



INSTITUT FÜR ENERGIE-
UND UMWELTFORSCHUNG
HEIDELBERG

Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Phosphat in Umweltbewertungen



ifeu paper 01/2019

Reinhardt, Guido; Rettenmaier, Nils;
Vogt, Regine

Heidelberg, September 2019

In diesem ifeu paper veröffentlicht das Institut seine Position zu einem fachlichen Querschnittsthema mit gesellschaftlicher Relevanz und möchte damit den wissenschaftlichen Diskurs fördern. Die Autoren und Autorinnen begrüßen Rückmeldungen zu den Inhalten.

Kontakt:

Dr. Guido Reinhardt

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Wilckensstraße 3, 69120 Heidelberg
guido.reinhardt@ifeu.de, +49-6221-4767-31

Zitiervorschlag:

G. Reinhardt, N. Rettenmaier & R. Vogt (2019): Festlegung des Indikators für die Bilanzierung der Ressource Phosphat in Umweltbewertungen. *ifeu papers 01/2019*, verfügbar unter: www.ifeu.de/ifeu-papers, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg, Heidelberg.

Danksagung:

Für viele Anregungen, Hinweise, Diskurse und Empfehlungen möchten wir von ganzen Herzen unseren ifeu-Kolleg*innen danken, insbesondere: Mirjam Busch, Horst Fehrenbach, Sven Gärtner, Marie Hemmen, Claudia Kämper, Dr. Heiko Keller, Joachim Reinhardt, Meike Schmehl und Christina Zinke.

Titelseite, oben: eigene Bilder; Abraumhalde (oben), Rohphosphat (unten)

Titelseite, unten: eigenes Bild

Inhalt

1 Ziel dieses Positionspapiers	4
2 Hintergrund und Begriffe	4
3 Festlegung des Begriffs für den Indikator	6
4 Einheit, Bezugsgröße, Umrechnungsfaktoren	6
5 Faktoren für die Normierung	8
6 Verwendung	8
7 Englischsprachige Bezeichnungen	8
8 Literatur	9
9 Anhang	11

1 Ziel dieses Positionspapiers

Ziel dieser Ableitung ist die Festlegung bzw. Benennung eines Indikators für die Bilanzierung der Ressource „Phosphat“ u. a. in Ökobilanzen sowohl für deutsche wie englische Publikationen. Dies soll auch die zugehörigen Einheiten und Umrechnungsfaktoren beinhalten.

2 Hintergrund und Begriffe

Phosphatgestein ist der Ausgangsrohstoff für die Produktion von Phosphorsäure, die für die Produktion von Phosphatprodukten wie Düngemittel, Tierfutter, Nahrungsmittel und weitere Industrieprodukte benötigt wird. 90 % des globalen Phosphats wird zur Düngung in der Landwirtschaft verwendet [Brunner 2010 p. 870]. Die Förderung von Phosphaterz findet zu 85 % aus marinsedimentären und zu 15 % aus magmatischen Lagerstätten statt, wobei das Phosphaterz chemisch u.a. Eisen- und Aluminiumsalze als Hydratkomplexe mit sehr unterschiedlichen Phosphor- bzw. Phosphatgehalten umfasst. Lagerstätten auf Basis von Guanoablagerungen sind größtenteils erschöpft [Killiches 2013 p. 9]. Hauptförderländer sind derzeit China (52 %), USA (10 %) und Marokko (12 %) [USGS 2019].



Die Prozessschritte vom Tagebau des Phosphaterzes zum marktfähigen Rohphosphat umfassen Mahlen, Waschen, Sieben und anschließende Flotation [Killiches 2013 p. 9]. Marktfähiges Rohphosphat hat Phosphat-Gehalte zwischen 27 % und 40 % ([Gwosdz et al. 2006] zitiert in [Killiches 2013 p. 10]). Recyceltes Phosphat kann zudem über mehrere Verfahren aus Klärschlamm gewonnen werden [Pinnekamp et al. 2011; Spörri et al. 2017].



