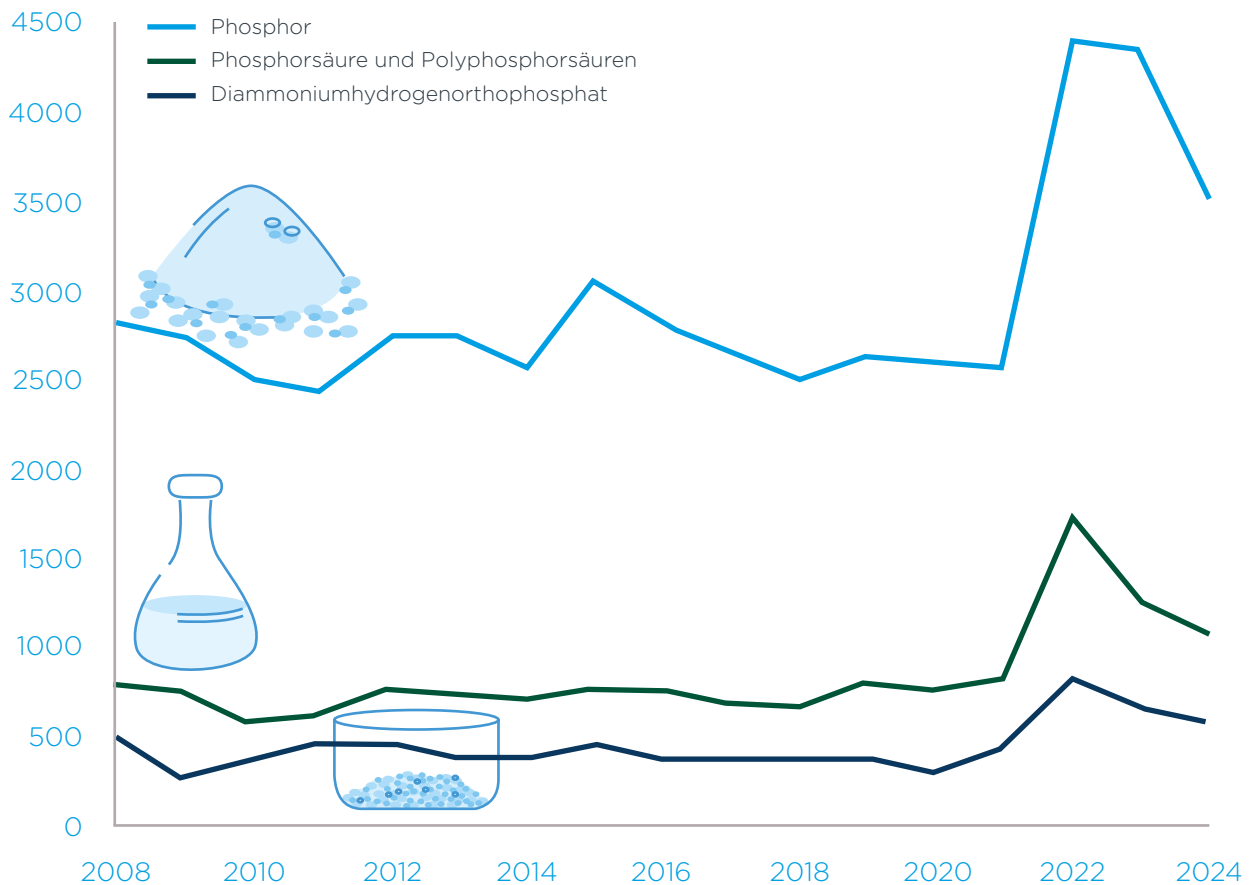
2024 haben unter den phosphorhaltigen Produkten wertmäßig das Düngemittel DAP sowie die Zwischenprodukte Phosphorsäure und Phosphor die Außenhandelsstatistik angeführt. 2022 ist für alle Produkte ein hoher Anstieg zu verzeichnen; die Preise sind noch nicht auf das Niveau vor 2022 zurückgekehrt (Abbildung 4).⁴⁸

Abb. 3: Preis- und Lieferrisiken von 5 Phosphor-Handelsprodukten 2020



Quelle: DERA 2023

Abb. 4: Preisentwicklung von drei ausgewählten phosphorhaltigen Produkten in Euro/Tonne



Quelle: Destatis 2025

Rohphosphate sedimentären Ursprungs weisen hohe Schwermetallgehalte auf

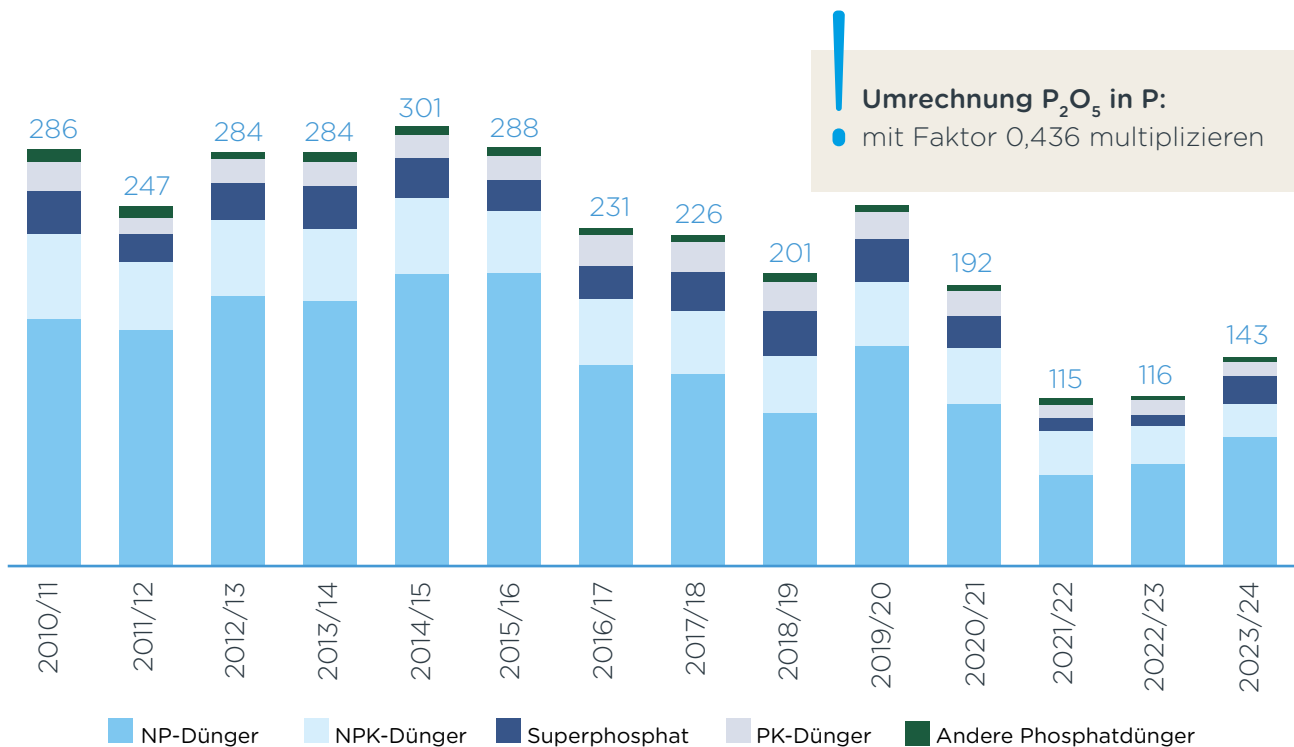
Eine weitere, für die Versorgung kritische Entwicklung liegt in der zunehmenden Schadstoffbelastung von Primärphosphor.⁴⁹ Die aus sedimentären abgebauten Rohphosphate sind zunehmend mit toxischen Schwermetallen (vor allem Cadmium und Radionukliden) belastet.⁵⁰ Das 2019 aus Russland nach Deutschland importierte Rohphosphat war magmatischen Ursprungs und wies keine relevanten Schwermetallgehalte auf; das Rohphosphat aus Israel, dem Senegal und Marokko dagegen war sedimentären Ursprungs und wies hohe Schwermetallgehalte auf.⁵¹

* Lieferungen der Produzenten und Importeure an Absatzorganisationen oder Endverbraucher in Deutschland; Absatz und tatsächlicher Verbrauch können z.B. durch Lagerhaltung abweichen)

Phosphor aus Klärschlamm könnte großen Teil des Bedarfs in Deutschland decken

Deutschland verfügt über keine natürlichen Vorkommen an Phosphor, weshalb der Rohstoff aktuell ausschließlich über Import bezogen wird. Laut Düngemittelstatistik schwankte der Inlandsabsatz* von Phosphatdüngern (in Tonnen P_2O_5) im Zeitfenster 2010 bis 2024 zwischen 115 Tsd. und 301 Tsd. Tonnen pro Jahr, das entspricht einer Spannweite von 50 Tsd. bis 131 Tsd. Tonnen P pro Jahr. (Abbildung 5)⁵²

Abb. 5: Inlandsabsatz von Phosphat-Düngern in Deutschland nach Düngemittelsorten in Tsd. Tonnen P_2O_5



Quelle: Destatis 2025

Der von Menschen und Tiere aufgenommene Phosphor sowie der in der Industrie eingesetzte Phosphor bleiben erhalten und finden sich lediglich an anderen Stellen des Systems wieder. Im Klärschlamm, der in der Abwasserbehandlung entsteht, wird ein wesentlicher Teil der Phosphormenge angesammelt.

2022 wurden 1,7 Mio. Tonnen Trockenmasse Klärschlamm aus der biologischen Abwasserbehandlung entsorgt, wobei der Großteil (80%) thermisch entsorgt wurde. 20% wurden in der Landwirtschaft landwirtschaftlich genutzten Böden verwertet.⁵⁶ Der Teil der kommunalen Klärschlämme, der zu Düngezwecken auf landwirtschaftlich genutzten Böden verwertet wurde, wies im Jahr 2016 einen durchschnittlichen Phosphorgehalt von 26 Gramm je Kilogramm Trockensubstanz.⁵⁷

Es liegen unterschiedliche Schätzungen zum Phosphorrecycling-Potenzial in Deutschland vor. In einem Artikel von 2019 schätzt Christian Kabbe das theoretische Marktvolumen aus der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm mit einer Rückgewinnungsrate von 80% aus der Ascheroute auf 40.000 bis 50.000 Tonnen P/Jahr.⁵⁸ In einer Studie von 2018 schätzt das Umweltbundesamt (UBA) das Marktvolumen aus der Phosphorrückgewinnung aus kommunalem Klärschlamm ebenfalls auf 50.000 Tonnen P/Jahr. Würde der Phosphor aus der Klärschlammasche zurückgewonnen, wird das Marktvolumen auch auf 50.000 Tonnen P/Jahr geschätzt.⁵⁹ Wird das Marktpotenzial dem Düngemittelabsatz in Deutschland gegenübergestellt, wird klar, dass ein großer Teil des Phosphor-Bedarfs für

das Düngen aus der heimischen Quelle Klärschlamm gedeckt werden könnte.

Der Abwasserwirtschaft kommt bei der Phosphorrückgewinnung eine entscheidende Rolle zu

Die 2025 in Kraft getretene EU-Richtlinie über die Behandlung von kommunalem Abwasser (KARL) fordert die EU-Mitgliedstaaten auf, sich für die Rückgewinnung wertvoller Ressourcen einzusetzen.⁶⁰ Deutschland hat eine Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor bereits 2017 durch die Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung (AbfKlärV) eingeführt⁶¹. Diese Ambition war bereits im Koalitionsvertrag 2013 verankert worden. Darin nimmt sich die Bundesregierung vor, aus der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlämmen zu Dünge Zwecken auszusteigen und Phosphor und andere Nährstoffe zurückzugewinnen.

Die Lagerung der Klärschlammverbrennungsasche in einem Langzeitlager ist zulässig, sofern keine Vermischung stattfindet und die Möglichkeit einer späteren Phosphorrückgewinnung gewährleistet bleibt.

