



Stickstoff-Formen

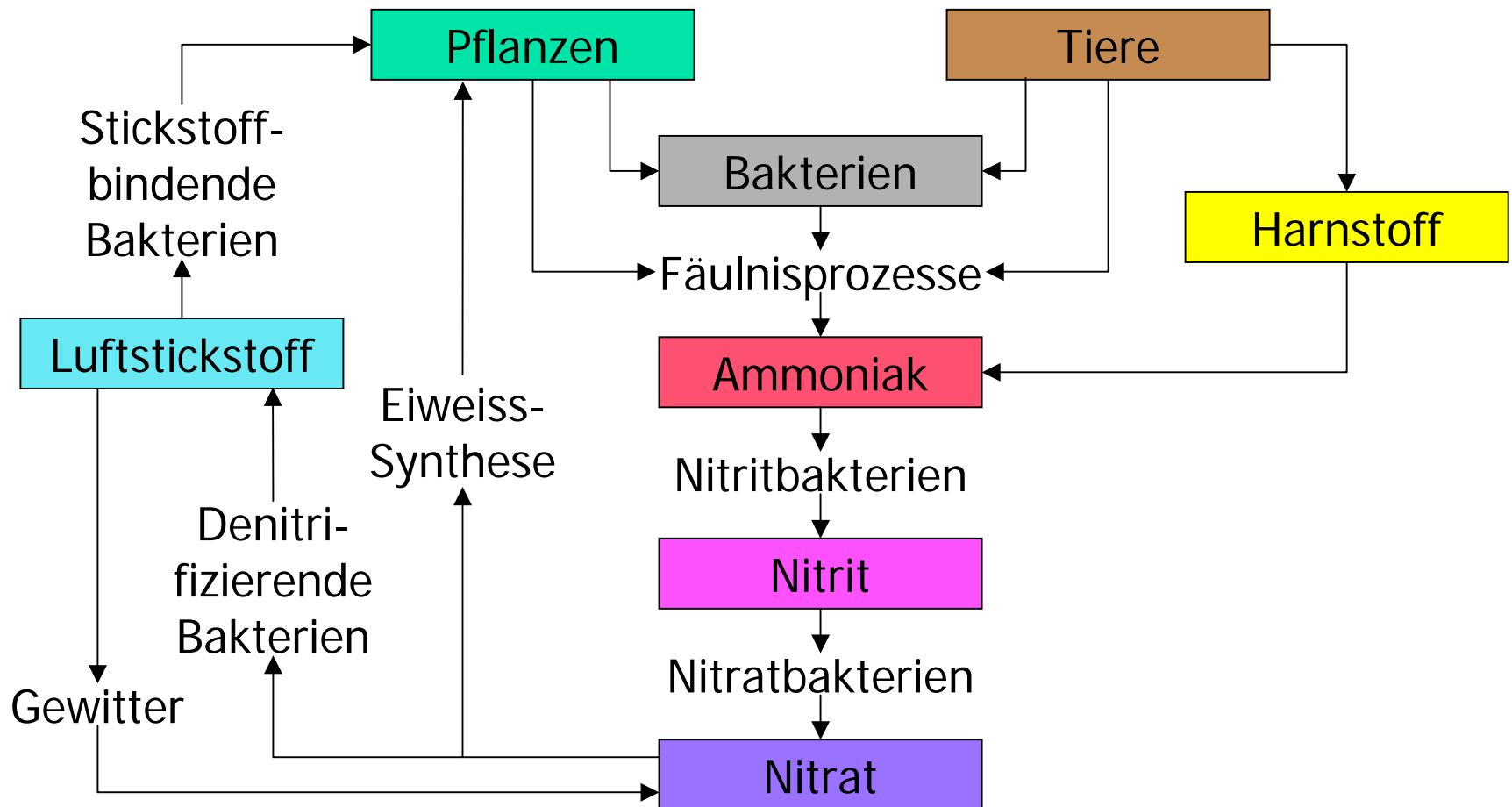
Skript Kapitel 5.4.3, Seite 90



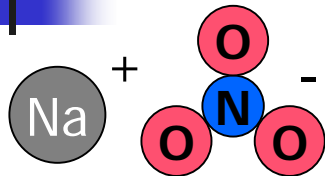
Eigenschaften von Stickstoff

- kommt zu ca. 79% in der Erdatmosphäre und zu 0.03% in der Erdkruste vor
- unter Normalbedingungen chemisch sehr träge
- bildet durch Hitze oder elektrische Entladungen mit anderen Elementen organische und anorganische Verbindungen
- Ordnungszahl 7, Atommasse 14 g/mol
- bildet zweiatomige Moleküle (N_2)
- technische Gewinnung durch fraktionierte Destillation von verflüssigter Luft
- Schmelzpunkt -210°C , Siedepunkt -196°C

Stickstoff in der Umwelt: Der Stickstoff-Kreislauf

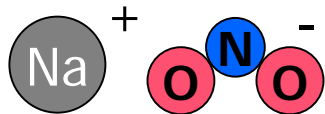


Anorganische Stickstoff-Verbindungen