Als mineralischer Rohstoff ist Phosphat eine nicht-erneuerbare Ressource – anders als beispielsweise Stickstoff, der unter Energieaufwand aus der Luft gewonnen werden kann. Je nach Quelle beträgt die statische Reichweite der globalen Phosphatreserven nur einige Jahrzehnte bis wenige Jahrhunderte [Cordell et al. 2009; van Kauwenbergh 2010; Vaccari & Strigul 2011; van Vuuren et al. 2010]. Diese Knappheit wird noch dadurch verstärkt, dass in Zukunft mit einer wachsenden Weltbevölkerung und gleichzeitig veränderten Konsummustern zu rechnen ist [United Nations 2017], die mit einem steigenden Phosphatbedarf einhergehen.



Die Bezeichnungen für die phosphathaltigen Rohstoffe werden in der Literatur nicht konsistent verwendet. Synonym werden oft folgende Begriffe genutzt: Phosphaterz, Rohphosphat, Phosphatgestein, Phosphor-Ressource. Beispiele für Definitionen sind:

- (Phosphat-)Erz: Erze sind natürlich vorkommende Mineralaggregate von wirtschaftlichem Interesse, aus denen durch Bearbeitung ein oder mehrere Wertbestandteile extrahiert werden können. Meistens sind dies Minerale, die mehr oder weniger metallische Bestandteile enthalten ([LUMITOS 2018] zitiert nach UK Institution of Mining and Metallurgy).
- Phosphatgestein: Im englischsprachigen Raum wird vornehmlich der Begriff „phosphate rock“ verwendet, der nach [Schweizer 2012] mit Phosphatgestein, Rohphosphat oder Apatitgestein übersetzt wird und synonym zum Begriff Phosphaterz im zuvor beschriebenen Sinne verwendet werden kann. Im

Phosphatbericht der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) [Killiches 2013] ist neben dem allgemeinen Begriff Phosphat von Phosphatgestein die Rede.

- Rohphosphat: Viele Autoren verstehen unter Rohphosphat nicht den geförderten Rohstoff, sondern das aufbereitete, aufkonzentrierte Phosphaterz, z. B. bereits [Kongshaug et al. 2005; Patyk & Reinhardt 1997 p. 106], bis hin zu neueren Publikationen wie z. B. [Killiches 2013 p. 9; Pinnekamp et al. 2011 p. 24]. In diesem Sinne unterscheiden sich somit Phosphaterz und Rohphosphat in ihrem Phosphatgehalt und in den erfolgten Verarbeitungsschritten.
- Phosphatmineral: phosphathaltige Minerale, z.B. Apatit $\text{Ca}_5[(\text{F},\text{Cl},\text{OH})](\text{PO}_4)_3$ als wichtigstes Mineral
- Recycelter Phosphor: zurückgewonnener Phosphor aus organischen Reststoffen, z.B. Klärschlamm
- Phosphor-Ressourcen: Menge Rohphosphat, die zur Herstellung einer entsprechenden Menge Primärphosphat benötigt wird [Montag et al. 2015 p. 74]. Als Phosphor-Ressource kann allerdings auch Klärschlamm oder Guano angesehen werden, was nicht im Sinn der hier angesprochenen mineralischen Ressource ist.
- BPL (Bone Phosphate of Lime): tricalcium phosphate, $1\% \text{P}_2\text{O}_5 = 2,185\% \text{BPL}$ [United Nations Industrial Development Organization & International Fertilizer Development Center 1998 p. 109]; BPL mit einem Wert von 70 % (entspricht 32 % P_2O_5) wird als Bezugsgröße für die Preisentwicklung von Rohphosphat verwendet [IndexMundi 2018].



Im Rahmen von ökobilanziellen Studien werden zur Bewertung des Phosphatbedarfs u.a. folgende Kenngrößen verwendet:

- Phosphate resource equivalents, in: [Neuberdt 2017] (durchschnittlich 25 % Phosphatgehalt nach [Patyk & Reinhardt 1997 p. 106])
- Phosphaterz, in: [Patyk & Reinhardt 1997 p. 106]
- Rohphosphat, in: [Pinnekamp et al. 2011 pp. 22, 229] (durchschnittlich 30 % Phosphatgehalt)

Die hier aufgeführte Zusammenstellung mag nicht vollständig sein, aber sie reicht für das hier verfolgte Ziel aus.