Fazit: Die Kreislaufführung von Phosphor birgt großes Potenzial

Auf EU-Ebene wird Phosphor als kritischer Rohstoff eingestuft, dessen Rückgewinnung essenziell für die Versorgungssicherheit der Mitgliedstaaten ist. Als Teil des European Green Deals, der jetzt unter dem Namen EU Clean Industrial Deal weitergeführt wird⁶², beschäftigt sich der New Circular Economy Action Plan (CEAP) mit der nachhaltigen

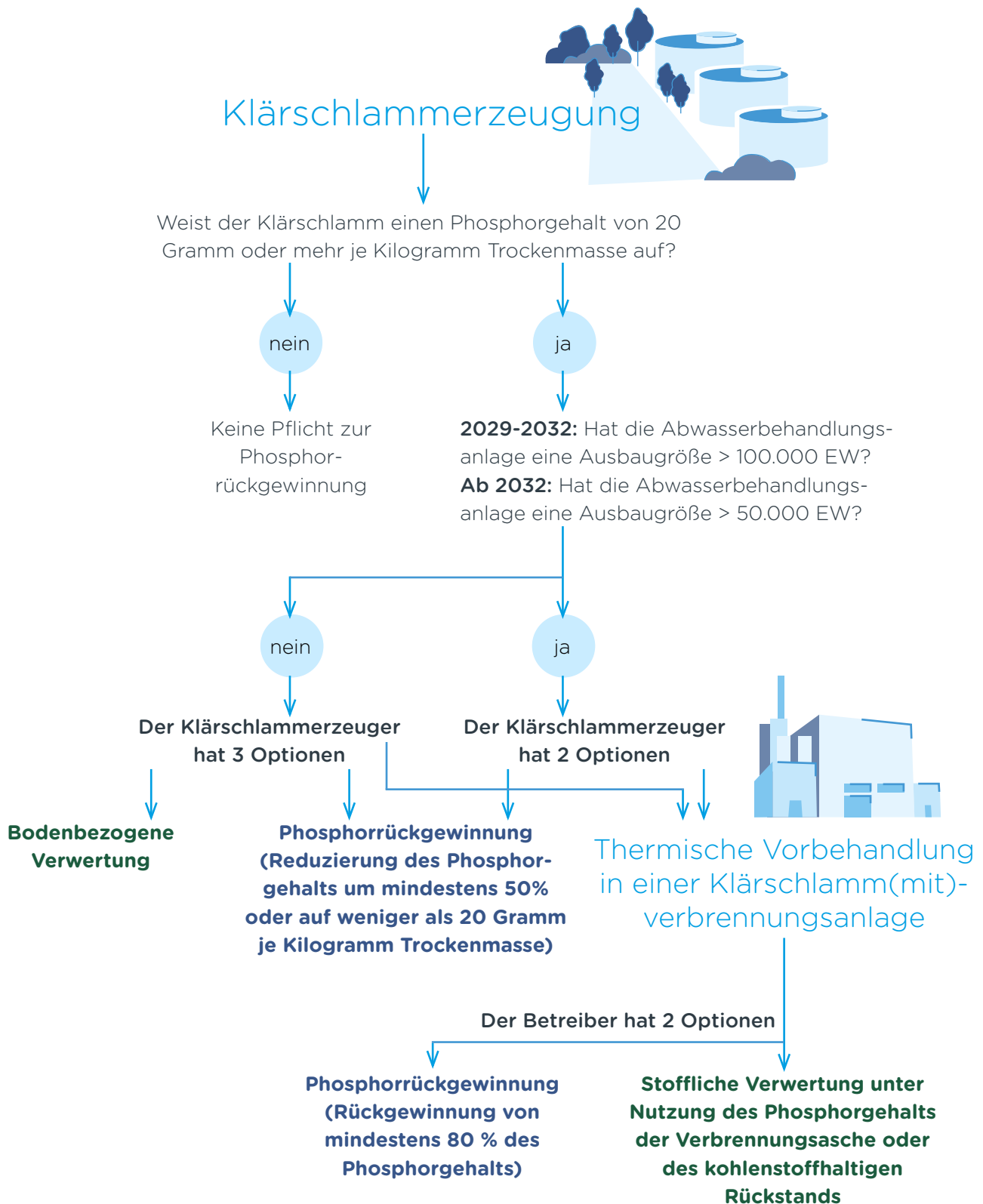
Nutzung von Ressourcen entlang der ganzen Wertschöpfungskette.⁶³ Der Critical Raw Materials Act verpflichtet die Mitgliedstaaten dazu, Maßnahmen zur Stärkung des Recyclings zu ergreifen.

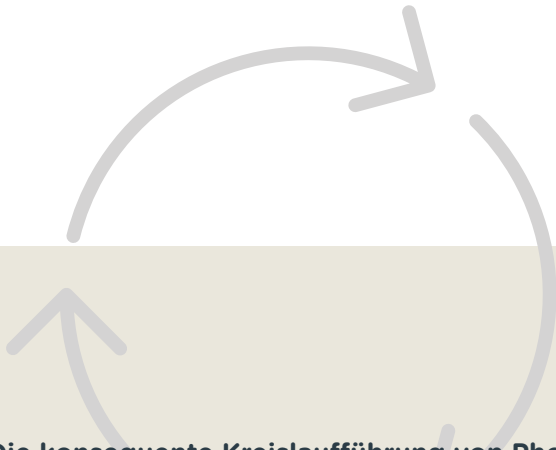
Ergänzend dazu fordert die Überarbeitung der Kommunalen Abwasserrichtlinie (KARL) die Mitgliedsstaaten auf, Maßnahmen zur Förderung der Erzeugung und des Erwerbs rückgewonnener Nährstoffe wie Phosphor aus Abwasser und Klärschlamm zu entwickeln und umzusetzen.

Mit der AbfKlärV hat Deutschland dieses Ziel schon 2017 in Gesetzgebung überführt. Im Koalitionsvertrag 2021 wird das Ziel formuliert, eine echte Kreislaufwirtschaft zu etablieren und die Rückgewinnung strategischer Rohstoffe zu stärken. Damit rückt das Phosphorrecycling stärker in den Fokus politischer Zielsetzungen als in früheren Legislaturperioden. Die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie der Bundesregierung unterstreicht die Bedeutung der Phosphorrückgewinnung zur Reduktion von Rohstoffimportabhängigkeiten und zur Schließung stofflicher Kreisläufe. Eine gemeinsame Erklärung des Bundes und 13 Bundesländern sieht eine sofortige Verbesserung der Voraussetzung für die Rückgewinnung von Phosphor vor.⁶⁴ Das macht deutlich: Phosphorrecycling ist einerseits ökologisch sinnvoll, andererseits dringend notwendig für die Erreichung politischer Ziele auf EU-, nationaler und Länderebene.

Damit reiht sich das Phosphorrecycling und die Kreislaufführung von Phosphor in eine Vielzahl von politischen Zielen auf EU- und nationaler Ebene ein.

Abb. 6: Ausgestaltung der Rückgewinnungspflicht





Die konsequente Kreislaufführung von Phosphor ist die Lösung für eine Vielzahl von politischen Herausforderungen und knüpft an bestehende politische Ambitionen an. Die Kreislaufführung von Phosphor...

- kann einen Beitrag dazu leisten, die Rohstoffversorgung in Deutschland zu sichern und die Widerstandsfähigkeit der Lieferketten und die Resilienz der Wirtschaft zu stärken. Sie senkt Deutschlands Abhängigkeit von Ländern, die sich durch problematische Regierungsführung auszeichnen,
- kann zur Stabilisierung der Phosphorpreise und damit zur Stabilisierung der Preise von Düngemitteln und Lebensmitteln beitragen,
- bietet die Chance, Teile der Phosphor-Wertschöpfungskette nach Deutschland zu verlagern, sich effektiver vor Handelsbarrieren zu schützen und die hiesige Wirtschaft zu stärken,
- senkt den Bedarf an Primärphosphor und reduziert damit die Umweltbelastungen, die mit der Produktion von Primärphosphor einhergehen,
- senkt den Bedarf an Primärphosphor und reduziert damit die soziopolitischen Externalitäten, die mit der Produktion von Primärphosphor einhergehen (z.B. Menschenrechtsverletzungen),⁶⁵
- steigert die Menge an verfügbarem Phosphor und trägt zur Diversifizierung der Phosphorquellen bei. Das ist besonders relevant vor dem Hintergrund einer steigenden Weltbevölkerung bei gleichzeitiger Verknappung fruchtbarer Böden⁶⁶
- bietet Deutschland die Chance, mit der im europäischen Vergleich früh eingeführten Phosphorrückgewinnungspflicht eine Vorreiterrolle einzunehmen und Standards für good practice zu setzen



Der Markt für Primärphosphor ist von wenigen Herstellern dominiert

Der Phosphorbedarf in Deutschland wurde für das Jahr 2014 auf ca. 195.000 Tonnen Phosphor geschätzt. Phosphor wird überwiegend in der Landwirtschaft eingesetzt, als Dünge- und Futtermittel. Der größte Teil des in Deutschland eingesetzten Phosphors wird im Bergbau gewonnen. Der Markt wird von wenigen Playern dominiert, die vertikal integriert sind und den in eigenen Minen gewonnenen Phosphor zur Produktion von Düngemitteln einsetzen. In Deutschland gibt es nur eine Produktionsstätte für P-Düngemittel.

Phosphor wird überwiegend als Dünge- und Futtermittel eingesetzt

Gesamtheitliche und aktuelle Zahlen zum Phosphorverbrauch in Deutschland liegen nicht öffentlich zugänglich vor. Das UBA hat die Hauptproduktgruppen phosphorhaltiger Erzeugnisse für das Jahr 2014 zusammengestellt und die dafür jährlich benötigte Menge an Phosphor in Deutschland auf etwa 195.000 Tonnen Phosphor geschätzt. In Abbildung 7 sind sie nach absteigender Menge geordnet. Als Düngemittel und Futtermittel wird Phosphor überwiegend in der Landwirtschaft verwendet. In der Industrie wird Phosphor vor allem in Seifen und Detergenzien und in der Metallbehandlung eingesetzt.⁶⁷

Phosphor wird in mehreren Schritten zu Produkten verarbeitet

Am Anfang des Verarbeitungswegs von phosphathaltigen (Zwischen-)Produkten steht Phosphaterz. 85% der derzeit geförderten Phosphate kommen aus sedimentären Lagerstätten. Der überwiegende Teil wird im industriellen, offenen Tagebau abgegraben.⁶⁸ Das Erz weist in der Regel eine Konzentration von 5-25% P_2O_5 auf.⁶⁹ Neben Phosphat beinhalten sie auch andere Elemente, die sich positiv oder negativ auf den Wert und die Brauchbarkeit des Phosphats auswirken können.⁷⁰ Durch physikalische Verfahren wie Mahlen, Waschen, Sieben und Flotieren wird es meist noch in der Nähe des Tagebaus zu Phosphatkonzentraten, sogenanntem Rohphosphat, aufbereitet.⁷¹ Der P_2O_5 -Gehalt von marktfähigem Rohphosphat liegt zwischen 27-40%.^{72,73} Rohphosphat ist der Ausgangsstoff für Rohphosphorsäure, die wiederum zu Phosphorsäure weiterverarbeitet werden kann.⁷⁴ Der Verarbeitungsweg von Rohphosphat zu Düngemitteln bzw. zu Grundstoffen für die industrielle Verwendung wird in den jeweiligen Kapiteln weiter erläutert.

Die Phosphorproduktion ist vertikal stark integriert

Phosphor wird zu verschiedenen Düngemittelprodukten verarbeitet

Zermahlenes Phosphat kann direkt auf die Ackerfläche gegeben werden. Diese Praxis findet vor allem in ländlichen Gebieten ohne Marktanbindung statt und ist weltweit im Rückgang.⁷⁵

Ausgangsstoff für die Produktion von Düngemitteln sind Phosphatkonzentrat oder Phosphorsäure.⁷⁶ Unterschieden werden phosphathaltige Einnährstoffdünger und Mehrnährstoffdünger. Einnährstoffdünger gliedern sich in Superphosphat (22% P_2O_5) und andere Phosphatdünger. Mehrnährstoffdünger können neben Phosphat Kali (PK-Dünger), Stickstoff (NP-Dünger) oder beides (NPK-Dünger) enthalten.⁷⁷

Superphosphate werden durch den Säureaufschluss von trockenem Rohphosphat hergestellt.⁷⁸ Ammoniumphosphate (NP-Dünger) werden durch die Neutralisation der Phosphorsäure mit Ammoniak hergestellt; je nach Mischverhältnis entsteht Monoammoniumphosphat (MAP) oder Diammoniumphosphat DAP.⁷⁹

Mehrstoffdünger können zentral in großen industriellen Anlagen oder hofnah bei örtlichen Landhändlern oder Genossenschaften aus Grundkomponenten gemischt werden. Das hofnahe Mischen von Düngern hat sich zu einem wichtigen Bestandteil der Düngemittellogistik entwickelt.⁸⁰ Mittlerweile werden in Deutschland ca. 300 Düngermischanlagen betrieben, im Schnitt produzieren sie 3.000 Tonnen Mischdünger, der meist lose ausgeliefert wird.⁸¹ Auf Bundesebene sind die Düngermischer im Bundesverband der Düngermischer e.V. organisiert⁸², auf europäischer Ebene in der European Fertiliser Blenders Association.⁸³

Abb. 7: Einsatz von Phosphor in Deutschland 2014



Quelle: eigene Darstellung nach UBA 2015

Die wichtigsten Hersteller sind internationale, vertikal integrierte Unternehmen

Zu den wichtigsten Unternehmen, die in der Förderung von Phosphat tätig sind, gehören das chinesische Staatsunternehmen Yunnan Yuntianhua Co., Ltd.⁸⁴, das marokkanische Staatsunternehmen Office Chérifien des Phosphates (OCP)⁸⁵ und das US-amerikanische Unternehmen Mosaic.⁸⁶ Diese Unternehmen sind allesamt vertikal integriert und in der Produktion von Phosphatdüngemitteln aktiv.^{87,88,89}