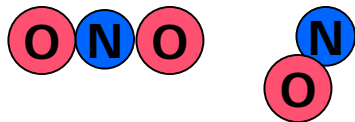
Nitrate (NO_3^-)

Stammen aus der Landwirtschaft und aus Abwässern



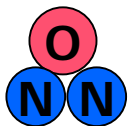
Nitrite (NO_2^-)

Unstabile Zwischenprodukte der (De-)Nitrifikation



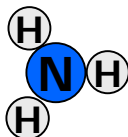
Stickoxide (NO_2 , NO)

Entstehen bei Verbrennungsprozessen (Motoren)



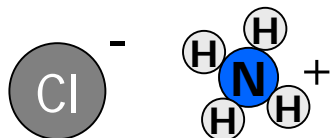
Lachgas (N_2O)

Stammt v.a. aus der Landwirtschaft (Prozesse im Boden)



Ammoniak (NH_3)

Entsteht bei anaeroben Gärungsprozessen



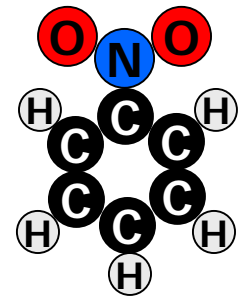
Ammonium (NH_4^+)

Stammt aus der Landwirtschaft und aus Abwässern

Organische Stickstoff-Verbindungen



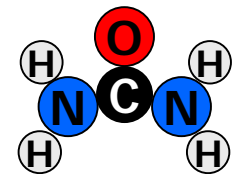
Industrielle Abwässer:
Giftige Nitro-, Amino-,
und Azo-Verbindungen



