

# Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

## Modul 1

### Ziel: Extraktion von Struvit

### Einleitung

Urin, ein Produkt der menschlichen Ausscheidung, ist Bestandteil von kommunalen Abwässern. Urin ist eine der reichsten und am besten zugänglichen Quellen von **Phosphor** und **Stickstoff** zur Herstellung von **Struvit**. Das Mineral wird in der Gegenwart von Magnesium durch eine Fällungsreaktion bei basischem pH-Wert ( $\approx$  pH 8-8,5) gewonnen (siehe Reaktion unten).

Fällungsreaktion von Struvit:



### ZIEL

Das Ziel der Versuchs ist die Herstellung von synthetischem Abwasser zur Extraktion von Struvit

### Benötigte Materialien:









#### Liste der Materialien und Geräte:

- Becherglas 500 ml
- Spatel
- Trichter
- Erlenmeyerkolben, 500 ml
- Präzisionswaage (Messgenauigkeit 0,01 g)
- Magnetrührer
- Magnetrührstab (Rührfisch)
- Universeller pH-Indikator / pH-Meter
- Filterpapier
- Schutzbrille und Handschuhe



## Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

Liste der Reagenzien:

Reagenzien	Formel		Masse (g) oder Konzentration (M)
Natriumhydroxid	NaOH		0,5 M
Harnstoff (Urea)	CH <sub>4</sub> N <sub>2</sub> O		10 g
Natriumbikarbonat	NaHCO <sub>3</sub>		1,05 g
Natriumsulfat-Decahydrat	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O	  	1,60 g
Ammoniumchlorid	NH <sub>4</sub> Cl		0,65 g
Natriumchlorid	NaCl		2,60 g
Kaliumphosphat, monobasisch	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>		0,48 g
Kaliumphosphat, dibasisch	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>		0,60 g
Calciumchlorid-Dihydrat	CaCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O		0,19 g
Destilliertes oder demineralisiertes Wasser			
Magnesiumsulfat	MgSO <sub>4</sub>		0,25 g/L

# Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

## Versuchsanleitung:

Handschuhe und Schutzbrille tragen.

### I. Darstellung von synthetischem Urin

1. 10 g Harnstoff in das Becherglas überführen und 100 ml destilliertes oder demineralisiertes Wasser zugeben;
2. Das Becherglas auf den Magnetrührer stellen und eine Rührgeschwindigkeit von 100 bis 300 U/min einstellen;
3. Unter Rühren die Reagenzien in den angegebenen Mengen und der angegebenen Reihenfolge zugeben;
4. 400 ml Wasser zugeben und warten, bis das Reaktionsgemisch vollständig gelöst hat;

\*Die angegebenen Mengen ergeben 500 ml synthetischem Urin.

### II. Ausfällung des Struvits

5. Magnesiumsulfat abwiegen und zur Lösung geben;
6. Den pH-Wert mit dem Universalindikator oder mit einem pH-Messgerät kontrollieren; Bis zu einem pH-Wert von 8 unter Rühren 1/2 Tropfen NaOH 0,5 M zutropfen. Der optimale Bereich zur Struvitausfällung liegt zwischen 8,0 und 8,5. Die Lösung mindestens 1 bis 2 Stunden rühren lassen. Nach etwa 3 Stunden beginnt der Niederschlag auszufallen.
7. Das Reaktionsgemisch mit Filterpapier filtrieren, um den Niederschlag abzutrennen. Den Niederschlag bei Raumtemperatur trocknen.
8. Das Struvit zur Aufbewahrung in einen sauberen, trockenen Behälter überführen.

### Zusätzliche Sicherheitshinweise:



Vorsicht bei der Handhabung der NaOH-Lösung.

## Für Schüler:innen **Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern**

### Fragen:

1. Wie sieht der Niederschlag nach dem Trocknen aus?
2. Warum wird ein Rührer verwendet?
3. Wozu wird Natriumhydroxid (NaOH) -Lösung eingesetzt?

## Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

### Anhang

#### Stickstoffkreislauf

**Stickstoff** ist essenziell für das Leben auf der Erde. Er ist ein wesentlicher Bestandteil von **Proteinen** (=Eiweißen), **Nukleinsäuren** und **Chlorophyll**. Der N-Zyklus setzt sich aus mehreren Schritten zusammen (Abbildung 1):

- Fixierung
- Assimilation
- Ammonifikation
- Nitrifikation
- Denitrifikation

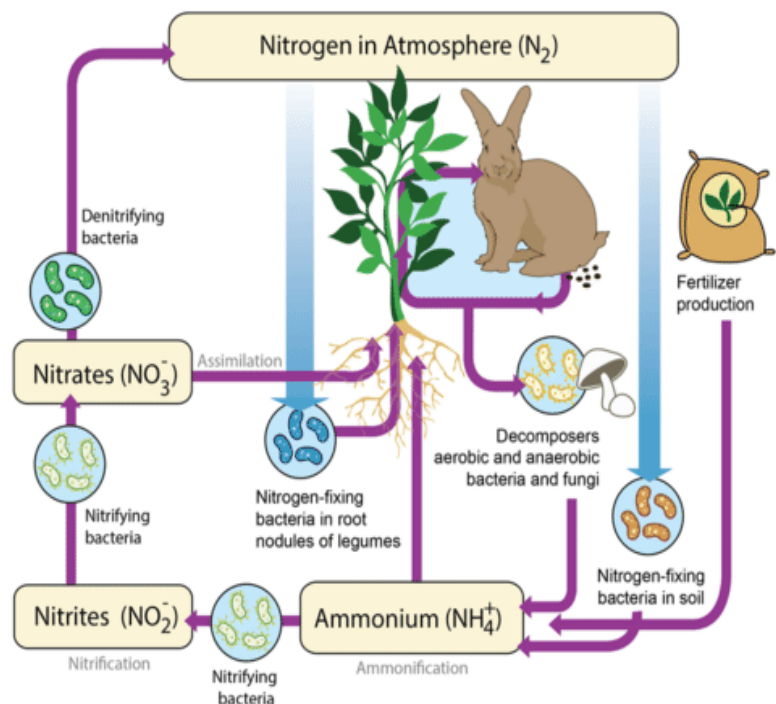


Abbildung 1. Stickstoffkreislauf im Boden.

In jeder Phase des Kreislaufs hat der Stickstoff charakteristische Oxidationsstufen.

Molecule	Name	Oxidation state
C-NH <sub>2</sub>	Organic-N	<b>Reduced</b>
NH <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ammonia, Ammonium	-3
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Hydrazine	-2
NH <sub>2</sub> OH	Hydroxylamine	-1
N <sub>2</sub>	Dinitrogen	0
N <sub>2</sub> O	Nitrous oxide	+1
NO	Nitric oxide	+2
HNO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrous acid, Nitrite	+3
NO <sub>2</sub>	Nitrogen dioxide	+4
HNO <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitric acid, Nitrate	+5
		<b>Oxidized</b>

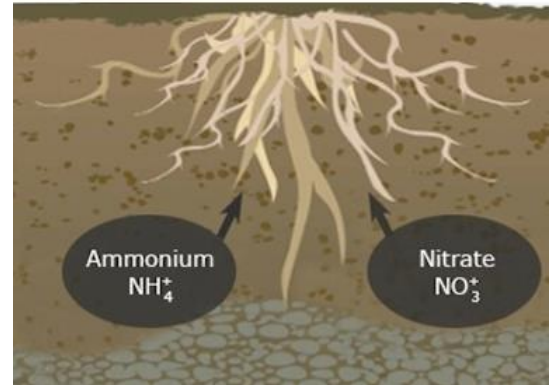
Current Biology

## Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

### Welche N-Formen sind für pflanzen wichtig?

Pflanzen nehmen Stickstoff auf unterschiedlichen Arten als Kombination aus Ammonium und/oder Nitrat über das Wurzelsystem auf:

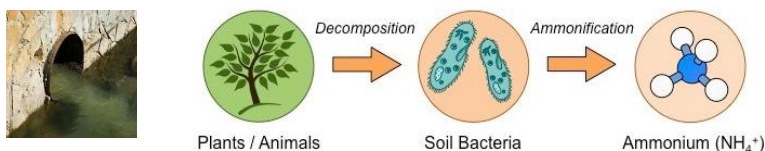
- 1) Mineraldünger oder Gülle;
- 2) Die Zersetzung organischer Bodensubstanz;
- 3) Stickstoff-Fixierung.



**Abbildung 2.** Pflanzen absorbieren Ammonium und Nitrat über die Wurzeln.

### Gibt es alternative Stickstoffquellen in der Umwelt?

Stickstoff in Abwässern entstammt größtenteils Harnstoff und Fäkalstoffen. Diese werden von Bacterien in Ammonium umgewandelt ("Ammonifikation", Abbildung 3). Das so gebildete Ammonium reagiert in der Gegenwart von Sauerstoff zu Nitrat ("Nitrifikation", Abbildung 3).



**Ammonifikation**



**Nitrifikation**

**Abbildung 3.** Ammonifikation und Nitrifikation sind wichtige Reaktionen, durch die Harnstoff und Fäkalien in Ammonium bzw. Nitrat umgewandelt werden.

## Für Schüler:innen Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern

### Kann Phosphor bei der Abwasserklärung zurückgewonnen werden?

Kommunale Abwässer enthalten insgesamt zwischen 5 und 20 mg/l Phosphor (anorganisch, biologisch und synthetische Tenside). In der Regel kann die sekundäre Abwasserbehandlung nur 1-2 mg/l Phosphor abscheiden, so dass auch nach diesem Reinigungsschritt noch große Mengen Stickstoff im Abwasser verbleiben. Diese werden in die Umwelt abgegeben, was die Eutrophierung von Oberflächengewässern zur Folge hat.

Die geltenden Vorschriften erlauben eine maximale P-Konzentration von 2 mg/L im Abwasser.

Durch chemische Fällung kann Phosphor in kristalliner Form als Struvit aus dem Abwasser entfernt und zurückgewonnen werden (Abbildung 4).

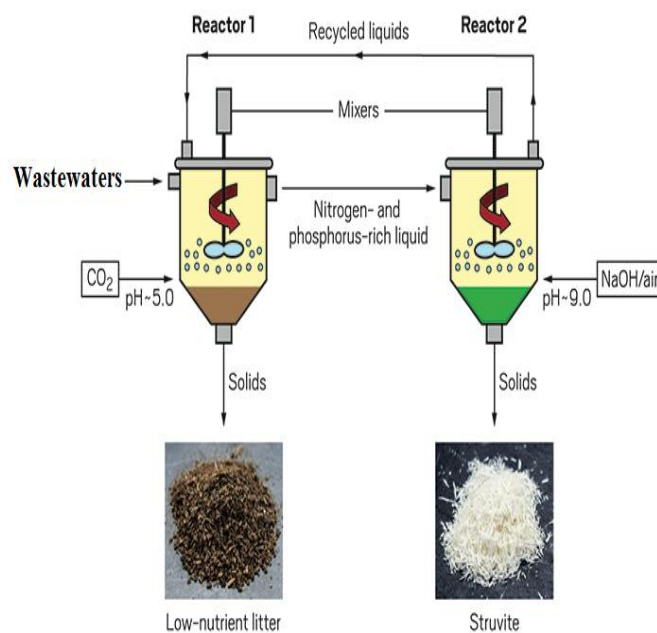


Abbildung 4. Extraktion von Struvit aus Abwässern