In Deutschland gibt es nur ein Unternehmen, das Phosphaterz zu Düngemitteln verarbeitet, die ICL Fertilizers Deutschland GmbH mit Werk in Ludwigshafen.⁹⁰ 2023 betrugen die Phosphat-Düngemittelkapazitäten von ICL Fertilizers Deutschland GmbH 230.000 Tonnen Ware.⁹¹

Die ICL Fertilizers Deutschland GmbH ist Teil der ICL Group, ein weltweit agierender Düngemittel- und Spezialchemikalienkonzern aus Israel mit über 12.000 Mitarbeitenden und ca. 7 Mrd. US\$ Umsatz (2024).⁹² ICL ist ein vertikal integriertes Unternehmen. Es gewinnt Phosphatgestein in der Negev-Wüste in Israel und in der Provinz Yunnan in China. In Anlagen in Israel und China wird unter Zugabe von Schwefelsäure grüne Phosphorsäure hergestellt. Der Großteil der grünen Phosphorsäure wird zur Herstellung von phosphathaltigen Düngern und purer Phosphorsäure genutzt.⁹³ Am Standort Ludwigshafen werden P-, PK-, NP- und NPK-Dünger hergestellt. Von dort aus werden die Märkte in Deutschland, Frankreich, Schweiz, Österreich und Osteuropa bedient.⁹⁴

2024 wurden 86.920 Tonnen phosphorhaltige Düngemittel im Wert von 46 Mio. Euro exportiert. Den größten Anteil haben auch hier NP-Dünger.⁹⁵

In Deutschland wird Phosphor als überwiegend NP-Dünger abgesetzt

Laut Düngemittelstatistik wurden 2023/2024 142.905 Tonnen P_2O_5 in Deutschland

abgesetzt. Der größte Teil (62%) entfiel auf NP-Dünger, gefolgt von NPK-Dünger (16%) und Superphosphat (13%) (siehe Abbildung 5).⁹⁶ Der Inlandsabsatz von Phosphatdüngemitteln entspricht für das Jahr 2023/2024 ca. 62 Tonnen P.⁹⁷ Wie Abbildung 5 zu entnehmen ist, schwankt er stark von Jahr zu Jahr. Ein wesentlicher Treiber für die Nachfrage nach Phosphatdüngemitteln ist die P-Versorgung der Böden.

Die Außenhandelsstatistik des Statistischen Bundesamts gibt Aufschluss über Einfuhrmengen und -wert von Düngemitteln. Bei der Menge handelt es sich, anders als bei der Düngemittelstatistik, um die Menge der Ware und nicht des Nährstoffes. 2024 wurden 427.432 Tonnen phosphorhaltige Düngemittel im Wert von 231 Mio. Euro nach Deutschland importiert. Den größten Anteil (88% des Gewichts, 91% des Werts) haben NP-Dünger (DAP, MAP und weitere NP-Dünger). DAP wurde zu einem Durchschnittspreis von 584 Euro/Tonne importiert, MAP zu einem Durchschnittspreis von 668 Euro/Tonne.⁹⁸

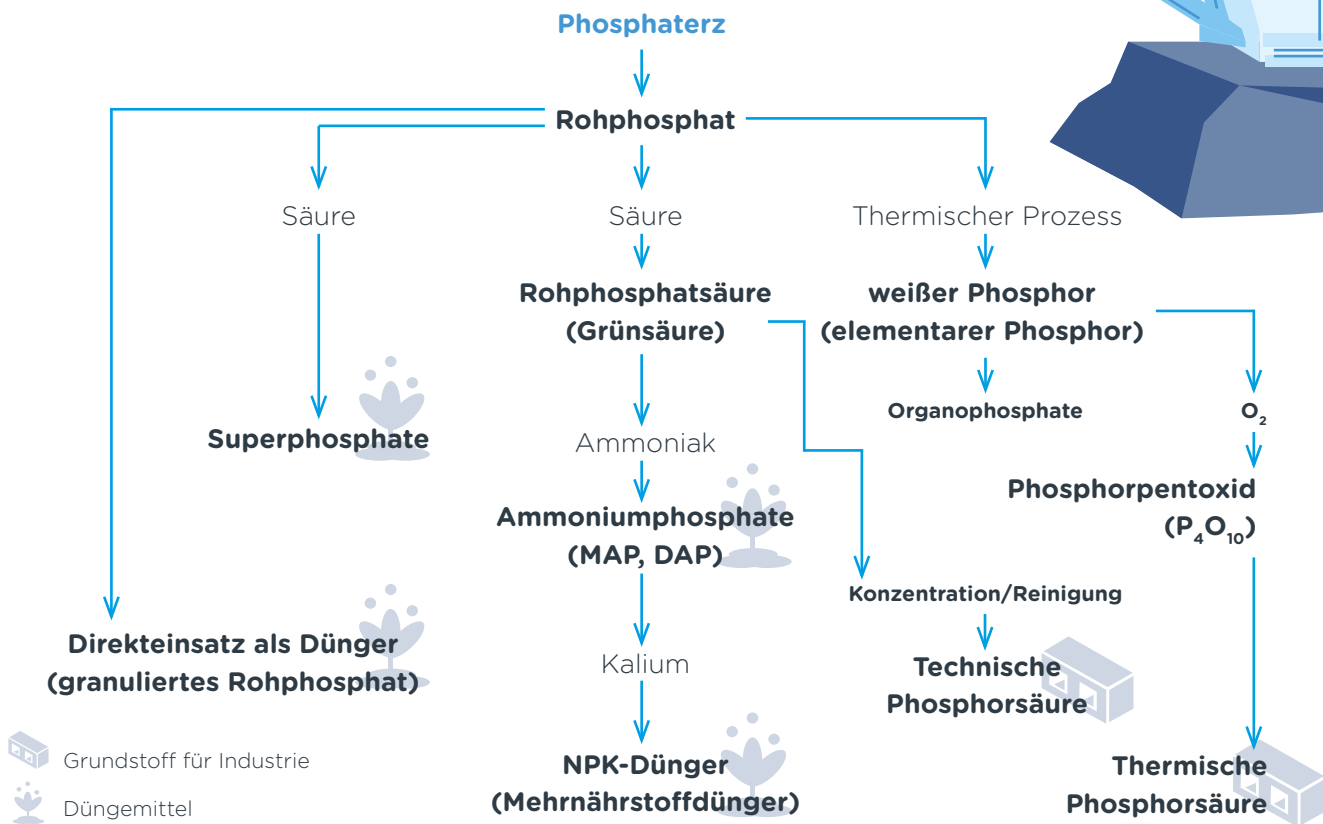
In der Landwirtschaft dient Phosphor als Futtermittelergänzung

Eine Ergänzung von Futter mit mineralischem Phosphor erfolgt in erster Linie über Mono- und Dicalciumphosphat.

Phosphor wird auch in industriellen Anwendungen genutzt

Etwa 10% des geförderten Phosphors wird in industriellen Anwendungen genutzt. Aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten bei verschiedenen Herstellungsprozessen wird Phosphor auch als „Nährstoff der Industrie“ bezeichnet. Basis für diese zahlreichen Anwendungen ist technische Phosphorsäure oder weißer Phosphor, die ebenfalls aus Rohphosphat gewonnen werden.⁹⁹

Abb. 8: Verwertungsmöglichkeiten von aufbereitetem Phosphaterz



Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an BMK 2021

In der Industrie wird Phosphor überwiegend zu Phosphorsäure aufbereitet genutzt

Abbildung 8 zeigt die Verwertungsmöglichkeiten von aufbereitetem Phosphaterz (Rohphosphat) für industrielle Anwendungen.

Rohphosphat kann mit Salz-, Schwefel-, Salpeter- oder Phosphorsäure im sogenannten Nassprozess aufgeschlossen werden. Dabei entsteht Rohphosphorsäure (auch Grünsäure genannt), eine vor allem mit Schwermetallen stark verunreinigte Säure. Für industrielle Anwendungen muss diese gereinigt und aufkonzentriert werden. Dabei entsteht sogenannte technische Phosphorsäure. Phosphorsäure stellt das Ausgangsprodukt für eine Vielzahl von technischen Anwendungen dar.

Alternativ kann Rohphosphat mithilfe eines sehr energieintensiven thermischen Prozesses zu weißem Phosphor weiterverarbeitet werden. Weißer Phosphor ist für spezielle Anwendungen notwendig.

Seifen und Detergenzien bilden die wesentlichen Einsatzgebiete

Neben der Landwirtschaft (Dünger, Futtermittel) bilden Seifen und Detergenzien den größten Anwendungsbereich für Phosphor. Die jährlich eingesetzte P-Menge wird auf 10.000-20.000 Tonnen Phosphor geschätzt. Einen wesentlichen Anteil nehmen Maschinen- und Geschirrspülmittel ein. Sie enthalten bis zu 35% Phosphat in Form von Polyphosphaten.¹⁰⁰ Der Einsatz von Phosphaten in Waschmitteln oder Weichspülern geht aufgrund strengerer Umweltvorschriften zurück.¹⁰¹

In anderen Bereichen der chemischen Industrie steigt der Bedarf an Phosphaten, u.a. für die Elektromobilität.¹⁰² Die Nachfrage nach Lithium für Batterien wird beispielsweise für das Jahr 2025 auf ca. 215.000 Tonnen Lithiumcarbonat-Äquivalent geschätzt. Das entspricht etwa 20.000 Tonnen Lithium und erfordert ungefähr 100.000 Tonnen Phosphor weltweit.¹⁰³

2017 wurden 2,25 Millionen Tonnen Flamm-schutzmittel genutzt, davon sind 20% phosphor-basiert mit einem globalen Einsatz von etwa 50.000 Tonnen Phosphor jährlich. Ähnlich verhält es sich bei Feuerlöschern.¹⁰⁴

Der weltweite Verbrauch von Glyphosat, dem am weitesten verbreiteten Herbizid, beträgt etwa 826.000 Tonnen pro Jahr. Dabei macht der Phosphoranteil in der Molekülformel von Glyphosat 18% aus.¹⁰⁵

Phosphonate finden Anwendung in der Wasseraufbereitung, der Wasserbehandlung (zum Beispiel in Kühlsystemen, bei der Osmose und der allgemeinen Wasseraufbereitung), bei der Ölförderung und Bohrungen, in der Medizin, in Kosmetika sowie in weiteren Bereichen. Der globale Verbrauch beläuft sich auf ungefähr 60.000 Tonnen Phosphonate pro Jahr, wobei der Phosphorgehalt weniger als 30% beträgt, was einer Menge von etwa 20.000 Tonnen Phosphor pro Jahr entspricht.¹⁰⁶

Industrielle Hersteller sind nicht mehr in der EU angesiedelt

Weißer Phosphor wird nicht mehr in der EU hergestellt. Der letzte europäische Hersteller, Thermphos International BV, auf den die Gesamtproduktion der Union entfiel¹⁰⁷, ist 2012 in die Insolvenz gegangen.¹⁰⁸

