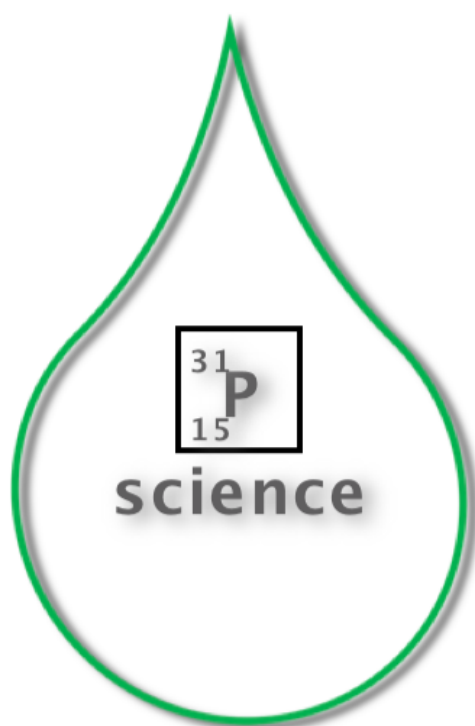


Generelle Angaben und Unterrichtsvorschläge



Inhaltsverzeichnis

Einleitung & Datei-Übersicht.....	2
Versuchsnummern	3
Versuchsübersicht	4
Unterrichtsvorschläge	5
Hinweise digitale Lernumgebung	7
Hinweise Versuche.....	7
Literatur	8
Anhang	9

Einleitung & Datei-Übersicht

Liebe Kollegen und Kolleginnen,

wir möchten Ihnen mit dieser Handreichung das Angebot „Phosphatrück-gewinnung - Angewandte Umwelttechnik im Schülerlabor“ vorstellen, das sich auch in der Schule umsetzen lässt. Das Thema Phosphat und seine Rückgewinnung soll dabei Teil eines modernen, kontextualisierten und potentiell interdisziplinären Chemieunterrichts sein. Denn Phosphatgestein ist seit 2014 Bestandteil der Liste kritischer Rohstoffe der Europäischen Union, das bedeutet hohe wirtschaftliche Bedeutsamkeit und Versorgungsrisiko. Phosphat ist ein essentieller Nährstoff für Pflanzen, welcher in fast jedem handelsüblichen Dünger zu finden ist. Angesichts einer wachsenden Weltbevölkerung und einer jetzt bereits vorhandenen Unabdingbarkeit des Düngers wäre ein Versiegen des Phosphats verheerend. Dabei gab es 2009 Hinweise, die Menschheit hätte bereits um 2050 die Vorräte verbraucht. Dieser Zeitpunkt scheint später einzutreten, so schätzt die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe die Reichweite aktuell auf etwa 320 Jahre. Diese neuen Vorhersagen beruhen auf neuen Berechnungen der Reserven, bei welchen Marokko über ungefähr 75% der weltweiten Phosphatreserven verfügt. Neben der Laufzeit verursachen Schwermetallverunreinigungen zusätzliche Probleme. Eine Lösung scheint Recycling unseres Abwassers, denn der Mensch scheidet bis zu 2 g Phosphat pro Tag aus. Zielgruppe dieses Angebots sind schulische sowie außerschulische Lerngruppen und erstmals auch Auszubildende der chemisch-technischen Berufe. Um dies aufzubereiten, finden Sie folgende Dateien:

Name	Inhalt
1 Generelle Angaben & Unterrichtsvorschläge (diese Datei)	Enthält eine generelle Übersicht, Formalie und Unterrichtsvorschläge
2 Versuche Kurzform	Alle aufgezeigten Versuche in Kurzform dargestellt; es handelt sich nicht um die Anleitungen für die Lernenden
3 Materialien und Chemikalien	Alle benötigten Chemikalien und Geräte sowie bspw. das Ansetzen von Lösungen und des Modellklärschlamms
4 Arbeitsmaterial	Das Material für Schüler_Innen inklusive Vorschlägen für Aufgaben und deren (mögliche) Lösung

Grundsätzlich freuen wir uns über jede Art von Rückmeldung zu dem Material, um es weiter zu verbessern. Bitte verstehen Sie dieses Material nicht als engen Rahmen, sondern als Startpunkt für weitere Ideen und Entwicklungen!