Die genannten Begriffe beziehen sich direkt auf die Einzelressource Phosphat. Demgegenüber wird für den gesamten Rohstoffaufwand der Begriff „Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)“ nach [Giegrich et al. 2012] verwendet. Der kumulierte Rohstoffaufwand umfasst nicht nur den Rohstoffaufwand durch die Gewinnung (Gesteinsmasse des Ausgangsmaterials), sondern auch alle „... aufgewendeten Primärrohstoffe, inklusive der Energierohstoffe, entlang der Wertschöpfungskette“ [VDI 2016]. In Ökobilanzen wird der KRA als Sachbilanzindikator verwendet. Für die Wirkungsabschätzung hat das ifeu einen Vorschlag entwickelt, der es erlaubt, die Relevanz der Masseninanspruchnahme zu bewerten (siehe [Detzel et al. 2016] oder [Giegrich et al. 2016]). Allerdings ist eine Charakterisierung nach Datenlage noch nicht möglich. Auch stehen im Kontext dieses ifeu papers die unterschiedlichen Phosphatgehalte der verschiedenen Lagerstätten im Vordergrund und nicht die in der weiteren Wertschöpfungskette kumulierten Rohstoffmassen.

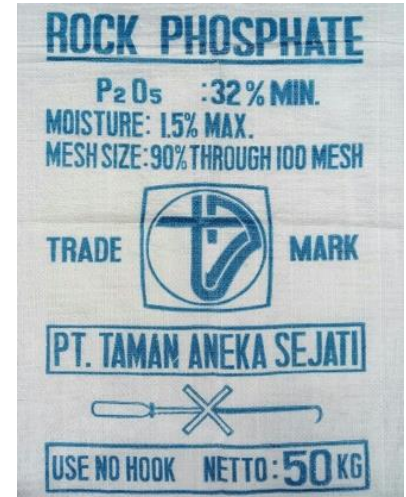
3 Festlegung des Begriffs für den Indikator

Als Indikator für die Einzelressource Phosphat soll in ökobilanziellen Studien der Kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) als Sachbilanzgröße verwendet werden. Der KRA für den Phosphatbedarf beschreibt die Menge an Ausgangsmineral (Erz bzw. Gestein) zur Gewinnung von Phosphat sowie alle aufgewendeten Primärrohstoffe entlang des Lebensweges. Prägend für den KRA von Phosphat ist dabei die Ausgangsgesteinsmasse. In diesem Sinne können die Begriffe Phosphaterz und Phosphatgestein synonym verwendet werden.

Auch wenn Phosphaterz aus praktischer Sicht (kürzere Begriffe sind in Grafiken besser lesbar) der etwas geschicktere Begriff sein mag, wird Phosphatgestein wegen der semantischen Nähe zum englischen Begriff „phosphate rock“ als Bezeichnung für die Bilanzierung der Ressource Phosphat festgelegt.

Um der allgemeinen Verständlichkeit in der Öffentlichkeit gerecht zu werden, kann der Indikator vereinfachend nur als Phosphatgestein oder Phosphat-Fußabdruck betitelt werden. Damit ergeben sich die Begriffe:

- „Phosphatgestein-Bedarf“ bzw. „Phosphatgestein“ (maßgebliche Teilmenge des KRA Phosphat).
- Für die vereinfachte Darstellung kann der Begriff Phosphat-Fußabdruck verwendet werden.



4 Einheit, Bezugsgröße, Umrechnungsfaktoren

Für die praktische Anwendung bzw. Berechnung des Phosphatgestein-Bedarfs sind verschiedene Festlegungen notwendig:

Die **Einheit** auf Sachbilanzebene folgt der Logik für den kumulierten Rohstoffaufwand

- Phosphatgestein-Standard in kg oder abgekürzt: Phosphatgestein (std.) in kg

Das „Anhängsel“ „Standard“ ist sinnvoll, da das Phosphatgestein je nach Herkunft, wie oben ausgeführt, unterschiedliche Phosphatgehalte aufweisen kann und somit auf einen standardisierten Wert Bezug genommen werden muss (siehe „Umrechnungsfaktor“ im übernächsten Absatz).

Die **Bezugsgröße** P_2O_5 , Rohphosphat oder andere Größen wie PO_4^{3-} ergeben sich aus der Fragestellung (z. B. der Ökobilanz).