Preise

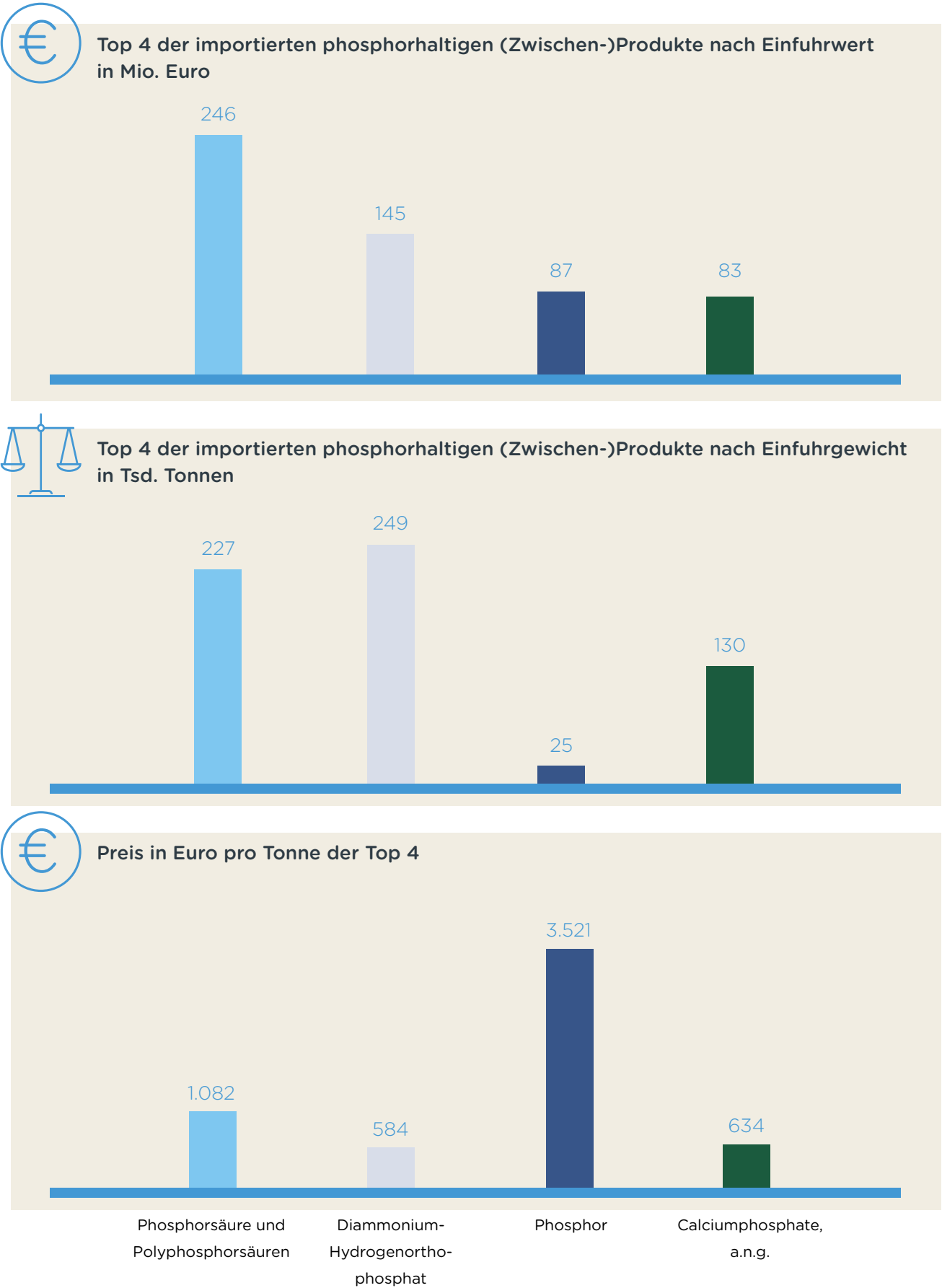
Die Außenhandelsstatistik gibt Auskunft über den Import phosphorhaltiger (Zwischen-)Produkte nach Deutschland. Wie auf Abbildung 9 zu sehen, dominiert in Bezug auf Einfuhrwert 2024 der Import von Phosphorsäure und

Polyphosphorsäuren mit einer Einfuhrmenge von ca. 227 Tsd. Tonnen zu einem Durchschnittspreis von 1.082 Euro/Tonne. Zweitwichtigstes Produkt ist das Düngemittel Diammoniumhydrogenorthosphosphat (DAP) mit einer Einfuhrmenge von 249 Tsd. Tonnen zu einem Durchschnittspreis von 584 Euro/Tonne. An dritter Stelle steht Phosphor, mit einer Einfuhrmenge von 25 Tsd. Tonnen zu einem Durchschnittspreis von 3.521 Euro, gefolgt von Calciumphosphaten mit einer Einfuhrmenge von 130 Tsd. Tonnen zu einem Durchschnittspreis von 634 Euro/Tonne.

Abbildung 4 zeigt die Preisentwicklung von Phosphorsäure und Polyphosphorsäuren, DAP und Phosphor zwischen 2008 und 2024. Starke Preissteigerungen sind 2021-2022 zu verzeichnen: +110% für Phosphorsäure und Polyphosphorsäuren, +89% für DAP, +70% für Phosphor.¹⁰⁹

Der Preis für Primärphosphor spiegelt weder umweltbezogene Externalitäten (Abbaufolgen, radioaktive Belastung, Energieverbrauch, CO₂-Emissionen durch Transport und Verarbeitung) noch soziale Kosten (z.B. Menschenrechtsverletzungen in Abbauregionen). Auch geopolitische Abhängigkeiten und die langfristige Ressourcenverknappung werden nicht eingepreist.

Abb. 9: Importe nach Deutschland 2024



Quelle: Destatis 2025



Beim Aufbau der Phosphorrückgewinnung sind technologische und strategische Fragestellungen zu klären

Phosphorrückgewinnung im Sinne der AbfKlärV kann am Klärschlamm oder an der Klärschlammasche ansetzen. Bewährt hat sich die Rückgewinnung aus Klärschlammasche. Hier sollten Technologien ausgewählt werden, die der Ambition der AbfKlärV-Novellierung gerecht werden: Bei Technologien mit Matrixverbleib verbleibt der Phosphor in der Aschematrix, diese wird lediglich modifiziert und bleibt Teil des Produkts. Kaum oder gering belasteter Klärschlamm führt bei der Monoverbrennung zu kaum oder gering belasteten Aschen. Bislang ist allerdings keine Technologie im kommerziellen Regelbetrieb umgesetzt. Das erschwert Klärschlammherzeugern die Entscheidung. Es steht zu befürchten, dass bis 2029 nicht genügend Kapazitäten entstehen.

Extraktion aus der Klärschlamm- asche ist der sinnvollste Weg, um Phosphor effizient zurückzu- gewinnen

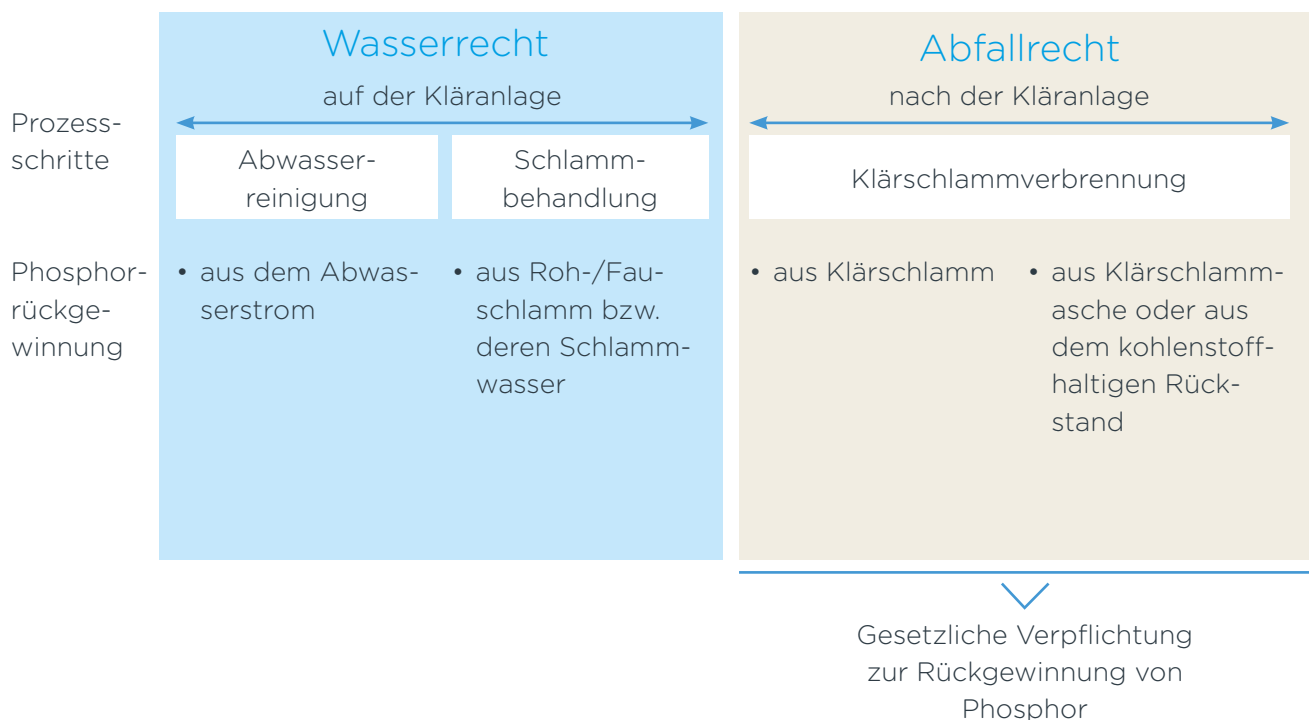
Die AbfKlärV als abfallrechtliche Sonderregelung gibt keine bestimmte Technologie zur Phosphorrückgewinnung vor. Das soll, so der Gesetzgeber, „*genügend Spielraum für den Einsatz oder die Entwicklung innovativer Rückgewinnungsverfahren*“ lassen.¹¹⁰ Allerdings sind Anforderungen hinsichtlich der Rückgewinnungsquote sowie ein Schwellenwert für den P-Gehalt im Klärschlamm vorgegeben, was die faktischen Möglichkeiten für bestimmte technische Ansätze einschränkt.

Technisch kann Phosphor durch Fällungs-, Kristallisations-, Adsorptions-, nasschemische Aufschluss-, thermochemische und metallurgische Verfahren zurückgewonnen werden. Die Rückgewinnung kann an verschiedenen Stellen sowohl auf der Kläranlage während

des Abwasserreinigungsprozesses oder der Schlammbehandlung stattfinden als auch nach der Kläranlage aus dem Klärschlamm oder nach thermischer Vorbehandlung aus der Asche bzw. dem kohlenstoffhaltigen Rückstand. Die Phosphorrückgewinnung auf der Kläranlage aus dem Abwasserstrom oder aus Roh-/Faulschlamm bzw. deren Schlammwässer fällt unter das Wasserrecht, während die Rückgewinnung nach der Kläranlage im Geltungsbereich des Abfallrechts liegt (Abbildung 10). Die gesetzliche Verpflichtung zur Rückgewinnung von Phosphor ist ausschließlich im Abfallrecht geregelt. Rückgewinnungstechnologien im Sinne der AbfKlärV sind nur solche, die am Klärschlamm bzw. deren Folgeprodukte nach thermischer Vorbehandlung ansetzen.

Verfahren auf der Kläranlage nach Wasserrecht erfüllen nur dann die Verpflichtung zur Rückgewinnung von Phosphor, wenn die Technologie während des Abwasserreinigungsprozesses hinreichend Phosphat

Abb. 10: Die Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor ist im Abfallrecht geregelt



Quelle: eigene Darstellung

ausschleusen kann. Hierzu muss der für die Verpflichtung geltende Schwellenwert von 2% in der Klärschlamm-trockenmasse sicher unterschritten werden (siehe Abbildung 6). Diese Verfahrensansätze stellen keine Rückgewinnungstechnologien im Sinne der AbfKlärV dar. Der Einsatz solcher Verfahren wird auf Grund technologischer Grenzen nur in Einzelfällen zum Tragen kommen, um die Rückgewinnungsverpflichtung zu vermeiden.

Verfahren zur Rückgewinnung aus dem Klärschlamm haben sich als zu aufwendig bzw. nicht hinreichend dargestellt. Hier muss mindestens 50% des Phosphors zurückgewonnen werden oder der Phosphatgehalt im Reststoff (bezogen auf Ausgangsmasse) geringer als 2% betragen (siehe Abbildung 6). Der verbleibende Reststoff wäre auf Grund des Organikgehaltes einer thermischen Abfallbehandlung zuzuführen, so dass sich kein erkennbarer Vorteil gegenüber der Rückgewinnung aus Aschen ergibt.

Bei den Verfahren mit thermischer Vorbehandlung lassen sich 3 Ansätze unterscheiden:

- Thermo-chemische Umwandlung unter sauerstoffreduzierenden Bedingungen (Pyrolyse)
- Thermische Oxidation (Verbrennung) und
- Vergasung

Teilweise werden auch Verfahren kombiniert.

Technologien zur Rückgewinnung sollten sich an der politischen Ambition der Abf-KlärV messen lassen: Reduktion von Schadstoffen und Schonung von Ressourcen

Bei Technologien mit Matrixentkopplung wird der Phosphor aus dem Gefüge, in dem er gebunden vorliegt (der sogenannten Asche-

matrix) extrahiert und als definierter Stoff, z.B. als Calciumphosphat oder Phosphorsäure, separiert. So wird er auch effizient von Schwermetallen separiert. Bei Technologien mit sogenanntem Matrixverbleib verbleibt der Phosphor in der Aschematrix, diese wird lediglich modifiziert und bleibt Teil des Produkts. Die AbfKlärV gibt zwar keine Technologie vor, allerdings wurde sie mit dem Ziel eines stärkeren Umwelt- und Ressourcenschutzes und insbesondere einer weiteren Verringerung der Schadstoffeintrags in den Boden novelliert. Für belastete Klärschlämme sollte Matrixentkopplung mit P-Extraktion zur Anwendung kommen. Für kaum oder gering belastete Klärschlämme kann der Matrixverbleib zur Anwendung kommen.