Nitrobenzol



Kommunale Abwässer:
Eiweisse, Amine, Amide,
Harnstoff, Aminosäuren

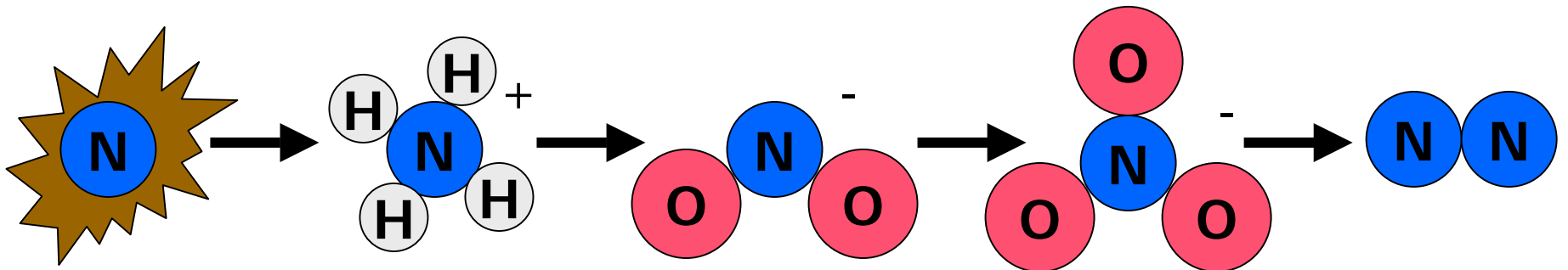


Harnstoff

Stickstoff-Formen: Nitrifikation / Denitrifikation

Nitrifikation

Denitrifikation



ARA-Zulauf

Ammonium

Nitrit

Nitrat

Stickstoff

Harnstoff,
Eiweisse,
...

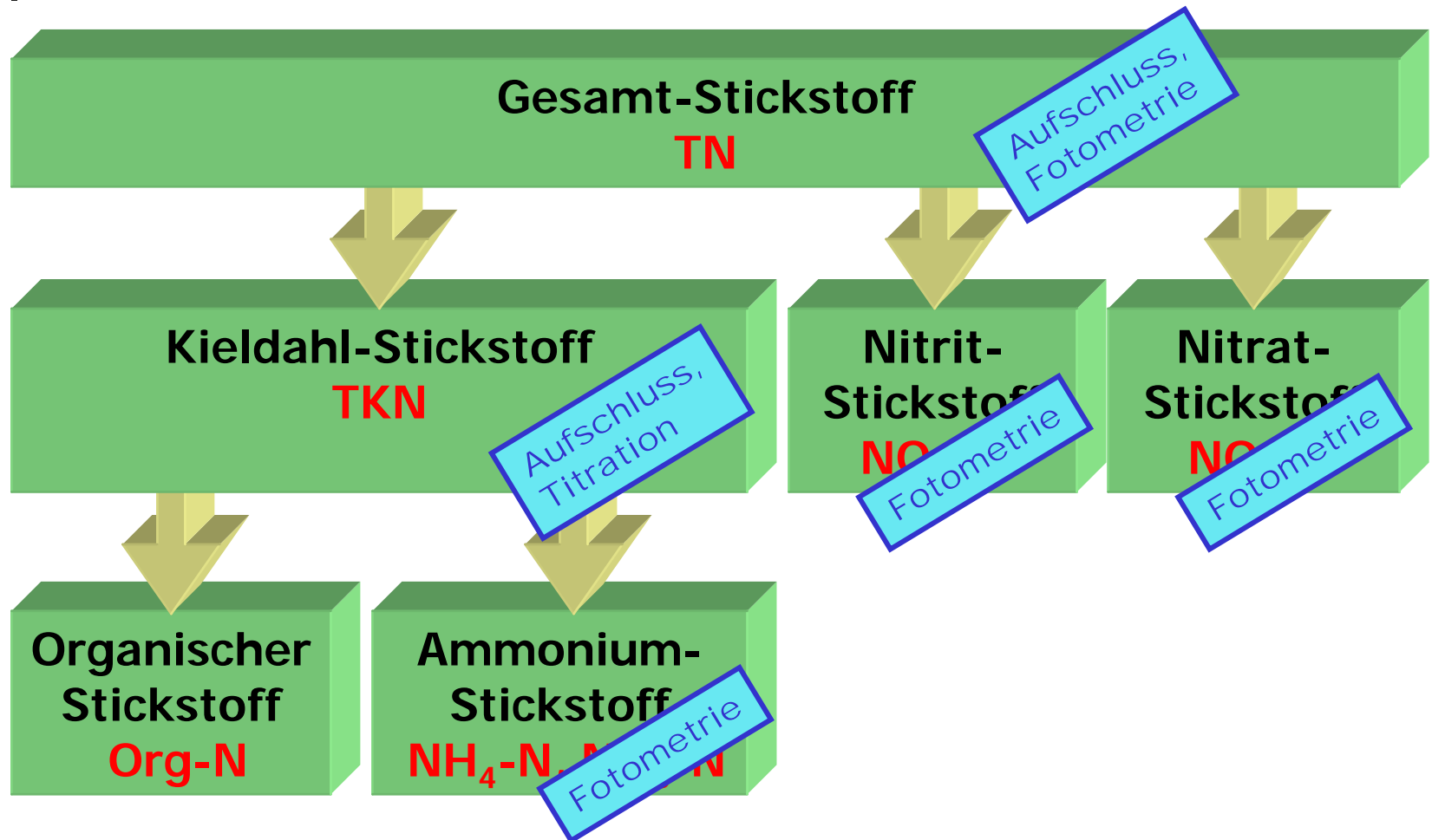
ab pH 8
verstärkt
giftig!