Umrechnungsfaktor: Da Phosphatgestein deutlich unterschiedliche Phosphatgehalte aufweisen kann, ist es z. B. für Ökobilanzberechnungen notwendig, einen durchschnittlichen Phosphatgehalt des Phosphatgesteins festzulegen. Hierzu existiert in der Literatur eine Vielzahl an Angaben und Ansätzen wie z. B.:

- „Phosphate rock statistics are generally expressed as tonnes of product. The phosphorus content of the rock varies. Rock of sufficiently high phosphorus content (grade) to be acceptable commercially contains 30 – 40 % P_2O_5 “ nach [Kongshaug et al. 2005].
- „Globally, on average, phosphate ores have a P_2O_5 content of around 30 % ([IFA 2009; USGS 2008] zitiert in [van Vuuren et al. 2010]). In our calculations, we assumed an average P_2O_5 content of 30 % for all the reserve and reserve base estimates, unless a specific grade was indicated. For China, we used a P_2O_5 content

of 25 % for the reserves and 20 % for the reserve base [USGS 2008]. For the additional resources, we assumed a P_2O_5 content of 10 and 17.5 %.“, nach [van Vuuren et al. 2010].

- [Jasinski 1999 p. 75.5] bestätigt die geringeren P_2O_5 -Gehalte in China, zumindest teilweise.
- [Truong & Zapata 2002 p. 17] sprechen von durchschnittlich 27 % P_2O_5 .
- [Neukirchen & Ries 2016 pp. 258–259]: „Als Phosphorite werden marine Sedimentgesteine bezeichnet, die sich durch ihren hohen Gehalt an Phosphat von mindestens 15–20 % auszeichnen. Um abbauwürdig zu sein, sollte Phosphaterz mindestens 30 % P_2O_5 enthalten, am besten mit Kalziumkarbonat und nur geringen Mengen an Eisen und Aluminium.“
- [Patyk & Reinhardt 1997 p. 106] weisen einen durchschnittlichen Phosphatgehalt von 25 % bezogen auf die in der Landwirtschaft üblicherweise verwendete Bezugsgröße P_2O_5 aus, die 32 % Rohphosphat entsprechen.

Auf der Basis der aufgeführten Quellen scheint es keine stichhaltigen Gründe zu geben, von den in [Patyk & Reinhardt 1997 p. 106] aufgeführten Werten abzuweichen, zumal dort auch viele weitere Basisdaten für die Bereitstellung von Phosphatdüngern für Ökobilanzen im Detail abgeleitet wurden.

Als **Umrechnungsfaktor** wird für das Phosphatgestein auf der Basis von [Patyk & Reinhardt 1997 p. 106] ein durchschnittlicher Phosphatgehalt von 25 % bezogen auf die in der Landwirtschaft üblicherweise verwendete Bezugsgröße P_2O_5 angesetzt. Dies entspricht 32 % Rohphosphat. Das heißt,

→ 1 kg P_2O_5 -Düngemittel (mineralisch) entspricht 4,0 kg Phosphatgestein (std.) bzw. 3,125 kg Rohphosphat (std.).

Hinweise:

- Bezug sind hier explizit mineralische Düngemittel. Bei organischen Düngemitteln, wie z. B. Gülle, Festmist, Naturdünger wie Guano oder auch aus Klärschlamm zurückgewonnenem Phosphat gilt diese Zuordnung nicht. Hier muss je nach Fragestellung jeweils eine spezifische Vorgehensweise bzw. Ableitung vorgenommen werden.
- Bei der Berechnung von Phosphatgestein-Standard in Ökobilanzen werden sämtliche verwendete Produkte berücksichtigt, die aus mineralischem Phosphat hergestellt werden oder solches enthalten wie insbesondere mineralischer Phosphatdünger. Bei konsequenzieller Bilanzierung werden zusätzlich Produkte berücksichtigt, die Produkte aus mineralischem Phosphat ohne Einschränkungen ersetzen können (und im Referenzzeitraum der Studie mengenmäßig begrenzt verfügbar sind).