2021 ist die Phosphorrecyclinganlage HPHOR in Hamburg in den Probetrieb gegangen. Diese hat Hamburg Wasser mit Remondis geplant. Nach Angaben von Hamburg Wasser soll die Anlage im Regelbetrieb jährlich 7.100 Tonnen Phosphorsäure aus 20.000 Tonnen Klärschlamm-Asche gewinnen.¹¹¹ Im Chemiepark Schkopau in Sachsen-Anhalt entsteht eine Anlage, an der EasyMining und Gelsenwasser beteiligt sind. Die Anlage soll 2027 in den Betrieb gehen und eine Kapazität von 30.000 Tonnen Klärschlamm-Asche pro Jahr haben.¹¹² 2024 wurde in Bottrop eine Demonstrationsanlage mit einer Kapazität von 1.000 Tonnen pro Jahr eingeweiht. Die Anlage ist nach der sogenannten PARFORCE-Technologie® durch die Parforce Technology Cooperation GmbH (PTC) geplant und gebaut worden. Es handelt sich um die erste Realisierung im großtechnischen Maßstab. Beteiligt sind die in Nordrhein-Westfalen ansässigen Wasserwirtschaftsverbände Ruhrverband, Wuppertalverband, Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft (LINEG), Em-scher-Genossenschaft und Lippeverband (EGLV).¹¹³

Kläranlagenbetreiber müssen Strategien für die Klärschlammverbrennung und die Phosphor-

rückgewinnung entwickeln

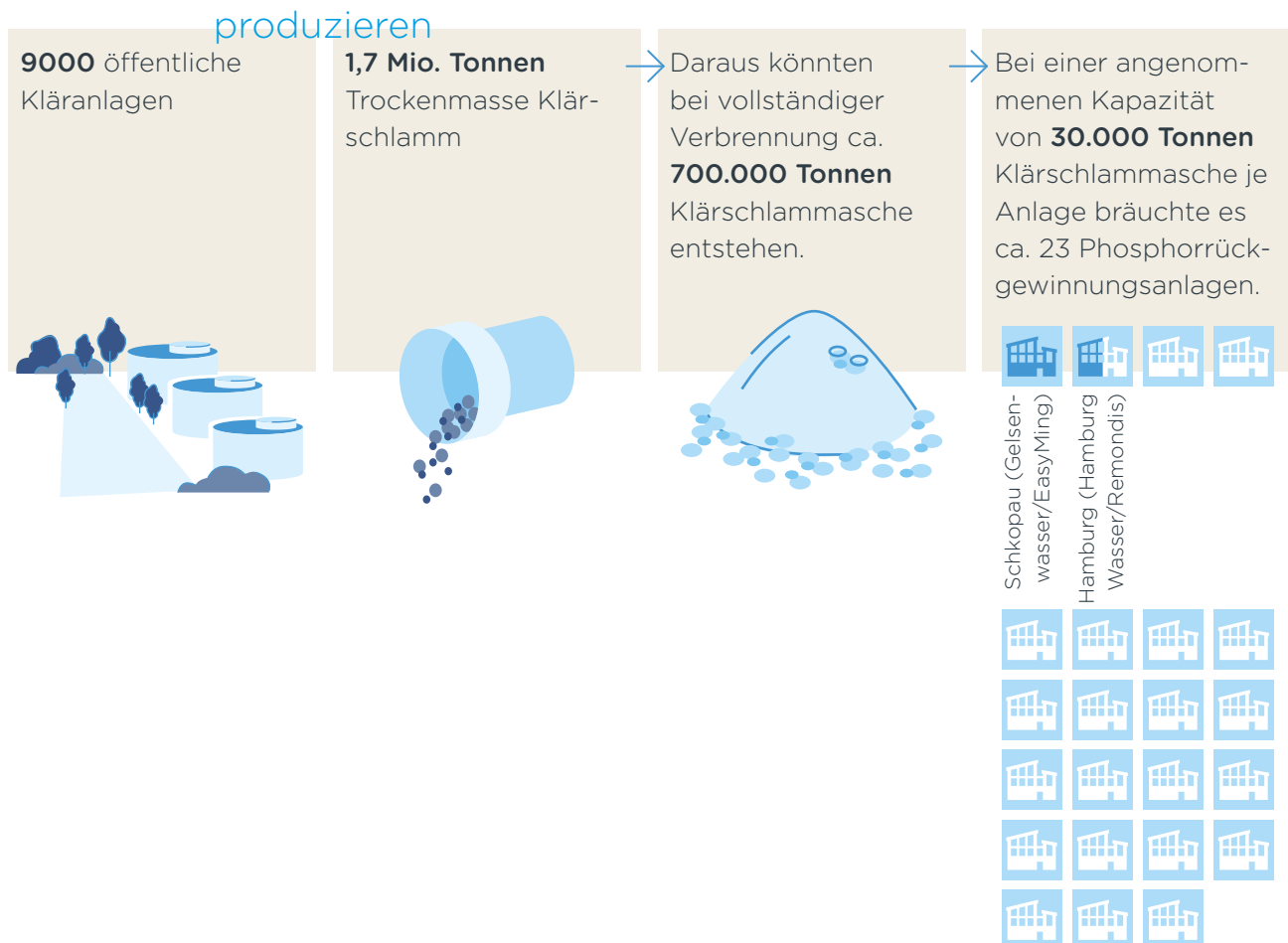
Für die Abwasserentsorgungsunternehmen stellt sich die Frage, wie sie sich strategisch in Bezug auf das Phosphorrecycling aufstellen, das verpflichtend auf sie zukommt. In die Überlegungen fließen strategische, technologische, wirtschaftliche und finanzielle Kriterien ebenso wie die Entsorgungssicherheit ein.

Die Produktion und der Verkauf von Sekundärphosphor und die damit einhergehende Übernahme von Produktverantwortung erfordern Ressourcen und Kompetenzen, die nicht zum Kerngeschäft von Abwasserbetrieben gehören. Zudem fordert der Markt Mindestabnahmemengen, die nicht mit den Produktionskapazitäten einzelner Klärschlammherzeuger korrelieren. Bereits in der Klärschlammverbrennung zeigt sich, dass nur sehr große

Abwasserentsorger eine eigene Klärschlammverbrennung aufbauen. Die übrigen Abwasserentsorger entscheiden sich für eine Beteiligung an Verbrennungsanlagen oder aber eine Ausschreibung der zu entsorgenden Mengen. Ähnliche Entwicklungen sind für die Marktstruktur im Phosphorrecycling zu erwarten, so dass Abwasserentsorgungsunternehmen den Klärschlamm erzeugen und dann die Asche direkt oder über die Klärschlammverbrenner an die Verfahrensanbieter für Phosphorrückgewinnung abgegeben wird, die den Phosphor dann auch vermarkten. Denkbar ist dabei, dass sich die Abwasserentsorger an diesen Anbietern beteiligen.

Zum jetzigen Stand kann sich dieses Geschäft nicht vollständig aus den Vermarktungserlösen des Sekundärphosphors finanzieren. Eine Rolle spielt in diesem Zusammenhang das

Abb. 11: Geschätzter Bedarf an Rückgewinnungsanlagen



Niveau des Weltmarktpreises für Phosphor, die Frage, inwiefern Qualitätsunterschiede zu dem in den Minen abgebauten Rohmaterial sich positiv auf den Preis auswirken, erst in der Entstehung befindliche, noch nicht optimierte Betriebsprozesse der Rückgewinnungsanlagen, etc.

In der Kalkulation von Abwassergebühren gilt das Kostendeckungsprinzip. Allerdings können die Kosten für das Phosphorrecycling nicht vollständig auf Vermarktungspreise umgelegt werden, da der Sekundärphosphor dann nicht marktfähig wäre. Da aber die Klärschlamm Entsorgung integraler Teil der Abwasserentsorgung ist, ist es auch nicht geboten. Das Produkt, das Klärschlamm erzeugern angeboten wird, ist also die gesetzeskonforme Entsorgung der Klärschlammmasche mit integrierter Phosphorrückgewinnung. Erlöse aus der Vermarktung des Sekundärphosphors senken den Preis dieser Dienstleistung.

Es steht zu befürchten, dass mit Eintritt der Pflicht 2029 die notwendigen Kapazitäten nicht zur Verfügung stehen werden

Die Pflicht zur Phosphorrückgewinnung schränkt etablierte Entsorgungspfade ein, da die thermische Mitbehandlung, also die Verbrennung von Klärschlamm zusammen mit anderen Materialien (z.B. Kohle, Zement oder Abfall), keine wirtschaftliche Phosphorrückgewinnung erlaubt. Von den 1,7 Mio. Tonnen Klärschlamm, die 2023 entsorgt wurden, wurden 37% in die thermische Mitbehandlung gegeben.¹¹⁴ Klärschlamm erzeuger stehen folglich vor der Aufgabe, die künftige Klärschlamm-entsorgung unter Berücksichtigung der Phosphorrückgewinnung zu gestalten. Wesentliches Hemmnis hierbei ist, dass zum jetzigen Zeitpunkt wichtige Entscheidungsgrundlagen fehlen. Es ist noch keine Phosphorrückgewinnungstechnologie großtechnisch im kommerziellen Betrieb umgesetzt. Das stellt Klärschlamm erzeuger und -verbrenner vor die Herausforderung, Technologienentscheidun-

gen unter Unsicherheit zu treffen. Noch ist unklar, welche Technologie qualitativ hochwertig und kosteneffizient funktioniert. Es besteht die Sorge, sich langfristig an Technologien zu binden, die nicht erfolgreich oder die langfristig vergleichsweise teuer sind. Zudem sind aus Gründen des Schutzes von geistigem Eigentum nur wenige transparente Veröffentlichungen verfügbar. Akteure bezeichnen die Situation als „verfahren“: Die Einhaltung der Rückgewinnungspflicht ab 2029 erfordert jetzt schon langfristige Entscheidungen, für die die Grundlage fehlt. Werden diese Entscheidungen nicht getroffen, haben Verfahrensanbieter keine Planungssicherheit und die Wahrscheinlichkeit, dass die Kapazitäten fristgerecht errichtet werden, sinkt.

Unter der Annahme, dass der Aufbau von Rückgewinnungskapazitäten von der Planung bis zur Inbetriebnahme ca. 7 Jahre benötigt¹¹⁵, lässt sich heute schon sagen, dass die in der AbfKlärV festgehaltene Rückgewinnungspflicht ab 2029 nicht erfüllt sein wird. Fachleute schätzen, dass bei Eintreten der Rückgewinnungspflicht 2029 nur 20% der dafür notwendigen Kapazitäten zur Verfügung stehen werden.^{116,117}





Um auf dem Markt Verwendung zu finden, muss Sekundärphosphor von Abfall zu einem Produkt werden

Die in Deutschland mit dem Kreislaufwirtschaftsgesetz umgesetzte EU-Abfallrahmenrichtlinie (EU-AbfRRL) legt allgemeine Grundsätze für das Abfallende dar. Im Düngebereich ersetzen die spezifischeren Vorschriften der EU-Düngeprodukte-Verordnung die Vorschriften der EU-AbfRRL. Neben der Erlangung des Produktstatus stellt auch der Markt Anforderungen an die Rezyklate. Für industrielle Düngemittelhersteller sind Preis, Qualität und Quantität entscheidend. Der Phosphor muss kontinuierlich in verlässlicher Güte und Menge verfügbar sein.

Nur im Düngebereich liegt eine produktspezifische Abfallenderegulierung vor

Den rechtlichen Rahmen zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft bildet die EU-AbfRRL. Sie wurde in Deutschland mit dem Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz – KrWG) umgesetzt. EU-AbfRRL und KrWG nehmen keine besonderen Stoffe in den Blick, sondern legen allgemeine Grundsätze dar.¹¹⁸

Art. 5 Abs. 1 EU-AbfRRL bzw. § 4 Abs 1 KrWG regelt die Abgrenzung von Nebenprodukt und Abfall. Demnach ist Phosphor aus Abwässern, Klärschlämmen und Klärschlammaschen Abfall. Die Beendigung des Abfallstatus und die Rückkehr in den Produktstatus bestimmt Art. 6 Abs. 1 EU-AbfRRL bzw. § 5 Abs 1 KrWG. Demnach müssen vier Voraussetzungen erfüllt werden. Dass der recycelte Phosphor für bestimmte Zwecke verwendet wird (1) und ein Markt für recycelten Phosphor bzw. eine Nachfrage nach recyceltem Phosphor besteht (2), wird als gegeben unterstellt. Rechtliche Schwierigkeiten bereiten die Frage, ob der recycelte Phosphor die technischen Anforderungen für die bestimmten Zwecke erfüllt und den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen für Erzeugnisse genügt (3) und ob die Verwendung des recycelten Phosphors insgesamt nicht zu schädlichen Umwelt- und Gesundheitsfolgen führt (4). Anders formuliert: Ob und wann recycelter Phosphor seine Abfalleigenschaft verliert, lässt sich nur vom vorgesehenen Einsatzzweck und dem dafür geltenden Produkt- und Stoffrecht her bestimmen.