Versuchsnummern

In allen Dateien sind alle Versuche nach dem Schema „S-XX/YY“ durchnummeriert. Dies soll den Firmencharakter erhalten und eine gewisse Übersicht geben. Diese Nummerierung bedeutet eine Zugehörigkeit zu einer Abteilung (XX) und den Nummern des Versuches (YY) in dieser Abteilung. Anhand dieser können Sie den jeweiligen Versuch sofort finden.

Abteilung: S-17/YY – Quantitative Nachweise

S-17/01: Phosphat-Teststäbchen

S-17/02: Nachweis von Phosphat-Ionen mit dem Colortest

S-17/03: Titration von Phosphorsäure

Abteilung: S-18/YY – Qualitative Nachweise

S-18/01: Verschiedene Flockungsmittel

S-18/02: Phosphatnachweis im Boden

S-18/03: Phosphatnachweis mit Silbernitrat in Pflanzenasche

Abteilung: S-19/YY – Pflanzenwachstum und Abwasserreinigung

S-19/01: Pflanzenwachstumstest Kresse

S-19/02: Pflanzenwachstumstest Bohnen

S-19/03: Klärschlamm reinigen

Abteilung: S-20/YY – Verfahrensentwicklung

S-20/01: Rückgewinnungsverfahren mittels Budenheimer CO₂ Verfahren

S-20/02: Rückgewinnungsverfahren mittels Stuttgarter Verfahren

S-20/03: Rückgewinnungsverfahren mittels PEARL Verfahren

S-20/04: Rückgewinnungsverfahren mittels LEACHPHOS-Verfahren

S-20/01: Rückgewinnungsverfahren mittels Budenheimer CO₂ Verfahren

S-20/02: Rückgewinnungsverfahren mittels Stuttgarter Verfahren

S-20/03: Rückgewinnungsverfahren mittels PEARL Verfahren

Versuchsübersicht

Im Folgenden sollen Ihnen alle Versuche kurz dargestellt werden. Hierbei erfolgt ebenfalls eine Niveaueinordnung (rechts). Das Niveau geht aufsteigend von Stufe 1 bis 3.

Abteilung	Versuch	Dauer in Min	Inhalte & Ziele	
1 Abteilung quan. Analytik	1 Phosphat-Teststäbchen	15	Die Lernenden überprüfen mit Phosphat-Teststreifen den Phosphatgehalt verschiedener Gemüsesorten (Erbsen, Mais, Bohnen, Linsen) halbquantitativ. Eingesetzt wird der AquaCeck der Firma Hach Lange.	1
	2 Nachweis MColortest TM	20	Die Lernenden lernen eine halbquantitative kolorimetrische Messmethode kennen, indem sie einen Test der Firma Merck (VWR) auf verschiedenen Gewässerproben anwenden. Grundlage ist die Molybdänblau-Methode.	2
	3 Titration	30	Eine Titration aus Natronlauge und Phosphorsäure	3
2 Abteilung qual. Analytik	1 Flockung	15	Die Lernenden lernen den Begriff „Flockung“ kennen und vergleichen die Wirksamkeit zweier Flockungsmittel.	1
	2 Phosphatnachweis im Boden	20	Die Lernenden extrahieren Phosphat aus Boden und weisen es qualitativ durch einen	2
	3 Phosphatnachweis aus Pflanzenasche	25	Die Lernenden veraschen eine Kartoffel. Eventuell vorhandenes Phosphat wird durch Silbernitrat unter Bildung von weißem Silberphosphat (Ag_3PO_4) nachgewiesen.	2
3 Abteilung Pflanzen- wachstum	1 Wachstumstest Kresse	15	Die Lernenden setzen einen Wachstumstest mit Kresse an. Dabei wird einer Probe bewusst der Nährstoff Phosphat verwehrt. Nach dem Ansetzen erhalten die Lernenden vorbereitete Pflanzen, die verglichen werden sollen.	1
	2 Wachstumstest Bohnen	15	Siehe Kresse, aber mit Bohnen	1
	3 Klärschlamm reinigen		Die Lernenden reinigen unter Einsatz diverser Geräte eine vorbereitete ModellklärschlammLösung.	1
4. Abteilung Verfahren	1 Das Budenheimer CO_2 Verfahren	45-50	Die Lernenden wenden das Verfahren der Firma Budenheim an, um mittels Kohlenstoffdioxid-Injektion Phosphat aus einer ModellschlammLösung zu lösen. Mit Kalkwasser soll anschließend schwerlösliches $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ausgefällt werden. Eine Verfahrenskontrolle erfolgt über die PO_4 -Konzentration in den Filtraten via MColortest TM .	2
	2 Der Stuttgarter Verfahren	45-50	In diesem Verfahren verwenden die Lernenden eine starke Säure, um Phosphat aus einer ModellschlammLösung zu lösen. Mit Kalkwasser soll anschließend schwerlösliches $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ausgefällt werden. Eine Verfahrenskontrolle erfolgt über die PO_4 -Konzentration in den Filtraten via MColortest TM .	2
	3 Der PEARL Prozess	45-50	In diesem Verfahren verwenden die Lernenden eine starke Säure, um Phosphat aus einer ModellschlammLösung zu lösen. Mit Kalkwasser soll anschließend schwerlösliches $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ausgefällt werden. Eine Verfahrenskontrolle erfolgt über die PO_4 -Konzentration in den Filtraten via MColortest TM .	2
	4 LEACHPHOS-Verfahren	45-50	In diesem Verfahren verwenden die Lernenden eine starke Säure, um Phosphat aus einer Modell-KlärschlammMasche zu lösen. Mit Magnesiumchlorid und soll anschließend schwerlösliches $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ausgefällt werden. Eine Verfahrenskontrolle erfolgt über die PO_4 -Konzentration in den Filtraten via MColortest TM .	2