Fischgift!

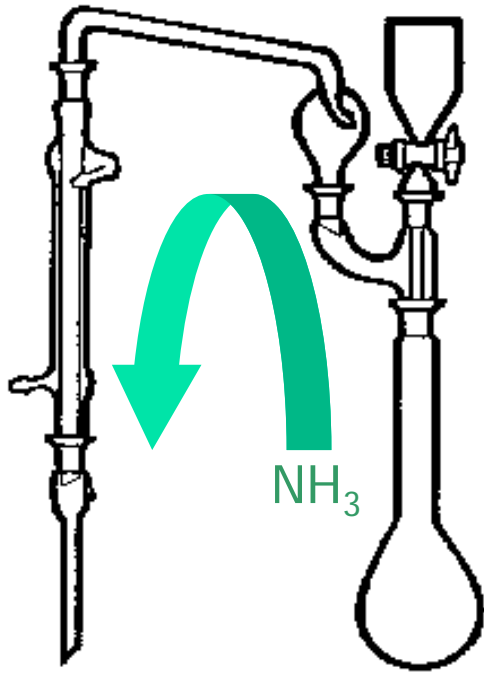
wenig
giftig

entweicht
als Gas

Stickstoff-Analytik: Parameter



Stickstoff-Analytik: Kjeldahl-Stickstoff



Kjeldahl-Apparatur



TKN-Bestimmung früher



TKN-Bestimmung heute

Stickstoff-Verbindungen: Gesetzliche Grenzwerte

Anforderungen an die Ableitung von verschmutztem Abwasser

Anhang 3.1²⁸
(Art. 6 Abs. 1)

Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer

- 5 | Ammonium
(Summe von
 $NH_4^+ - N$ und $NH_3 - N$)
- Können die Ammoniumkonzentrationen im Abwasser nachteilige Auswirkungen auf die Wasserqualität eines Fließgewässers haben, gilt für eine Abwassertemperatur von mehr als 10 °C:
- Abflusskonzentration **2 mg/l N**
 - und
 - Wirkungsgrad der Behandlung: 90 %, ausgedrückt in
- $$100 \cdot \left(1 - \frac{\text{mg Ammonium - N im gereinigten Abwasser}}{\text{mg Kjeldahl - N im Rohabwasser}}\right)$$
- In diesen Fällen ist die Nitrifikation ganzjährig durchzuführen.
Hinweis: Der Kjeldahl-Stickstoff ist die Summe von Ammonium-Stickstoff, Ammoniak-Stickstoff und organischem Stickstoff.
- 6 | Nitrit ($NO_2^- - N$)
- 0,3 mg/l N** Richtwert)

Stickstoff-Formen: Resultatsangaben

- Damit sich die Stickstoff-Formen miteinander vergleichen lassen (z.B. für Stickstoffbilanzen), werden die Gehalte immer in **mg N/l** ausgedrückt.
- Resultate in anderen Einheiten lassen sich mit **Umrechnungsfaktoren** in mg N/l umrechnen.

Beispiel: wieviel mg N ist in 4 mg Nitrit (NO_2^-) enthalten?