5 Faktoren für die Normierung

Für die Normierung werden Einwohnerdurchschnittswerte vorgeschlagen, wie dies in vielen Ökobilanzen üblich ist. Diese variieren bekanntermaßen im Zeitverlauf. Dabei zeigt der Verlauf keinen eindeutigen Trend (siehe Anhang). Da insbesondere in den letzten Jahren permanente Schwankungsänderungen zu verzeichnen sind, wählen wir das 5-Jahresmittel als Durchschnittswert. D.h., wir beziehen uns bewusst nicht auf Daten des letzten verfügbaren Jahres. Damit ergeben sich folgende Werte:

- Für Bezugsraum Deutschland: 16,1 kg Phosphatgestein (std.) / (Person · Jahr)
- Für Bezugsraum Europa: 23,1 kg Phosphatgestein (std.) / (Person · Jahr)

6 Verwendung

Für die Verwendung des Indikators schlagen wir vor, dass in jeder Studie bei der „Einführung / Verwendung / Darstellung“ des Indikators an geeigneter Stelle (Glossar, Fußnote etc.) folgendes hinzugefügt wird:

„In dieser Studie wird als Indikator für den mineralischen Ressourcenverbrauch von Phosphat der Phosphatgestein-Bedarf als Sachbilanzgröße verwendet. Unter „Rohphosphat“ wird das bereits in einem ersten Aufbereitungsschritt aufkonzentrierte Phosphatgestein verstanden. Als Einheit wird Phosphatgestein-Standard verwendet“.

Für die Einheit empfehlen wir, dass sie im Glossar (oder an anderer Stelle) genauer beschrieben wird, bzw. auf diese Quelle verwiesen wird.

7 Englischsprachige Bezeichnungen

Die Bezeichnung phosphate resource (equivalents) kann, analog wie die oben aufgeführte Phosphatressource, zu Fehlinterpretationen führen. Aus diesem Grund verwenden wir die bereits eingeführte Bezeichnung

- *Phosphate rock* bzw. *phosphate rock demand* bzw. *phosphate rock* (relevant subset of CRD phosphate).
- Für vereinfachte Kommunikation auch: *phosphate rock footprint* oder *phosphate footprint*.

mit der entsprechenden Einheit: „kg“ auf Sachbilanzebene

- Phosphate rock standard or phosphate rock (std).

8 Literatur

- Brunner, P. H. (2010): Substance Flow Analysis as a Decision Support Tool for Phosphorus Management. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 14, No.6, pp. 870–873.
- Cordell, D., Drangert, J.-O., White, S. (2009): The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change*, Vol. 19, No.2, pp. 292–305.
- Detzel, A., Kauertz, B., Grahl, B., Heinisch, J. (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. In: *UBA-Texte 19/2016*, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), Heidelberg, Germany.
- FAO (2018): FAO Statistics Database (FAOSTAT). <<http://www.fao.org/faostat/en/#data>> (Nov. 13, 2018).
- Giegrich, J., Lauwigi, C., Vogt, R., Kämper, C., Franke, B. (2016): Konzeption für eine Ressourcenverbrauchspflichtkennzeichnung für Produkte. In: *UBA-Texte 81/2016*, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu), Heidelberg, Germany.
- Giegrich, J., Liebich, A., Lauwigi, C., Reinhardt, J. (2012): Indikatoren / Kennzahlen für den Rohstoffverbrauch im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion. In: *UBA Texte 01/2012*, Dessau-Roßlau, Germany.
- Gwosdz, W., Röhling, S., Lorenz, W. (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden. *Geologisches Jahrbuch 12/2006*, Reihe H, Wirtschaftsgeologie, Berichte zur Rohstoffwirtschaft Hannover, Germany.
- IFA (2009): Personal communication. International Fertilizer Industry Association (IFA).
- IndexMundi (2018): Rock Phosphate Monthly Price. <<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=rock-phosphate>>.
- Jasinski, S. M. (1999): Phosphate rock. In: *U.S. Geological Survey Minerals Yearbook*, U.S. Geological Survey (USGS), Reston, VA.
- van Kauwenbergh, S. (2010): World Phosphate Rock. In: *Technical Bulletin IFDC*, International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, AL.
- Killiches, F. (2013): Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Germany.
- Kongshaug, G., Brentnall, B. A., Chaney, K., Gregersen, J., Stokka, P., Persson, B., Kolmeijer, N. W., Conradsen, A., Legard, T., Munk, H., Skauli, Ø. (2005): Phosphate Fertilizers. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, p. A19_421.
- LAGA (2012): Bewertung von Handlungsoptionen zur nachhaltigen Nutzung sekundärer Phosphorreserven. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall.
- LUMITOS (2018): Lexikon: Erz. <<http://www.chemie.de/lexikon/Erz.html>> (Jun. 19, 2018).
- Montag, D., Everding, W., Malms, S., Reinhardt, J., Fehrenbach, H., Pinnekamp (2015): Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. In: *UBA-Texte 98/2015*, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, Germany.
- Neuberdt, A. (2017): Identification of biomass utilization pathways with low phosphate rock demand for resource conservation in a growing bioeconomy. Master thesis. University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.
- Neukirchen, F., Ries, G. (2016): Die Welt der Rohstoffe: Lagerstätten, Förderung und wirtschaftliche Aspekte. Springer.
- Patyk, A., Reinhardt, G. A. (1997): Düngemittel - Energie- und Stoffstrombilanzen. Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, Germany.
- Pinnekamp, J., Everding, W., Gethke, K., Montag, D., Winfurtner, K., Sartorius, C., Von Horn, J., Tettenborn, F., Gäth, S., Waida, C., Fehrenbach, H., Reinhardt, J. (2011): Phosphorrecycling – Ökologische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Verfahren und Entwicklung eines strategischen Verwertungskonzepts für Deutschland. Bonn. http://www.cleaner-production.de/fileadmin/assets/02WA0807_-_Abschlussbericht.pdf (last accessed: 05/15/2018).
- Schweizer, V. (2012): Wörterbuch der Geologie / Dictionary of Geology: Deutsch - Englisch / English - German. Springer Spektrum, Berlin/Heidelberg.