Unterrichtsvorschläge

Im Folgenden wollen wir Ihnen einige Vorschläge machen, wie Sie das Thema Phosphat in Ihren Unterricht integrieren können. Hierbei ist wichtig anzumerken, dass der gesamte Experimentalteil in das Schülerlabor der Universität Bremen ausgegliedert werden kann, aber nicht muss. Die später gemachten Experimentiervorschläge beziehen sich auf den Einsatz in der Schule, könnten aber genauso gut im Schülerlabor stattfinden.

Curriculare Anknüpfungspunkte

Im Chemiecurriculum finden sich viele Anknüpfungspunkte bei der Behandlung von Elementen, Salzen, chemischer Analytik oder Säuren und Basen sowie im Zusammenhang von Stoffkreisläufen oder technischen Anwendungen.

Zu anderen Disziplinen lassen sich Verbinden zum Pflanzenwachstum oder der Düngung sowie der Ökologie in der Biologie finden. Nachhaltige Rohstoffversorgung aus Bereichen wie Geographie und/oder Wirtschaft sind weitere denkbare Anknüpfungspunkte. Das Thema Phosphat und ihre Rückgewinnung lässt sich ebenfalls in Wahlpflichtkurse mit sozialwissenschaftlich-naturwissenschaftlicher Ausrichtung einbinden, die Themen interdisziplinär betrachten.

Den Kontext näherbringen

Als Einstieg empfehlen wir stark den Kontext rund um Phosphate mit Ihren Lernenden zu erarbeiten. Hierfür haben wir eine digitale Lernumgebung mit der Software Prezi™ erstellt, welche hier zu erreichen ist: <http://prezi.com/xub8jjnosxtp/>

Konkret bedeutet dies, dass Sie einen Computerraum oder einen Klassensatz Tablets benötigen, die Zugang zum Internet besitzen. Auf den Tablets sollte die kostenfreie „PREZI“ App installiert sein. Jede/r Lernende bekommt durch den Link Zugang zu der Lernumgebung. Achten Sie darauf die Software aktuell zu halten.