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{\text{Atommasse von N}}{\text{Molmasse von NO}_2^-} = \frac{14}{14 + 2 \cdot 16} = \mathbf{0.30}$$

$$4 \text{ mg NO}_2^- \cdot \mathbf{0.30} = \mathbf{\underline{1.2 \text{ mg N}}}$$

Stickstoff-Formen: Umrechnungstabelle

	mg N	mg NH ₃	mg NH ₄ ⁺	mg NO ₂ ⁻	mg NO ₃ ⁻
1 mg N	1.00	1.21	1.29	3.29	4.43
1 mg NH ₃	0.82	1.00	1.06	2.71	3.65
1 mg NH ₄ ⁺	0.78	0.95	1.00	2.56	3.44
1 mg NO ₂ ⁻	0.30	0.37	0.39	1.00	1.35
1 mg NO ₃ ⁻	0.23	0.27	0.29	0.74	1.00

Stickstoff-Formen:

Übung Umrechnungsfaktoren

Der Verantwortliche für die Trinkwasserversorgung erzählt, dass sein Trinkwasser **40 mg/l Nitrat**, **2 mg/l Nitrit** und **1 mg/l Ammonium** enthalten würde.

Wie viel **mg/l Gesamtstickstoff** entspricht das?

$$40 \text{ mg/l NO}_3 \cdot \mathbf{0.23} = 9.20 \text{ mg/l N}$$

$$2 \text{ mg/l NO}_2 \cdot \mathbf{0.30} = 0.60 \text{ mg/l N}$$

$$1 \text{ mg/l NH}_4 \cdot \mathbf{0.78} = 0.78 \text{ mg/l N}$$

$$\text{Summe: } \underline{10.58 \text{ mg/l N}}$$



Phosphor-Formen

Skript Kapitel 5.4.5, Seite 94



Eigenschaften von Phosphor

- Massenanteil in der Erdkruste 0.09% (als Apatit und Phosphorit)
- **Weisser Phosphor:** Gelbliche Masse, giftig, leuchtet im Dunkeln, Selbstentzündung ab 50°C, muss unter Wasser aufbewahrt werden.
- **Roter Phosphor:** Dunkelrotes Pulver, chemisch stabiler als weisser Phosphor, bildet mit starken Oxidationsmitteln explosive Gemische.
- Ordnungszahl 16, Atommasse 31 g/mol
- Name von griechisch „phosphorus“: Lichtträger
- Wichtiger Bestandteil in Eiweissen und Knochen

Weisser und roter Phosphor

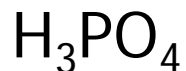


Anorganische Phosphor-Verbindungen



Phosphorsäure

Dreibasige, mittelstarke Säure, als 85%-ige Lösung im Handel.



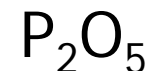
Phosphate

Salze der Phosphorsäure.