- Spörri, A., Erny, I., Hermann, L., Hermann, R. (2017): Beurteilung von Technologien zur Phosphor-Rückgewinnung. Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, Switzerland.
- Truong, B., Zapata, F. (2002): Standard characterization of phosphate rock samples from the FAO/IAEA phosphate project. International Atomic Energy Agency (IAEA). pp. 1–4.
- United Nations (2017): World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- United Nations Industrial Development Organization, International Fertilizer Development Center (Eds.) (1998): Fertilizer Manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / The Netherlands.
- USGS (2008): Mineral Commodity Summaries 2008. In: *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, U.S. Geological Survey (USGS), Reston, VA.
- USGS (2019): Phosphate Rock. *U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries*, No.703, pp. 122–123.
- Vaccari, D. A., Strigul, N. (2011): Extrapolating phosphorus production to estimate resource reserves. *Chemosphere*, Vol. 84, No.6, pp. 792–797.
- VDI (2016): Verein Deutscher Ingenieure: VDI-Richtlinien, Ressourceneffizienz - Bewertung des Rohstoffaufwands. In: *VDI 4800 Blatt 2*, Düsseldorf, Germany.
- van Vuuren, D. P., Bouwman, A. F., Beusen, A. H. W. (2010): Phosphorus demand for the 1970–2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environmental Change*, Vol. 20, No.3, pp. 428–439.

9 Anhang

Die Berechnungsgrundlage der Einwohnerdurchschnittswerte liefern die Einsatzmengen von Phosphat zur landwirtschaftlichen Nutzung [FAO 2018] sowie zur Nutzung in anderen Anwendungsbereichen auf Grundlage der in [Montag et al. 2015] zitierten Daten aus [Pinnekamp et al. 2011] und [LAGA 2012]. Besonders für die Nutzung in anderen Anwendungsbereichen sind nur wenige Daten zu einzelnen Jahren vorhanden. Da in den wenigen vorhandenen Studien bei Futtermitteln auch Phosphatverbindungen biogenen Ursprungs einbezogen worden ist, wurde hier nur der Anteil mineralischer Phosphatverbindungen in Futtermitteln grob abgeschätzt.