Probieren Sie das Navigieren innerhalb der Lernumgebung kurz aus, sodass Sie ein Gefühl dafür bekommen. Lernende haben unserer Erfahrung nach, keine Probleme beim Bearbeiten. Wenn Sie die Lernumgebung besuchen, finden Sie drei große Kreise. Im linken großen Kreis ist der Fokus auf Düngung, den Vorkommen oder auch die Frage, was Pflanzen an Nährstoffen überhaupt benötigen. Im mittleren Kreis sind einige Experimente abgebildet. Sollten Sie uns im Schülerlabor besuchen, kann dieser Bereich vollständig ignoriert werden. Im rechten Kreis beleuchten wir stärker eine gesellschaftliche Perspektive – also die Fragen nach dem Recycling, die wachsende Weltbevölkerung oder auch wo Phosphate benötigt werden. Unter den drei großen Kreisen finden die Lernenden einmal Informationen zum Element Phosphor und Videos zur Wiederholung der Säure-Base-Theorie, die nur bei Bedarf genutzt werden sollten. Zwischen

den großen Kreisen finden Sie jeweils einen kleinen Kreis, der Informationen zu den Prozessen im Klärwerk enthält. Die Versuche sind hierbei nicht speziell auf ein Thema ausgelegt, jedoch lassen sich die aufgezeigten Verknüpfungen leicht explizieren.

Einige Vorschläge für Versuchszusammenstellungen können Sie der folgenden Tabelle entnehmen. Es empfiehlt sich hier die Methode des Lernens an Stationen.

Versuche	Kommentar	Schwerpunkt
S-17/01 S-17/02 S-18/01 S-18/02 S-19/01 S-20/01 S-20/02 S-20/03 S-20/04	Dies stellt eine sehr umfassende Bearbeitung über mehrere Unterrichtsstunden dar. Sie können zunächst die verschiedenen Teilgebiete des Phosphats erforschen lassen, um danach auf die verschiedenen technischen Verfahren einzugehen.	Technische Verfahren & ihre Implikation für eine nachhaltige Zukunft Chemische Analytik Säure/Base
S-20/01 S-20/02 S-20/03 S-20/04	Sie könnten die verschiedenen Verfahren auf Gruppen verteilen und so in einer Art Gruppenpuzzle die Lernenden an den Verfahren arbeiten lassen. Diese können dann später verglichen werden.	Technische Verfahren & ihre Implikation für eine nachhaltige Zukunft
S-20/01 S-20/02 S-20/03 S-20/04	Hier gehen Sie vor wie zuvor, nur dass Sie die Anzahl an Verfahren verringern; Sie können beispielsweise ein Verfahren als Demonstrationsexperiment vorführen, was die Dauer sehr stark verkürzt.	Technische Verfahren & ihre Implikation für eine nachhaltige Zukunft Säure/Base
S-17/01 S-17/02 S-17/03 S-18/01 S-18/02	Auch wenn das Angebot auf verschiedene technische Verfahren ausgelegt ist, können Sie diese natürlich weglassen und einen Fokus auf die chemische Analytik legen.	Chemische Analytik




Verbindungen festigen

Unserer Ansicht sind gerade das Verbinden und Erkennen des Zusammenhangs insbesondere der technischen Verfahren mit dem Leben wichtig. Daher sollte gerade diese Verbindungen nach den Versuchen erneut aufgezeigt werden. Dies kann beispielsweise über das erneute, wiederholende Betrachten der Lernumgebung geschehen.

Alternativ kann beispielsweise eine Dokumentation (siehe Literatur) gezeigt werden.

Hinweise digitale Lernumgebung

Für den Einsatz der Lernumgebung benötigen Sie einen Computerraum oder einen Klassensatz Tablets, die (mindestens einmalig) Zugang zum Internet besitzen. Auf den Tablets sollte die kostenfreie „PREZI“ App installiert sein. Jede/r Lernende bekommt durch den Link Zugang zu der Lernumgebung. Sie finden in jedem Kreis in der Lernumgebung Symbole:

Symbol	Erläuterung
	Sterne dienen der Differenzierung. Es befinden sich minimal einer, maximal drei in einem Feld.
	Experimentieranleitung – nur für Versuche in der Schule relevant
	Videos zur Wiederholung von chemischen Inhalten. Nur wichtig, falls Inhalte aufgefrischt werden sollen (Gesamtzeit: ca. 15 Minuten zusätzlich).