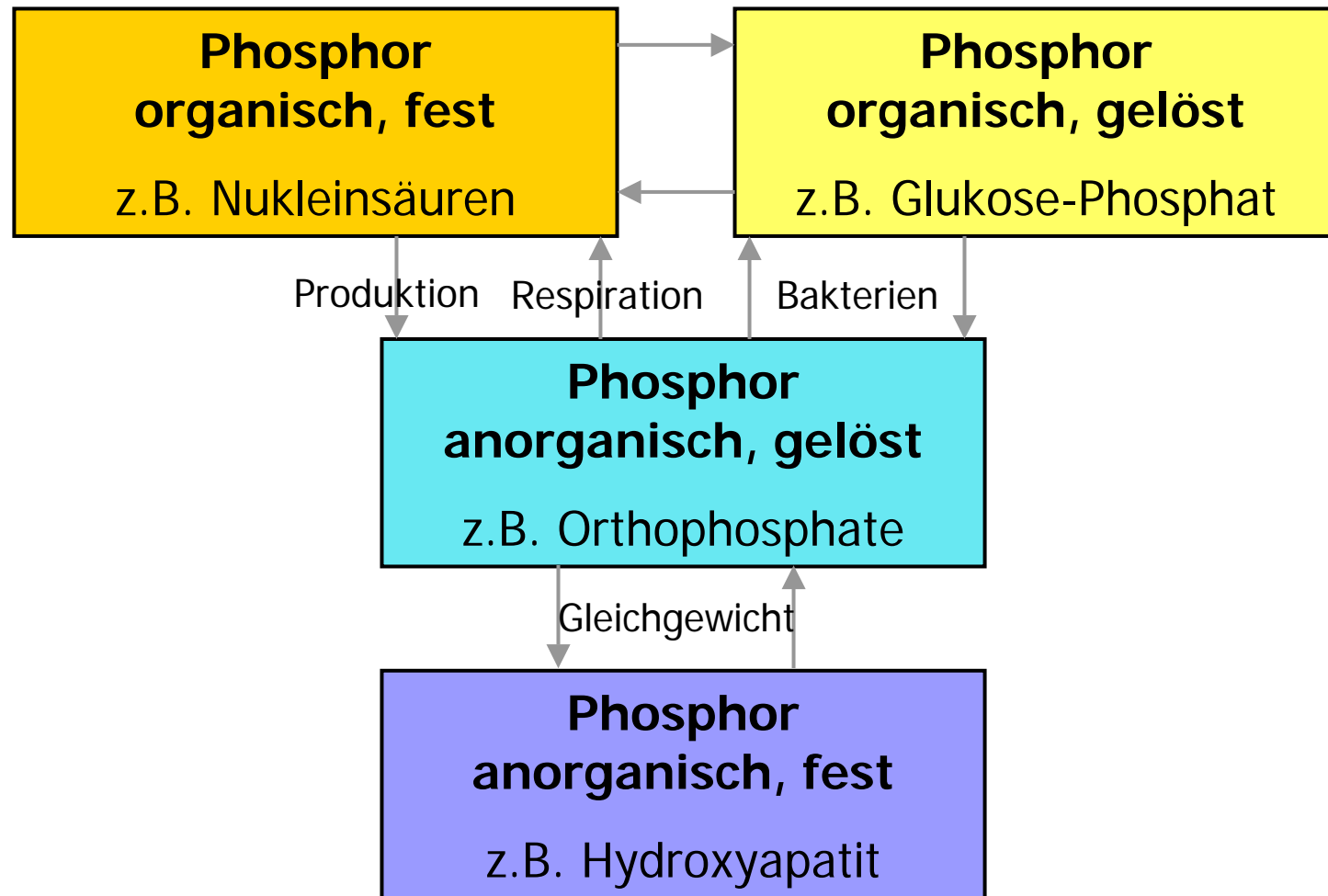


Phosphorpentoxid

Entsteht beim Verbrennen von Phosphor. Reagiert mit Wasser zu Phosphorsäure.