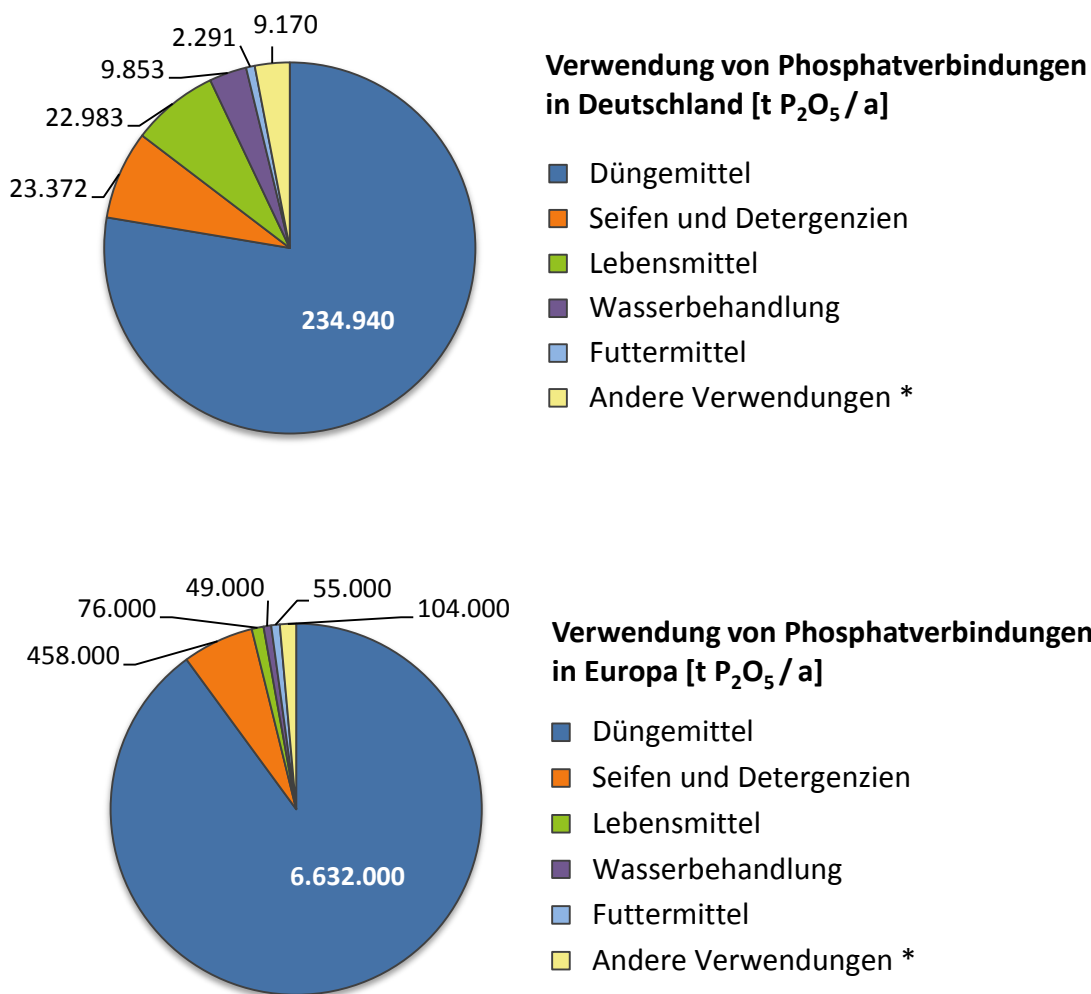


Abbildung 1: Verwendung von Phosphatverbindungen in Deutschland und Europa nach [LAGA 2012; Pinnekamp et al. 2011].

* In Deutschland entsprechen Düngemittel etwa 80 % des Verbrauchs und in Europa etwa 90 %. Andere Verwendungen für Phosphatverbindungen sind: Zahnpasta, Flammenschutzmittel, Frostschutzmittel, Metallbehandlung, Keramik, Lederverarbeitung, Gummierstellung, Aktivkohle, Fermentationsprozesse.

Der Gesamtphosphatverbrauch ist für Deutschland und Europa in Abbildung 1 dargestellt. In Deutschland werden etwa 80 % des mineralischen Phosphats für Düngemittel verwendet (nach [LAGA 2012]) und in Europa etwa 90 % (nach [Pinnekamp et al. 2011]). Die etwas unterschiedlichen Verteilungen werden darauf zurückgeführt, dass in Deutschland verglichen mit ganz Europa mehr technische Anwendungen zum Tragen kommen und weniger der Einsatz in der Landwirtschaft.

Da der Anteil von anderen Anwendungsbereichen im Vergleich zu Düngemitteln eher gering ist, wird angesetzt, dass vom gesamten Phosphatgesteinverbrauch in Deutschland 80 % für Düngemittel verwendet werden. Um den Gesamtverbrauch zu erhalten, wird dann von diesen 80 % auf 100 % hochskaliert. Von diesem Gesamtphosphatgesteinverbrauch werden dann unter Verwendung der Einwohnerzahl in Deutschland die Einwohnerdurchschnittswerte berechnet (Abbildung 2,

Tabelle 1).