Die Differenzierung erfolgt anhand von Sternen, die sich in jedem Feld der Lernumgebung befinden. Sie legen bevor die Lernenden beginnen eine Gesamtzahl an Sterne fest. „Sammeln“ bedeutet für uns, dass Ihre Lernenden das entsprechende Feld (z.B. über Nauru) lesen und die Informationen in dem Arbeitsblatt (Anhang) eintragen. Es empfiehlt sich, die zweite Seite des Anhangs auf DIN-A3 zu vergrößern. Die Lernenden haben nun die Wahl, ob Sie lieber weniger Felder mit 3 Sternen lesen oder mehr Felder mit weniger Sternen. Felder mit mehr Sternen sind unserer Meinung nach Themen von größerer Relevanz. Wir empfehlen für leistungsstärkere Lernende 60 Sterne und für leistungsschwächere 45 Sterne. Sie können hier individuell variieren. Die maximale Anzahl an Sternen beträgt 77. Als reine Arbeitszeit in der Lernumgebung veranschlagen wir ca. 60 Minuten. Ziel der Lernumgebung ist es nicht, dass alle Lernenden, alle Informationen der Lernumgebung erarbeiten!

Hinweise Versuche

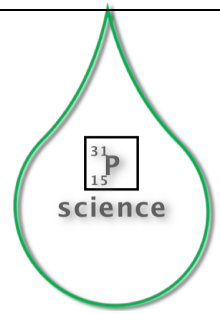
Unser Schülerlaborangebot wurde so gestaltet, dass es an verschiedene Lerngruppen flexibel angepasst werden kann und zudem eine innere Differenzierung aufweist. Die Experimentiermaterialien sollen leistungsfähige Schülerinnen und Schüler herausfordern, aber auch nicht ganz so leistungsfähige Lernende ansprechen. Die meisten Versuche lassen sich aber leicht in Ihrer Schule umsetzen! Teile der Experimentiermaterialien wurden im Sinne eines forschenden Lernens mit gegebener Problemstellung aber teilweise offenem Lösungsweg entwickelt. Wir nutzen im Schülerlabor zusätzlich Tippkarten (Affeldt et al., 2017), welche die teilweise offenen oder zu anspruchsvoll geschriebenen Anleitungen stückweise vereinfachen. Gerne schicken wir Ihnen auf Anfrage die Tippkarten individuell zu. Wir versuchen neben einer Differenzierung auch das Prinzip einer Lernfirma in Ansätzen anzuwenden. Dabei haben bestehende Ideen des Chemieunterrichts als Ausgangspunkt verwendet (Witteck und Eilks, 2005).

Literatur

Im Folgenden finden Sie für Hinweise, welche über die fachlichen Hintergründe informieren und welche Sie zur Vertiefung nutzen können.