Im Düngebereich ersetzen die spezifischeren Vorschriften der EU-Düngeprodukte-Verordnung die Vorschriften der EU-AbfRRL. Mit der 2022 vollumfänglich in Kraft getretenen EU-Düngeprodukte-Verordnung wurde das Fundament gelegt für die Etablierung einer Phosphorkreislaufwirtschaft, von der Ausschleusung des Phosphors aus dem Abfallstrom bis zur Erlangung des Status als Düngeprodukt.¹¹⁹

Die EU-Düngeprodukte-Verordnung legt fest, dass der Stoff zunächst ein Verwertungsverfahren durchläuft, an dessen Ende er in einem konformen EU-Düngeprodukt enthalten ist, für das eine EU-Konformitätserklärung ausgestellt wurde. Damit erfolgt die Entlassung in den Produktstatus. Ein EU-Düngeprodukt muss u.a. die Anforderungen für die betreffende Produktfunktionskategorie und für die betreffende Komponentenmaterialkategorie erfüllen. Zu den Anforderungen für die betreffende Produktfunktionskategorie zählen u.a. Mindestnährstoffgehalte und Schadstoffgrenzen. Auch zu den Anforderungen für die betreffende Komponentenmaterialkategorien zählen Schadstoffgrenzen.¹²⁰ Für alle in EU-Düngeprodukten eingesetzten Stoffe ist eine REACH-Registrierung erforderlich.¹²¹

Neben dem europäischen Düngemittelrecht besteht das nationale Düngemittelrecht weiter fort.¹²² Die deutsche Düngemittelverordnung (DüMV) definiert neben den Düngemitteltypen auch die Stoffe, aus denen Düngemittel hergestellt werden dürfen. Für Reststoffe und Abfälle, die als Eingangs- und Ausgangsstoffe zur Herstellung genutzt werden, werden je nach Art und Herkunft Grenzwerte und weitere Anforderungen bestimmt. Werden Klärschlammaschen eingesetzt, so müssen sowohl die Aschen selbst die in der DüMV festgelegten Grenzwerte einhalten als auch die Klärschlämme vor der thermischen Oxidation. Hier gelten die Grenzwerte nach DüMV und AbfKlärV. Hierzu zählen auch die organischen Schadstoffe, die in Aschen üblicherweise nicht mehr vorhanden sind. Neben den Schadstoffgrenzwerten wird durch die Änderung der AbfKlärV zum 01.01.2029 die Rückführung von Schadstoffen durch das Verbot der bodenbezogenen Klärschlammverwertung für größere Kläranlagen auch die Verwendung von Aschen begrenzt. Für das überwiegende Aufkommen von Klärschlammaschen ist somit die direkte Verwendung der Aschen als oder in Düngemitteln nach aktueller nationaler Regelung nur sehr eingeschränkt möglich.¹²³

Jenseits der EU-Düngeprodukte-Verordnung gibt es keine spezifische Abfallenderegulierung für Phosphorrezyklate, sodass das deutsche Kreislaufwirtschaftsrecht industrielle Anwendungszwecke regelt

In der EU sind grundsätzlich nur Stoffe zugelassen, die für den jeweiligen Verwendungszweck nach REACH registriert sind. Darüber hinaus definieren industrielle Anwender, soweit sie keine Abfallverwerter sind, für ihre jeweiligen technischen Einsatzzwecke chemische und physikalische Anforderungen. Bei Sekundärrohstoffen werden unabhängig von Reinheitsgraden grundsätzlich keine Stoffe eingesetzt, die rechtlich gesehen noch eine Abfalleigenschaft aufweisen. Weiterhin müssen sie als Grundstoffe vorliegen, die keine Anpassung von Genehmigungen oder Prozessen erfordern.

Für verschiedene Abfallstoffe wie Glas, Metallschrott, Bauschutt etc. gibt es einzelne Vorschriften, die das Ende der Abfalleigenschaft regeln. Für andere Abfälle gelten die Anforderungen der AbfRR bzw. des KrWG. Hierbei ist entscheidend, dass jeweils ein Verwertungsverfahren durchlaufen wird und am Ende ein nach REACH registrierter Stoff entsteht oder durch andere Produktvorschriften der Einsatz unter bestimmten Voraussetzungen explizit zulassen ist. Bei letzterem geht der Abfall in einem Produkt unter.

In Lebens- und Futtermitteln ist der Einsatz von Sekundärphosphor nicht erlaubt

EU-Verordnung Nr. 767/2009 (Anhang III) verbietet die Verwendung in der Tierernährung aller Abfälle, die bei der Behandlung von Abwasser gewonnen wurden, unabhängig davon, ob diese Abfälle weiterverarbeitet wurden. Damit ist der Einsatz von Sekundärphosphor als Futtermittel in der EU aktuell verboten.¹²⁴ Auch als Lebensmittel ist der Einsatz von Sekundärphosphor aktuell verboten.

Auch der Markt stellt Produktanforderungen an Sekundärphosphor

Sekundärphosphor muss für die Düngemittelproduktion möglichst homogen und in größerer Menge geliefert werden

Für industrielle Düngemittelhersteller sind Preis, Qualität und Quantität entscheidend. Der Phosphor muss kontinuierlich in verlässlicher Güte und Menge verfügbar sein.

Die für industrielle Düngemittelhersteller relevante Mindestabnahmemenge wird von einem Marktteilnehmer auf 10.000 Tonnen Calciumphosphat/Jahr geschätzt.¹²⁵

Industrielle Düngemittelhersteller sind an einem möglichst homogenen Sekundärphosphor interessiert. Homogenität wird durch einen zentralisierten Ansatz gefördert. Je größer die gebündelten Mengen, aus denen der Phosphor zurückgewonnen wird, desto besser lassen sich die Heterogenität der Ausgangsschlämme und saisonale Schwankungen ausgleichen.¹²⁶ Zur Qualität gehört auch die Schadstoffarmut.¹²⁷

Marktteilnehmer haben Interesse an Sekundärphosphor in Futtermitteln; in der EU ist dies allerdings rechtlich noch nicht möglich

Das Angebot von Sekundärphosphor stößt laut Marktteilnehmern in der Futtermittelindustrie auf Resonanz. Ausschlaggebend sind die Möglichkeit einer höheren Qualität als Primärphosphor (Schadstoffarmut) sowie Aspekte der Versorgungssicherheit.¹²⁸

Auch in der Industrie stößt das Angebot von Sekundärphosphor laut Marktteilnehmern auf Resonanz

Ausschlagend ist insbesondere die Versorgungssicherheit.¹²⁹ In der Lebensmittelindustrie ist neben dem aktuell bestehenden Verbot fraglich, ob der Einsatz von Sekundärphosphor überhaupt Akzeptanz finden könnte.¹³⁰





Die Entwicklung anderer Sekundärrohstoffmärkte liefert Fallbeispiele

Ein Blick auf die Entwicklung von Märkten für andere Sekundärrohstoffe (zum Beispiel Bioabfall, Kunststoff) kann Anregungen für die Entwicklung eines Marktes für Sekundärphosphor bieten. Instrumente, die sich auf anderen Sekundärrohstoffmärkten bewährt haben, sind unter anderem Qualitätssicherung durch Gütesiegel und Handreichungen für Beschaffende im öffentlichen Dienst.

Verwertung von Bioabfall: Mit der Gütesicherung für Kompostprodukte ist ein hochwertiger Produktstandard entstanden, der Vertrauen am Markt schafft

Bioabfall kann zur Energie- und Wärmegewinnung sowie für die Landwirtschaft genutzt werden. Die Nutzung hängt dabei von der Qualität des Komposts ab. Je nach Konsistenz und Feuchtigkeit wird der Bioabfall zu Kompost, Dünger (Gärreste oder Asche) oder Energie z.B. in Form von Biogas verwertet.¹³⁴ Im Zuge des Kreislaufwirtschaftsgesetzes wurde die Umsetzung der Getrennsammlung von Bioabfällen ab 2015 für alle Abfallerzeuger und öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger verpflichtend, um eine gezielte Verwertung zur Energie- und Wärmegewinnung sowie zur landwirtschaftlichen Nutzung zu ermöglichen.¹³⁵

In Deutschland wurden 2022 14,09 Mio. Tonnen an Bioabfällen recycelt.¹³⁶ Davon konnten

7,44 Mio. Tonnen in Vergärungs- oder kombinierten Vergärungs- und Kompostierungsanlagen aufbereitet werden. Der Rest wurde in reinen Kompostierungsanlagen behandelt.

Der Großteil des Absatzes von Kompost und Gärresten geht in die konventionelle Landwirtschaft (50,7%).¹³⁷ Der Markt für die ökologische Landwirtschaft (5,9%), Hobbygartenbau (6,8%) und z.B. Erdenwerken (24,2%) wächst.

2024 konnten rund 5,2 Terawattstunden Strom aus Bioabfällen gewonnen werden¹³⁸, was etwas mehr als 1% des Stromverbrauchs in Deutschland ausmacht.¹³⁹ Aktuell übersteigt die Nachfrage nach Kompost und Gärresten das Angebot.¹⁴⁰

Abb. 12: Nutzung des Recyclingpotenzials von Bioabfällen zum erfolgreichen Vertrieb^{131,132,133}

Erfolgskriterien	Herausforderungen	Maßnahmen
Güte des Komposts	• Teilweise Verunreinigung durch Fremdstoffe und Schwermetalle • Anhaltende Vorbehalte des Verbrauchers ggü. Kompost aufgrund von Fremdstoffgehalten und Schwermetallen	• Gütekriterien für Kompost zum Nachweis der Qualität (RAL-Gütesicherung, freiwillige Anwendung) • Einführung einheitlicher Bewertungsmethodiken wie Chargenanalysen oder Biotonnenkontrollen
Produktentwicklung entlang der Wertschöpfungskette	• Variation in Zusammensetzung und Konsistenz des Bioabfalls • Energieverluste bei Kompostierung	• Hebung des vollen Recyclepotenzials durch Stärkung von Vergärungsanlagen • Steigerung des Anteils an Weiterverarbeitungsprodukten (z.B. Oberbodenmaterial)

Erfolgskriterien	Herausforderungen	Maßnahmen
Kundengruppen	• Konventionelle Landwirtschaft als primärer Abnehmer • Hohe Kosten durch Serviceleistungen (z.B. Transport)	• Diversifizierung der Produkte zur Erschließung eines breiteren Kundenspektrums (z.B. ökologische Betriebe zusätzlich zur konventionellen Landwirtschaft durch Kooperationen z.B. mit Bioland) • Erschließung von Märkten ohne Bedarf an Serviceleistungen (z.B. Hobbygarten- und Landschaftsbau) • Gezielte Marktsegmentierung z.B. Berücksichtigung von Siedlungsstrukturen (geringere Nachfrage in Ballungsräumen)
Politischer und gesetzlicher Rahmen	• Unklarheiten über Schadstoff und Nährwertgehalt im Kompost • Fehlende Verfügbarkeit von Bioabfällen	• Kriterien zur Nutzung von Bioabfällen in der Bioabfallverordnung von 1998 • Einführung der Getrenntsammlungspflicht für Kommunen (§20 KrWG) 2015¹⁴² • Einführen der Dünge(mittel)verordnung ^{143 144} zur Regelung und Darstellung von Schadstoffen und Nährwertgehalten im Kompost • Vorgaben an Bauern zu z.B. Mindestgehalt an organischer Substanz im Boden für den Erhalt von Subventionen



Praxisbeispiel Qualitätssicherung: Vertrauen am Markt durch anerkannte Gütesicherung

Die Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) bietet eine freiwillige RAL-Gütesicherung für Hersteller von Kompostprodukten an, die mit Institutionen aus Wissenschaft, Fachbehörden und Verbrauchern abgestimmt ist. Gütesicherbare Produkte sind hierbei Fertigkompost, Frischkompost und Substratkompost in unterschiedlichen Körnungen. Diese Produkte werden zur Bodenverbesserung und Düngung eingesetzt, Substratkompost und Fertigkompost auch zur Herstellung von Erden und Kultursubstraten. Die BGK ist eine unabhängige, neutrale und von RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung) anerkannte Organisation. Mit der Gütesicherung entsteht ein hochwertiger Produktstandard, der Vertrauen am Markt schafft, Rechtssicherheit gewährleistet und den Weg vom Abfall zum Produkt weist.¹⁴¹

Recycling von Kunststoff: Eine zentrale Maßnahme zur Förderung des Recyclings von Kunststoff ist eine Rezyklateinsatzquote

Kunststoffabfälle können durch werkstoffliches Recycling zu neuen Produkten verarbeitet werden.¹⁴⁵ Die Qualität der Rezyklate hängt von der Sortenreinheit und dem Schadstoffgehalt des Ausgangsmaterials ab. Je nach Reinheit und Zusammensetzung werden die Rezyklate in verschiedenen Bereichen eingesetzt, beispielsweise in der Herstellung von Verpackungen, Bauprodukten oder Konsumgütern.

Im Rahmen des Verpackungsgesetzes (VerpackG) sind Hersteller und Vertreiber verpflichtet, Verpackungsabfälle zu sammeln und einer Verwertung zuzuführen. Ziel ist es, die Recyclingquoten zu erhöhen und den Einsatz von Rezyklaten zu fördern.