Erscheinungsformen des Phosphors in der Umwelt



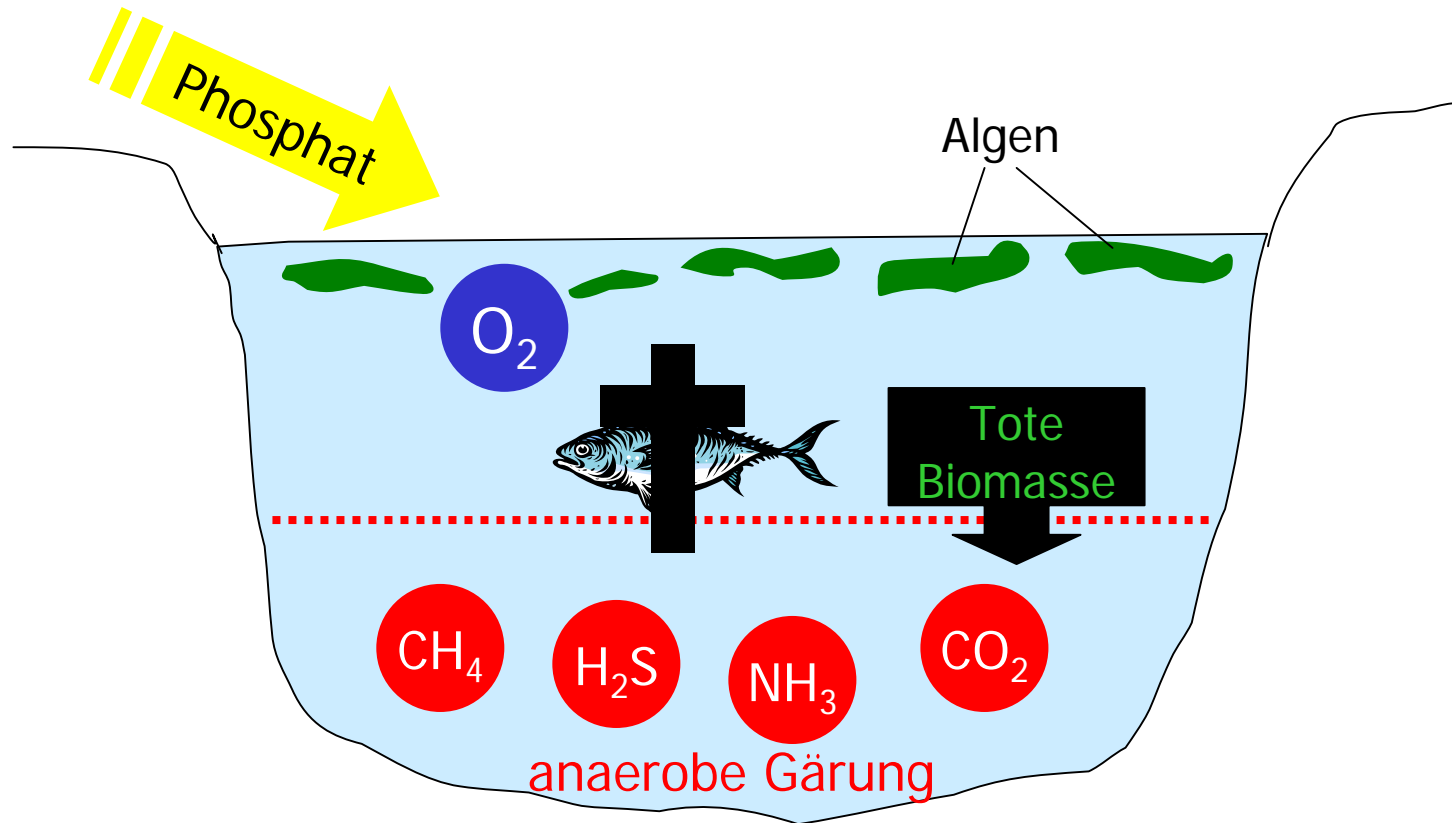


Phosphor in der Umwelt



Eutrophierung

Phosphor in der Umwelt: Eutrophierung





Phosphor als Abwasserinhaltsstoff

Im Rohabwasser

- Gelöste Phosphorverbindungen, v.a. als **ortho-Phosphat** (PO_4^{3-}). Sowohl natürliche Quellen (Exkrememente, verwesende Pflanzen) als auch aus Düngemitteln und Waschmitteln.
- Ungelöste Phosphorverbindungen, in Form von Schwermetallphosphaten und organischen Phosphorverbindungen.

Im gereinigten Abwasser

- 70-100% des Gesamt-P liegen als ortho- PO_4 -P vor.