Teilthema	Literatur
Allgemein	<p>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (Hrsg.), Phosphat - Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit, 2013, Hannover.</p> <p>L. Egle, A. Amann, H. Rechberger und M. Zessner, Phosphor: Eine kritische und zugleich unzureichend genutzte Ressource der Abwasser- und Abfallwirtschaft – Stand des Wissens. In: <i>Österr. Wasser- und Abfallw.</i> 2016, 68:118–133</p> <p>C. Zowada, A. Siol, O. Gulacar und I. Eilks, Phosphatrückgewinnung – angewandte Umwelttechnik in Schule und Schülerlabor. In Vorbereitung.</p> <p>Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Phosphat – Rohstoffwirtschaftliche Steckbriefe, 2014. Hannover.</p> <p>D. Lindemann, Phosphate, 2017, online: http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/16/ac/elemente/vlu/15.vlu/Page/vsc/de/ch/16/ac/elemente/stickstoffgruppe/phosphor/p07_phosphate.vscml.html (September 2017).</p> <p>Arte Dokumentation, Die Phosphorkrise, online: https://www.youtube.com/watch?v=Qd3x2lWmQeE (September 2017).</p> <p>H. Greuling, Am Phosphor hängt das Schicksal der Menschheit, 2011, online: https://www.welt.de/dieweltbewegen/article13585089/Am-Phosphor-haengt-das-Schicksal-der-Menschheit.html (September 2017).</p>
Vertiefung über die Ressource Phosphor	<p>D. Cordell, J.-O. Drangert und S. White, The story of phosphorus: Global food security and food for thought, <i>Global Environment Change</i> 2009, 19, 292-305.</p> <p>European Commission, Große Herausforderung für die Industrie der EU: 20 kritische Rohstoffe, 2014, online: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-14-599_de.htm (Mai 2017).</p> <p>D. Cordell und S. White, Peak Phosphorus: Clarifying the Key Issues of a Vigorous Debate about Long-Term Phosphorus Security, <i>Sustainability</i> 2011, 33, 2027-2049.</p> <p>R. W. Scholz und F.-W. Wellmer, Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources: What we may learn from the case of phosphorus?, <i>Global Environment Change</i> 2013, 23, 11-27.</p> <p>United States Geological Survey (USGS), Phosphate Rock, 2017, online: https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/mcs-2017-phosp.pdf (Mai 2017).</p> <p>D. Mennig, Schädlicher Phosphat-Abbau: Arbeiter leiden für unseren Dünger, 2015, online: https://www.srf.ch/sendungen/kassensturz-espresso/themen/umwelt-und-verkehr/schaedlicher-phosphat-abbau-arbeiter-leiden-fuer-unseren-duenger (Mai 2015).</p>
Hintergrund der Idee	<p>Witteck, T. & Eilks, I. (2005): Die Max Sauer GmbH - Eine Lernfirma zu Säuren und Basen. In: <i>Naturwissenschaften im Unterricht Chemie</i> 16, (88/89), 51-56.</p> <p>Affeldt, F.; Weitz, K.; Markic, S. & Eilks, I. (2017). Experimentierzugänge kreativ gestalten mit Comics und sozialen Medien zum Thema 'Metallische Gegenstände schützen und bewahren'. In: <i>Naturwissenschaften im Unterricht Chemie</i>, 28 (161), 13-17.</p>

Anhang



**An die
Bewerbenden Forscher und Forscherinnen
Adressen: diverse**

T. Phos
Vorstand

Kunde

Zeichen

Datum

-im Hause-

S-15/01

1. September

Leobener Straße
28359 Bremen

Telefon (0421) 218 – 63545454
Fax (0421) 218 - 5768968
eMail t.phos@p-science.de

Betreff: Vorbereitung Labortätigkeit

Sehr geehrte Damen und Herren,

bevor Sie bei uns im Haus Ihre Forschungsarbeiten aufnehmen können, bitten wir Sie, sich mit der Thematik der Phosphate vertraut zu machen. Hierzu haben wir eine Lernumgebung erstellt, die Sie auf den aktuellen Stand bringen soll.

Sie erreichen die Lernumgebung unter <http://prezi.com/xub8jjnosxtp/> oder nutzen den angezeigten QR-Code.

Bitte tragen Sie in die Übersichtskarte ein, wo welche Informationen zu finden sind. Hierfür schreiben Sie bitte in die entsprechenden Felder auf der zweiten Seite. Natürlich dürfen Sie sich weitere Notizen machen!