35% des Kunststoffabfalls wird werkstofflich, 0,4% rohstofflich oder chemisch verwertet.¹⁴⁶ Weitere 64% können energetisch aufbereitet werden, d. h. thermisch zur Gewinnung von Wärme und Strom verwertet. Werkstoffliche Verarbeitung, d. h. Kunststoffneuwaren wie Verpackungen sind dabei die wertigere Wiederverwendung. Die jährlich entsorgten ca. 5,7 Tonnen Kunststoffabfälle werden zu fast 100% wiederverwertet. Kunststoffrezyklate in Deutschland werden zum Großteil für den Bau eingesetzt (40%), aber auch für Verpackungen (28%) und in der Landwirtschaft (12%), sowie für Fahrzeuge und Elektronik, Möbeln und Haushalts- sowie Freizeitwaren.

Abb. 13: Nutzung des Recyclingpotenzials von Kunststoffabfällen zum erfolgreichen Vertrieb

Erfolgskriterien	Herausforderungen	Maßnahmen
Güte: Hohe Materialqualität und Sortenreinheit ¹⁴⁷	• Herausfordernde Kunststoffsortierung durch Vermischung mit Klebstoffen u. Ä. • Notwendigkeit von Sortenreinheit für hochwertiges Recycling	• Einsatz moderner Sortiertechnologien • Stärkung der finanziellen Anreize für recyclingfreundliches Verpackungsdesign¹⁴⁸ • Nutzung von Qualitätsstandards wie DIN-Normen¹⁴⁹
Verlässliche Marktbedingungen und Nachfrage ¹⁵⁰	• Fehlende preisliche Wettbewerbsfähigkeit ggü. Primärkunststoffen	• Einführung von Mindesteinsatzquoten für Rezyklate in bestimmten Produkten¹⁵¹ • Verpflichtung öffentlicher Einrichtungen zur Bevorzugung von Rezyklaten in der Beschaffung seit (§45 Absatz 2 KrWG) • Handreichung zur Erhöhung der Nachfrage von Kunststoffrezyklaten durch das Bundesumweltamt¹⁵²

Erfolgskriterien	Herausforderungen	Maßnahmen
Verlässliche Marktbedingungen und Nachfrage	• Fehlende preisliche Wettbewerbsfähigkeit ggü. Primärkunststoffen	• Ggf. Einsatz von Sonderabgaben und Verbrauchssteuern bzw. CO₂-Steuern auf Kunststoff-Produkte¹⁵⁴
Gesetzlicher/politischer Rahmen	• Geringe Recyclingquoten bei Kunststoff • Hoher CO₂-Ausstoß bei Kunststoff • Umweltverschmutzung	• Einführung und Umsetzung des Verpackungsgesetzes ab 2022: Verpflichtung der Hersteller zu Mehrwegangeboten; Stärkung der Getrenntsammlung und Pfand, Recyclingquoten¹⁵⁵



Fallbeispiel Kunststoffprodukte: Handreichung für Beschaffende bei Kunststoffprodukten

Nach § 45 KrWG muss die öffentliche Hand bei der Beschaffung unter anderem Erzeugnisse bevorzugen, die durch Recycling von Abfällen hergestellt worden sind. In der Beschaffungspraxis zeigen sich dabei Bedenken und Hürden. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Prüfung konkreter Maßnahmen zur Steigerung der Nachfrage nach Kunststoffrecyklaten und rezyklatenthaltigen Kunststoffprodukten“ wurde eine Handreichung für Beschaffungsverantwortliche erarbeitet. Als Informations- und Ausschreibungshilfe erläutert sie ökologische, politische und gesetzliche Motive, informiert über technische Möglichkeiten und Grenzen und erläutert die vergaberechtlichen Regelungen und Ausgestaltungsmöglichkeiten bei der Beschaffung. Sie enthält auch konkrete Formulierungsvorschläge zur Auftragsvergabe, teilweise hinterlegt mit Beispielen und Wertungsmatrizen.¹⁵³

Literaturverweise und Quellen

- 1 Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017 [Bundesgesetzblatt BGBl. Online-Archiv 1949 - 2022 | Bundesanzeiger Verlag](#)
- 2 ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe“ (Hrsg.) (2017): Phosphatrückgewinnung [Statuspap_Phosphat_2017_FINAL_NOV-p-20003290.pdf](#)
- 3 Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017 [Bundesgesetzblatt BGBl. Online-Archiv 1949 - 2022 | Bundesanzeiger Verlag](#)
- 4 Kabbe, Christian: Sauberer Phosphor – Rezyklatqualitäten und Frachtenbetrachtung. In: Holm, Olaf, Thomé-Kozminensky, Quicker, Peter, Kopp-Assemacher, Stefan (Hrsg.): Verwertung von Klärschlamm 5.
- 5 Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017 [Bundesgesetzblatt BGBl. Online-Archiv 1949 - 2022 | Bundesanzeiger Verlag](#)
- 6 Umweltministerkonferenz (2023): 101. Umweltministerkonferenz am 01. Dezember 2023 in Münster. Endgültiges Ergebnisprotokoll [Amtschefkonferenz](#)
- 7 Deutsche Phosphor-Plattform (DPP) (2024): Politikmemorandum zur Phosphor-Rückgewinnung 2023/24 der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e.V. [DPP-Politikmemorandum-zur-Phosphorrueckgewinnung-2023_24.pdf](#)
- 8 Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU): Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm Microsoft Word - [240607 VKU Position_Klärschlamm_P-Rückgewinnung_final.docx](#)
- 9 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (Hrsg.) (2024): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie [nationale_kreislaufwirtschaftsstrategie_bf.pdf](#)
- 10 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (Hrsg.) (2024): Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie [nationale_kreislaufwirtschaftsstrategie_bf.pdf](#)
- 11 European Sustainable Phosphorus Plattform (ESPP) (2025): ESPP proposals on market “pull” policies for uptake of recycled nutrients [ESPP eNews](#)
- 12 European Sustainable Phosphorus Plattform (ESPP) (2025): ESPP proposals on market “pull” policies for uptake of recycled nutrients [ESPP eNews](#)
- 13 Carbon Trust (2025): CBAM und Düngemittel: Was Importeure und Exporteure in der EU beachten müssen [CBAM und Düngemittel: Was Importeure und Exporteure in der EU beachten müssen | The Carbon Trust](#)
- 14 Carbon Trust (2025): CBAM und Düngemittel: Was Importeure und Exporteure in der EU beachten müssen [CBAM und Düngemittel: Was Importeure und Exporteure in der EU beachten müssen | The Carbon Trust](#)
- 15 Meyer, Carsten und Steinmetz, Heidrun (2013): Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen kommunaler Kläranlagen. Energie aus Abfall, Band 10, S. 1015-1038 [2013_EaA_1015_1038_Meyer.pdf](#)
- 16 Loughheed T. (2011): [Phosphorus paradox: scarcity and overabundance of a key nutrient Phosphorus Paradox Scarcityand Overabundance of a Key Nutrient | Environmental Health Perspectives | Vol. 119. No. 5](#)
- 17 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Hrsg.) (2020): [Nachhaltige Phosphorversorgung Nachhaltige Phosphorversorgung](#)
- 18 Hermes, Birgit (2024): Phosphor als lebenswichtige Ressource [Phosphor als lebenswichtige Ressource: So abhängig sind wir - ZDFheute](#)
- 19 BUND Kreisverband (KV) Stuttgart (2021): Wie gut ist Dünger für die Umwelt? [Wie gut ist Dünger für die Umwelt?](#)
- 20 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Hrsg.) (2020): Nachhaltige Phosphorversorgung [Nachhaltige Phosphorversorgung](#)
- 21 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit \(2013\)](#)

- 22 Umweltbundesamt (UBA) (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz [Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz](#)
- 23 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemischer Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 24 Umweltbundesamt (UBA) (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz [Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz](#)
- 25 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemischer Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 26 [Indikator: Eutrophierung von Flüssen durch Phosphor | Umweltbundesamt](#)
- 27 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemischer Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 28 Umweltbundesamt (UBA) (2025): Indikator: Eutrophierung von Flüssen durch Phosphor [Einträge von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer | Umweltbundesamt](#)
- 29 ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe“ (Hrsg.) (2017): Phosphatrückgewinnung [Statuspap_Phosphat_2017_FINAL_NOV-p-20003290.pdf](#)
- 30 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemischer Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 31 U.S. Geological Survey (2024): [Phosphate Rock Mineral Commodity Summaries 2024](#)
- 32 U.S. Geological Survey (2024): [Phosphate Rock Mineral Commodity Summaries 2024](#)
- 33 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemischer Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 34 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Hrsg.) (2020): Nachhaltige Phosphorversorgung [Nachhaltige Phosphorversorgung](#)
- 35 U.S. Geological Survey (2024): [Phosphate Rock Mineral Commodity Summaries 2024](#)
- 36 World Trade Integrated Solution (WITS): European Union Mineral or chemical fertilizers, phosphatic, ne imports by country in 2023 [European Union Mineral or chemical fertilizers, phosphatic, ne imports by country | 2023 | Data](#)
- 37 Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020 [Text von Bedeutung für den EWR.](#)
- 38 Verordnung (EU) 2024/1252 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. April 2024 zur Schaffung eines Rahmens zur Gewährleistung einer sicheren und nachhaltigen Versorgung mit kritischen Rohstoffen und zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1724 und (EU) 2019/1020 [Text von Bedeutung für den EWR.](#)
- 39 Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2023): DERA-Rohstoffliste 2023 [BGR Publikationen](#)
- 40 Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI) (2022): Risiken bei nicht energetischen-Rohstoffen [Risiken bei nicht-energetischen Rohstoffen | VCI](#)
- 41 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit \(2013\)](#)
- 42 Kabbe, Christian (2019): Von der P-Rückgewinnung zum tatsächlichen Recycling – Sekundärer Rohstoff, Interme

diat oder fertiges Produkt? Wasser und Abfall 11 | 2019

- 43 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2012): [Energiestudie 2013 Energiestudie 2013 - Reserven, Ressourcen und Verfügbarkeit von Energierohstoffen](#)
- 44 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Hrsg.) (2020): [Nachhaltige Phosphorversorgung](#)
- 45 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Hrsg.) (2020): [Nachhaltige Phosphorversorgung](#)
- 46 Industrieverband Agrar e.V. (IVA) (Hrsg.): [Wichtige Zahlen 2025 IVA-Broschüre Wichtige Zahlen_Dezember 2024.pdf](#)
- 47 Delegation of the European Union to Georgia (2022): Factsheet: Agrifood trade and EU sanctions adopted further to the invasion of Ukraine by the Russian Federation [Factsheet: Agrifood trade and EU sanctions adopted further to the invasion of Ukraine by the Russian Federation | EEAS](#)
- 48 Destatis (2025): Außenhandelsstatistik
- 49 Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt: [Die BMBF-Fördermaßnahmen RePhoR Fördermaßnahme - Regionales Phosphor-Recycling](#)
- 50 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2018): [Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland](#)
- 51 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#) [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#)
Lieferungen der Produzenten und Importeure an Absatzorganisationen oder Endverbraucher in Deutschland; Absatz und tatsächlicher Verbrauch können z.B. durch Lagerhaltung abweichen)
- 52 Düngemittelstatistik
- 53 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit \(2013\)](#)
- 54 Umweltbundesamt (UBA) (2025): [Indikator: Eutrophierung von Flüssen durch Phosphor Einträge von Nähr- und Schadstoffen in die Oberflächengewässer | Umweltbundesamt](#)
- 55 ProcessNet-Fachgruppe „Rohstoffe“ (Hrsg.) (2017): [Phosphatrückgewinnung Statuspap_Phosphat_2017_FINAL_NOV-p-20003290.pdf](#)
- 56 Destatis (2023): [KORREKTUR: 80% des Klärschlamm aus kommunalen Kläranlagen im Jahr 2022 thermisch verwertet](#)
- 57 Deutscher Bundestag (2018): [Phosphor in Klärschlämmen Deutscher Bundestag - Phosphor im Klärschlämmen](#)
- 58 Kabbe, Christian (2019): [Von der P-Rückgewinnung zum tatsächlichen Recycling – Sekundärer Rohstoff, Intermediat oder fertiges Produkt? Wasser und Abfall 11 | 2019](#)
- 59 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2018): [Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland Klärschlamm entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland](#)
- 60 Richtlinie (EU) 2024/3019 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. November 2024 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (Neufassung) [Directive - EU - 2024/3019 - EN - EUR-Lex](#)
- 61 Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27. September 2017 [Bundesgesetzblatt BGBl. Online-Archiv 1949 - 2022 | Bundesanzeiger Verlag](#)
- 62 European Commission (2025): [Clean Industrial Deal Clean Industrial Deal - European Commission](#)
- 63 European Commission (2020): [A new Circular Economy Action Plan for a Cleaner and More Competitive Europe EUR-Lex - 52020DC0098 - EN - EUR-Lex](#)
- 64 Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (2024): [Bund, Länder und Wirtschaft stärken Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm BMLEH - Homepage - Bund, Länder und Wirtschaft stärken Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlamm](#)
- 65 Nedelciu CE, Ragnarsdóttir KV, Stjernquist I, Schellens MK. Opening access to the black box: The need for reporting on the global phosphorus supply chain. *Ambio*. 2020 Apr;49(4):881-891. doi: 10.1007/s13280-019-01240-8.