Phosphor-Verbindungen: Gesetzliche Grenzwerte

Anforderungen an die Ableitung von verschmutztem Abwasser

Anhang 3.1²⁸
(Art. 6 Abs. 1)

Einleitung von kommunalem Abwasser in Gewässer

3 Zusätzliche Anforderungen für die Einleitung in empfindliche Gewässer

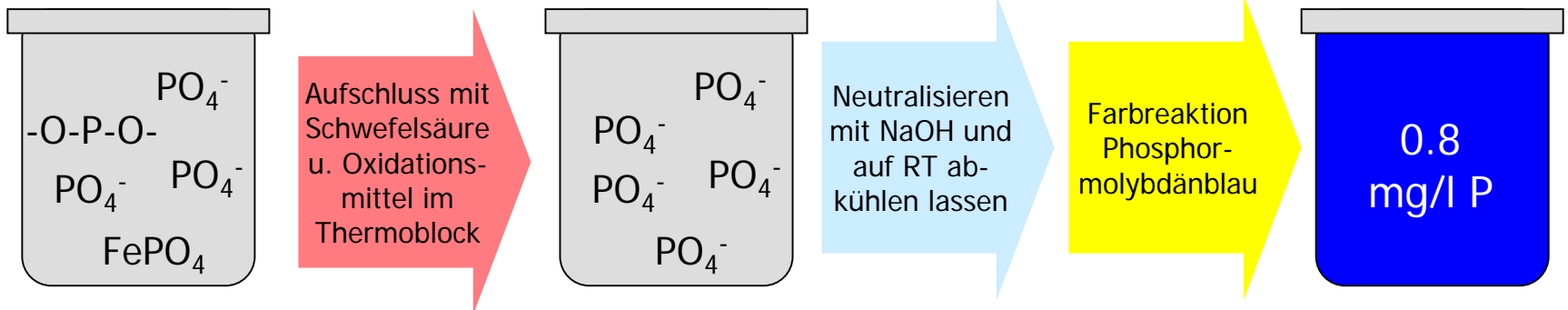
Nr.	Parameter	Anforderungen
1	Gesamtposphor (nach Aufschluss)	Für Abwasser aus Anlagen – im Einzugsgebiet von Seen, – an Fließgewässern unterhalb von Seen, wenn dies zum Schutz des betreffenden Fließgewässers erforderlich ist, und – ab 10 000 EW an Fließgewässern im Einzugsgebiet des Rheins unterhalb von Seen gilt: – Abflusskonzentration 0,8 mg/l P und – Reinigungseffekt, bezogen auf Rohabwasser 80 %

Analytik von Phosphorverbindungen

Bestimmung des ortho-Phosphatphosphors



Bestimmung des Gesamtphosphors



Phosphor-Formen: Resultatsangaben

- Je nach Branche werden Phosphor-Konzentrationen in unterschiedlichen Einheiten (mg/l P, mg/l PO₄, mg/l P₂O₅) angegeben.
- Im Abwassersektor ist die Einheit **mg/l P** gebräuchlich.
- Resultate in anderen Einheiten lassen sich mit **Umrechnungsfaktoren** in mg/l P umrechnen.

Beispiel: wieviel mg P ist in 12 mg ortho-Phosphat (PO₄³⁻) enthalten?

$$\text{Umrechnungsfaktor} = \frac{\text{Atommasse von P}}{\text{Molmasse von PO}_4^{3-}} = \frac{31}{31 + 4 \cdot 16} = \mathbf{0.326}$$

$$12 \text{ mg PO}_4^{3-} \cdot \mathbf{0.326} = \mathbf{\underline{3.9 \text{ mg P}}}$$

Phosphor-Formen: Umrechnungstabelle

	mg P	mg PO ₄	mg P ₂ O ₅
1 mg P (Phosphor)	1.00	3.06	2.29
1 mg PO ₄ -P (ortho-Phosphat-Phosphor)			
1 mg PO ₄ (ortho-Phosphat)	0.33	1.00	0.75
1 mg P ₂ O ₅ (Phosphorpentoxid)	0.44	1.34	1.00