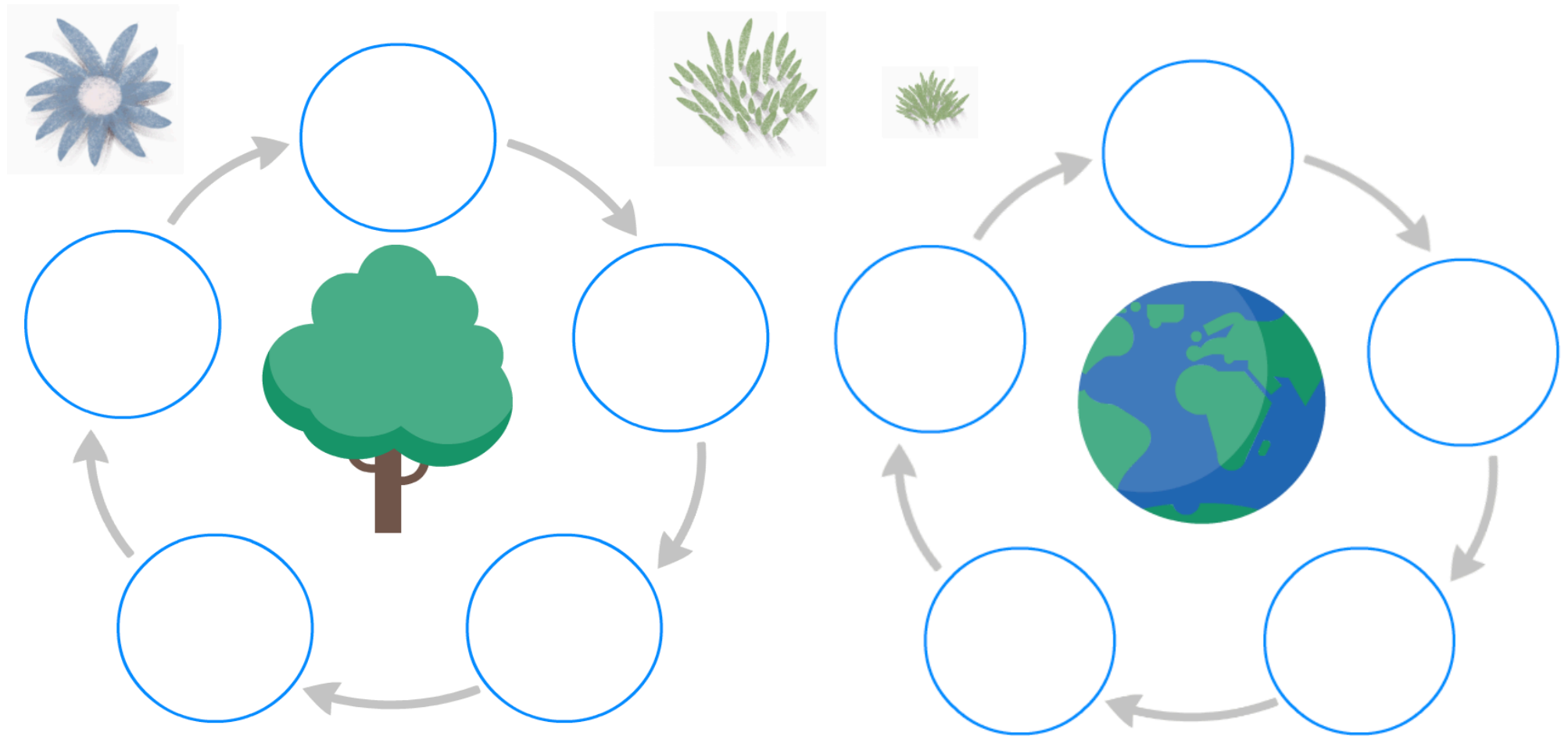
Sie erhalten von Ihrer Lehrkraft eine bestimmte Anzahl an Sternen genannt, die Sie sammeln sollen. Die Anzahl der Sterne für ein Feld entnehmen Sie der Lernumgebung. Sie erhalten die Sterne durch das Lesen des Beitrags und Eintragen auf der zweiten Seite! Wir freuen uns auf Ihren Besuch!



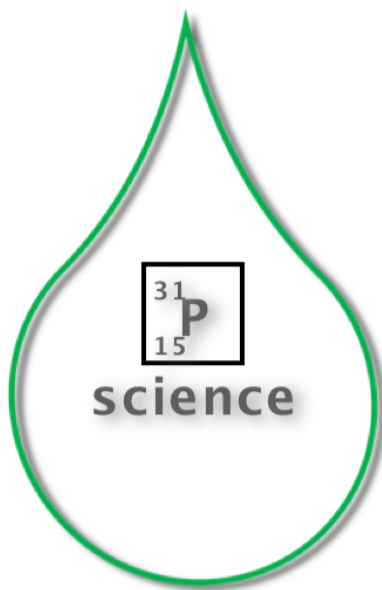
Viel Erfolg und freundliche Grüße

T. Phos

Übersicht Lernumgebung linker und rechts Kreis



Fassen Sie die grundlegende Aussage rund um die Thematik Phosphat in ein bis zwei Sätzen zusammen:



FreiEx  NanoBioLab

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de