Epub 2019 Sep 4. PMID: 31485920; PMCID: PMC7028792 [Opening access to the black box: The need for reporting on the global phosphorus supply chain - PMC](#)

- 66 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#) Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie
- 67 Umweltbundesamt (UBA) (2015): [Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz](#) Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz
- 68 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit](#) Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit (2013)
- 69 [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung, S. 56](#)
- 70 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit](#) Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit (2013)
- 71 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit](#) Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit (2013)
- 72 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit](#) Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit (2013)
- 73 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#) Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung
- 74 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#) Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie
- 75 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit](#) Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit (2013)
- 76 [Industrieverband Agrar e.V. \(IVA\) \(Hrsg.\): Wichtige Zahlen 2025 IVA-Broschüre Wichtige Zahlen_Dezember 2024.pdf](#)
- 77 [Industrieverband Agrar e.V. \(IVA\) \(Hrsg.\): Wichtige Zahlen 2025 IVA-Broschüre Wichtige Zahlen_Dezember 2024.pdf](#)
- 78 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#) Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung
- 79 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#) Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung
- 80 Haubner, Andreas (2019): [Leitfaden für Düngermischer. Anleitung zu einer guten Praxis für hochwertige Mischdünger](#) Microsoft Word - Dokument15
- 81 Bundesverband der Düngermischer e.V.: [Herstellung von Mischdüngern in der westlichen Welt Statistik Mischdüngerproduktion - BV Düngermischer e.V.](#)
- 82 Bundesverband der Düngermischer e.V. [BV Düngermischer e.V.](#)
- 83 European Fertiliser Blenders Association [European Fertilizer - Association Européenne des mélangeurs d'engrais](#)

84 Yunnan Yuntianhua Co., Ltd [Company Profile|Yuntianhua Co., Ltd](#)

85 OCP Group (2025): Our History [Our History | OCP Group](#)

86 Mosaic: North American Business [The Mosaic Company | Mosaic North America | Potash | Diammonium Phosphate](#)

87 Yunnan Yuntianhua Co., Ltd [Company Profile|Yuntianhua Co., Ltd](#)

88 Mosaic: North American Business [The Mosaic Company | Mosaic North America | Potash | Diammonium Phosphate](#)

89 OCP Group (2025): Our History [Our History | OCP Group](#)

90 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2019): Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung [Ökobilanzieller Vergleich der P-Rückgewinnung aus dem Abwasserstrom mit der Düngemittelproduktion aus Rohphosphaten unter Einbeziehung von Umweltfolgeschäden und deren Vermeidung](#)

91 Industrieverband Agrar e.V. (IVA) (Hrsg.): Wichtige Zahlen 2025 IVA-Broschüre [Wichtige Zahlen_Dezember 2024.pdf](#)

92 ICL: Creating impact for a sustainable future ICL FY'24 Consolidated Fact Sheet - FINAL

93 ICL (2025): Annual Report 2024 [Full 20F_2024_FINAL](#)

94 ICL: Ludwigshafen Fertilizers [Ludwigshafen Fertilizers - Germany and Austria : Germany and Austria](#)

95 Destatis (2025): Außenhandelsstatistik

96 Destatis (2025): Düngemittelstatistik

97 Kratz, Sylvia et al. (2014): Abschätzung des Potentials erneuerbarer P-haltiger Rohstoffe in Deutschland zur Substitution rophosphalthaltiger Düngemittel [kratz_et_al.fm](#)

98 Destatis (2025): Außenhandelsstatistik

99 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)

100 Umweltbundesamt (UBA) (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz [Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz](#)

101 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.) (2013): Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit [Phosphat: Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit \(2013\)](#)

102 Deutsche Phosphor-Plattform (DPP) (2024): Politikmemorandum zur Phosphor-Rückgewinnung 2023/24 der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e.V. [DPP-Politikmemorandum-zur-Phosphorrueckgewinnung-2023_24.pdf](#)

103 European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP) (2022): ESPP Phosphorus Fact Sheet [ESPP_Phosphorus_fact_sheet_v13_4_22.pdf](#)

104 European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP) (2022): ESPP Phosphorus Fact Sheet [ESPP_Phosphorus_fact_sheet_v13_4_22.pdf](#)

105 European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP) (2022): ESPP Phosphorus Fact Sheet [ESPP_Phosphorus_fact_sheet_v13_4_22.pdf](#)

106 European Sustainable Phosphorus Platform (ESPP) (2022): ESPP Phosphorus Fact Sheet [ESPP_Phosphorus_fact_sheet_v13_4_22.pdf](#)

107 Beschluss der Kommission vom 13. Februar 2013 zur Einstellung des Antidumpingverfahrens betreffend die Einfuhren von weißem Phosphor, auch elementarer oder gelber Phosphor genannt, mit Ursprung in der Republik Kasachstan

108 Albach, Rolf: Grüner Phosphor [Grüner Phosphor | GDCh.app](#)

109 Destatis (2025): Außenhandelsstatistik

110 Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Neue Klärschlammverordnung in Kraft BMUV: [Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung | Gesetze und Verordnungen](#)

111 Hamburg Wasser (2024): Hamburg Wasser stellt neuen Projektplan vor [HAMBURG WASSER stellt neuen Projektplan vor - Hamburg Wasser](#)

- 112 Gelsenwasser (2025): Sachsen-Anhalt fördert innovative Anlage zur Phosphor-Rückgewinnung in Schkopau [Sachsen-Anhalt fördert innovative Anlage zur Phosphor-Rückgewinnung in Schkopau | Gelsenwasser](#)
- 113 Emschergenossenschaft Lippeverband (2024): Phosphor-Recycling aus Abwasser [Phosphor-Recycling aus Abwasser - eglv](#)
- 114 Destatis (2023): KORREKTUR: 80% des Klärschlamms aus kommunalen Kläranlagen im Jahr 2022 thermisch verwertet [KORREKTUR: 80 % des Klärschlamms aus kommunalen Kläranlagen im Jahr 2022 thermisch verwertet - Statistisches Bundesamt](#)
- 115 Interne Interviews
- 116 Interne Interviews
- 117 Verband kommunaler Unternehmen e.V. (VKU): Phosphor-Rückgewinnung aus Klärschlamm [Microsoft Word - 240607 VKU Position_Klärschlamm_P-Rückgewinnung_final.docx](#)
- 118 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 119 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 120 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 121 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 122 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 123 Deutsche Phosphor-Plattform (DPP) (2024): Politikmemorandum zur Phosphor-Rückgewinnung 2023/24 der Deutschen Phosphor-Plattform DPP e.V. [DPP-Politikmemorandum-zur-Phosphorrueckgewinnung-2023_24.pdf](#)
- 124 Verordnung (EG) Nr. 767/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juli 2009 über das Inverkehrbringen und die Verwendung von Futtermitteln, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates und zur Aufhebung der Richtlinien 79/373/EWG des Rates, 80/511/EWG der Kommission, 82/471/EWG des Rates, 83/228/EWG des Rates, 93/74/EWG des Rates, 93/113/EG des Rates und 96/25/EG des Rates und der Entscheidung 2004/217/EG der Kommission [Text von Bedeutung für den EWR](#)
- 125 Interne Interviews
- 126 Interne Interviews
- 127 Kopp-Assenmacher Rechtsanwälte (2025): Rechtsgutachten zur Frage des Endes der Abfalleigenschaft von Phosphorrezyklaten [Rechtsgutachten_Abfallende_Phosphorrezyklat \(1\).pdf](#)
- 128 Interne Interviews
- 129 Interne Interviews
- 130 Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) (2021): Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie [Sekundärer Phosphor als Rohstoff für die chemische Industrie](#)
- 131 Qualität und Menge gütege sicherter Komposte [Qualitaet_und_Menge_guetegesicherter_Komposte.pdf](#)
- 132 Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK): Marktwert von Kompost in Deutschland [Microsoft Word - Marktwert und Vermarktung.doc](#)
- 133 Umweltbundesamt (UBA) (2024): Bioabfälle [Bioabfälle | Umweltbundesamt](#)
- 134 Umweltbundesamt (UBA) (2024): Bioabfälle [Bioabfälle | Umweltbundesamt](#)
- 135 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2015): Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen [Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen | Umweltbundesamt](#)
- 136 Umweltbundesamt (UBA) (2024): Bioabfälle [Bioabfälle | Umweltbundesamt](#)
- 137 Umweltbundesamt (UBA) (2024): Bioabfälle [Bioabfälle | Umweltbundesamt](#)
- 138 Statista (2025): Stromerzeugung aus Hausmüll in Deutschland bis 2024 [Stromproduktion aus biogenem Hausmüll in Deutschland | Statista](#)
- 139 Umweltbundesamt (UBA): Erneuerbare Energien in Zahlen [Erneuerbare Energien in Zahlen | Umweltbundesamt](#)
- 140 Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK) (2021): Verwertung von Bioabfällen 2020 [Verwertung_von_Bioab](#)

141

142 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2015): Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen [Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen | Umweltbundesamt](#)

143 Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) [DüMV.pdf](#)

144 https://www.gesetze-im-internet.de/d_mittelv_2012/

145 Umweltbundesamt (UBA): Nachfrage und Einsatz von Kunststoffrezyklaten erhöhen [Nachfrage und Einsatz von Kunststoffrezyklaten erhöhen | Umweltbundesamt](#)

146 Umweltbundesamt (UBA): (2025): Kunststoffabfälle [Kunststoffabfälle | Umweltbundesamt](#)

147 bvse Fachverband Kunststoffrecycling: Sortierung der Kunststoffabfälle [bvse – Sortierung der Kunststoffabfälle](#)

148 Umweltbundesamt (UBA): Recyclingfähigkeit von Verpackungen: Mindeststandard 2024 [Recyclingfähigkeit von Verpackungen: Mindeststandard 2024 | Umweltbundesamt](#)

149 Umweltbundesamt (UBA (Hrsg.) (2022): Überprüfung der Wirksamkeit des § 21 VerpackG und Entwicklung von Vorschlägen zur rechtlichen Weiterentwicklung [Überprüfung der Wirksamkeit des § 21 VerpackG und Entwicklung von Vorschlägen zur rechtlichen Weiterentwicklung](#)

150 Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung e.V. (DIW): Klimaneutralität braucht koordinierte Maßnahmen zur Stärkung von hochwertigem Recycling [DIW Berlin: Klimaneutralität braucht koordinierte Maßnahmen zur Stärkung von hochwertigem Recycling](#)

151 Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment (Text with EEA relevance) [Directive - 2019/904 - EN - SUP Directive - EUR-Lex](#)

152 Umweltbundesamt (UBA): Nachfrage und Einsatz von Kunststoffrezyklaten erhöhen [Nachfrage und Einsatz von Kunststoffrezyklaten erhöhen | Umweltbundesamt](#)

153 Umweltbundesamt (UBA) (Hrsg.) (2021): Beschaffung von Kunststoffprodukten aus Post-Consumer-Rezyklaten. Handreichung für den öffentlichen Einkauf [Beschaffung von Kunststoffprodukten aus Post-Consumer Rezyklaten](#)

154 Umweltbundesamt (UBA (Hrsg.) (2022): Überprüfung der Wirksamkeit des § 21 VerpackG und Entwicklung von Vorschlägen zur rechtlichen Weiterentwicklung [Überprüfung der Wirksamkeit des § 21 VerpackG und Entwicklung von Vorschlägen zur rechtlichen Weiterentwicklung](#)

155 IHK Köln: Das Verpackungsgesetz [Das Verpackungsgesetz - IHK Köln](#)

Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.: Gütesicherung Kompost Produkte / Anforderungen

Impressum

Herausgeber

Ramboll Management Consulting | civity

Kopenhagener Str. 60-68
13407 Berlin
Deutschland

[https://www.ramboll.com/
management-consulting](https://www.ramboll.com/management-consulting)

Auftraggeber:

BDEW Bundesverband der Energie- und
Wasserwirtschaft e.V.
Reinhardtstr. 32
10117 Berlin
Telefon +49 30 / 300 199-0
Telefax +49 30 / 300 199-3900

E-Mail info@bdew.de

Bearbeitung:

Ramboll Management Consulting GmbH
Friederike Lauruschkus, Global Industry Lead
Water & Wasterwater
Manon Cavagna, Water & Wastewater
Greta Rose, Water & Wastewater

Ramboll Deutschland GmbH
Elisabeth Zettl, Environment & Health
Felicita Frick, Environment & Health

Kontakt

friederike.lauruschkus@ramboll.com

Gestaltung:

Jasmin Bläsing
Christian Schirmer

citation note: Ramboll Management Consulting | civity (Hrsg.):
Phosphor als strategische Ressource - Handlungsempfehlungen der Wasserwirtschaft zur
Etablierung eines Marktes für Sekundärphosphor, 01/2026

© Ramboll Management Consulting | civity DE, Berlin, 2026

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der BDEW. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitung, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