Für die Berechnung der Einwohnerdurchschnittswerte der EU wird angesetzt, dass sich die Nutzungsaufteilung nicht wesentlich von der im gesamten Europa unterscheidet, und deshalb ausgehend von den o.g. 90 % ein Anteil von 10 Prozentpunkten für andere Anwendungen auf den Düngemittelverbrauch hinzugerechnet. Der spezifische Phosphatgestein-Bedarf pro Einwohner in den Jahren 2013-2017 wird herangezogen als Berechnungsgrundlage für das 5-Jahresmittel, das als Einwohnerdurchschnittswert für die Normierung des Phosphatgesteinbedarfs gewählt ist (siehe Kap. 5).

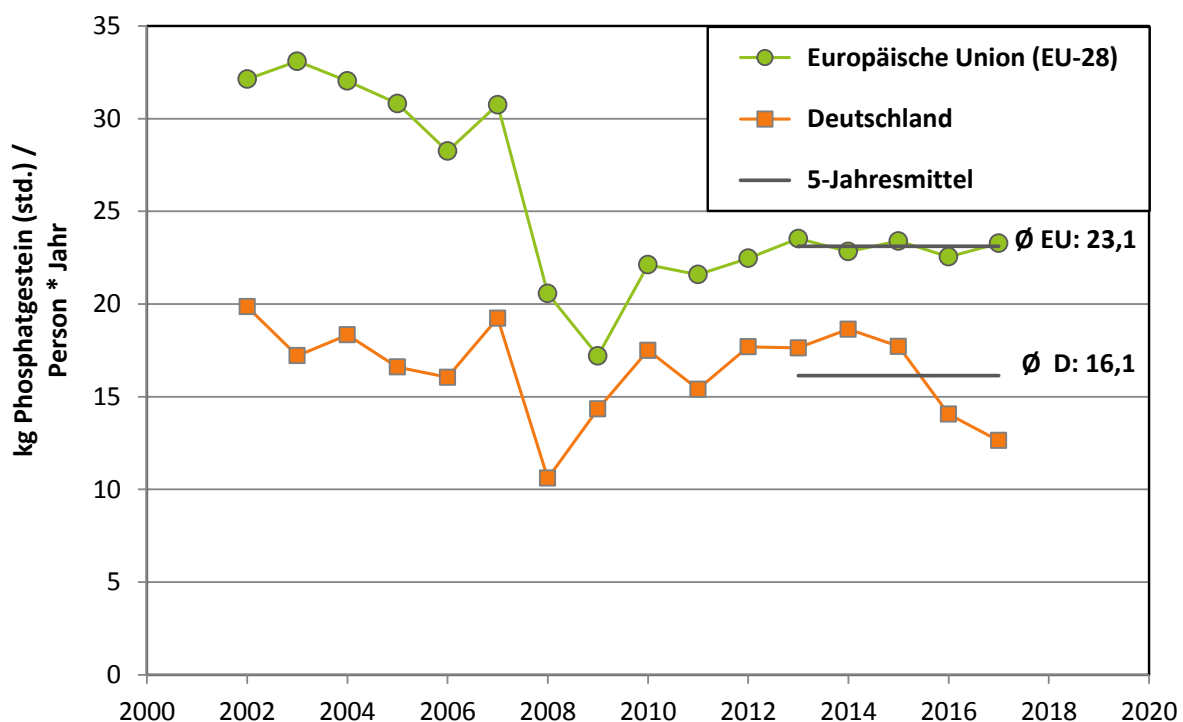


Abbildung 2: Ableitung der EU- und deutschen Einwohnerdurchschnittswerte (eigene Berechnung nach [FAO 2018]).

Tabelle 1: Ableitung der EU- und deutschen Einwohnerdurchschnittswerte (eigene Berechnung nach [FAO 2018]).

Jahr	Europäische Union (EU-28) [kg Phosphatgestein-Standard/ (Person Jahr)]	Deutschland [kg Phosphatgestein-Standard/ (Person Jahr)]
2002	32,1	19,9
2003	33,1	17,2
2004	32,0	18,3
2005	30,8	16,6
2006	28,2	16,0
2007	30,7	19,2
2008	20,6	10,6
2009	17,2	14,3
2010	22,1	17,5
2011	21,6	15,4
2012	22,5	17,7
2013	23,5	17,6
2014	22,8	18,6
2015	23,4	17,7
2016	22,5	14,1
2017	23,3	12,6