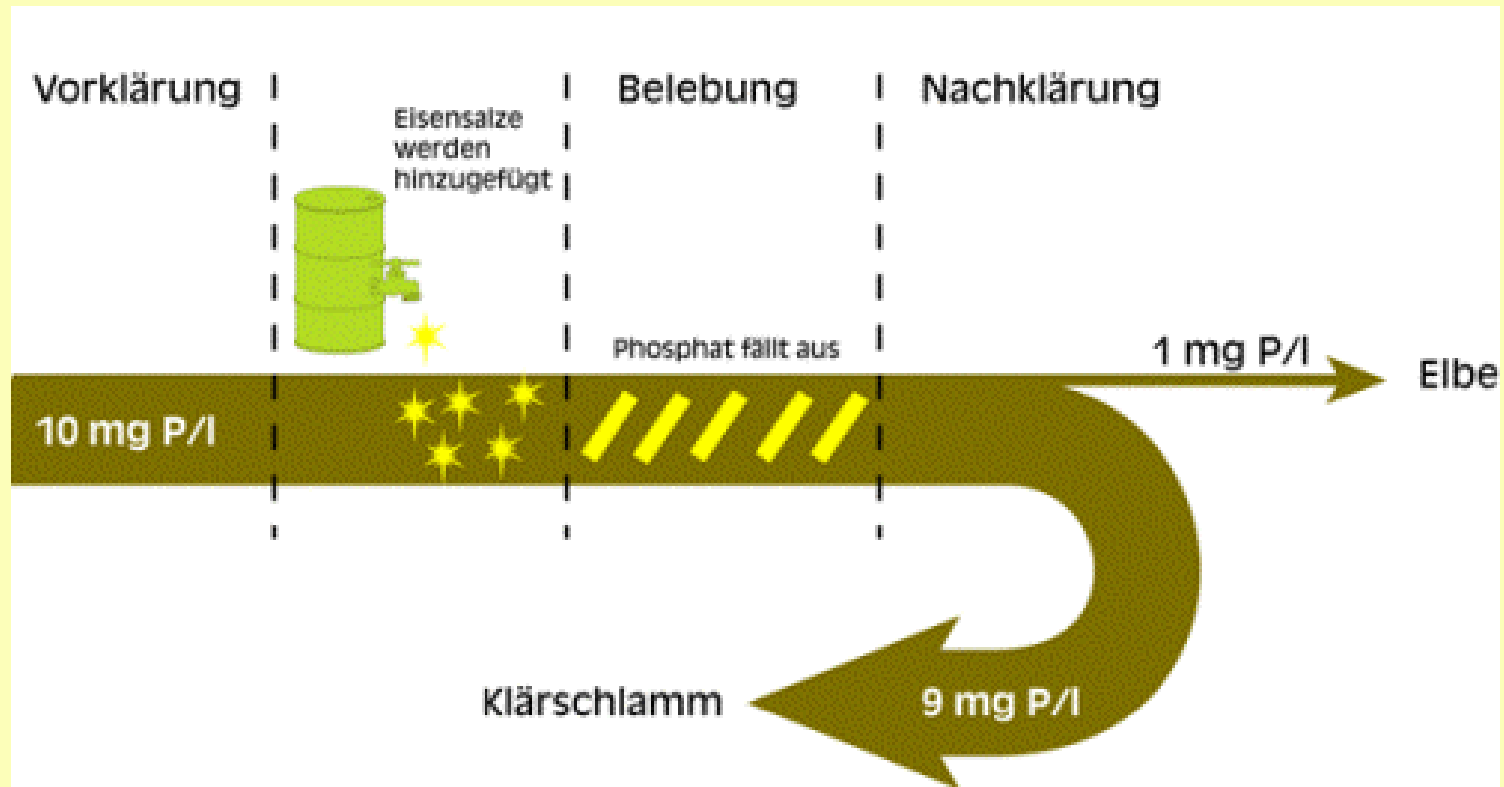
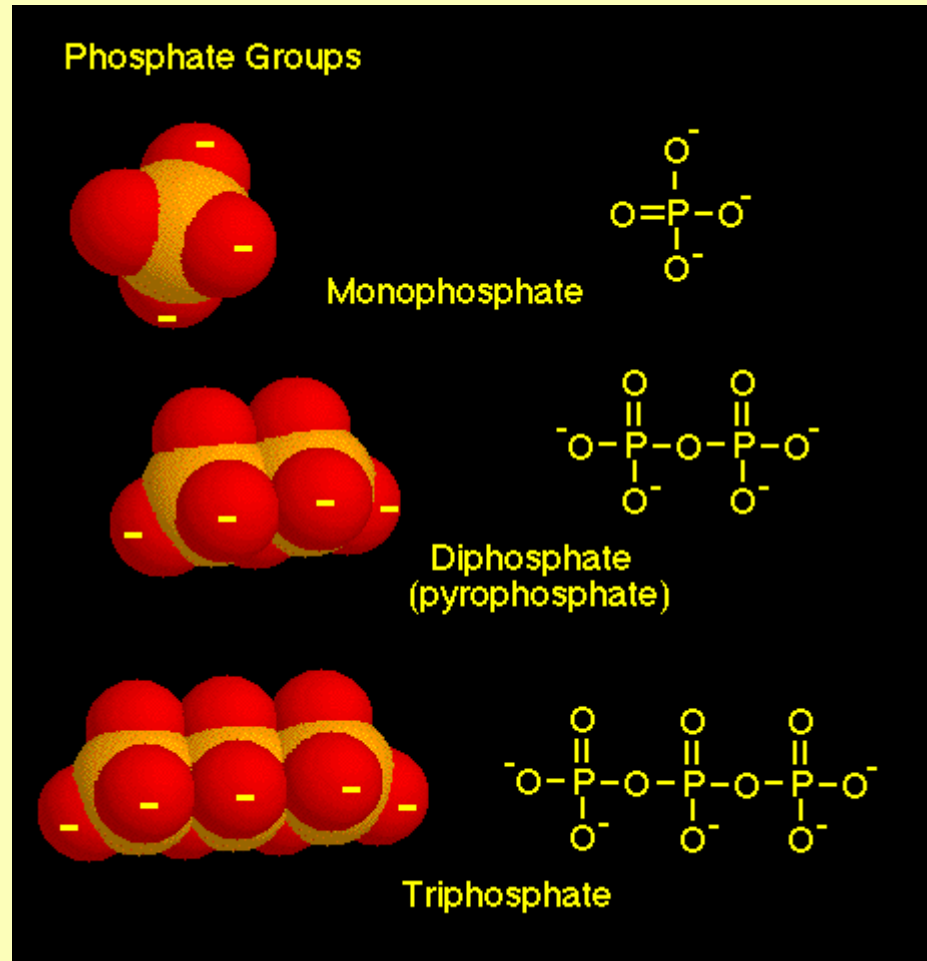


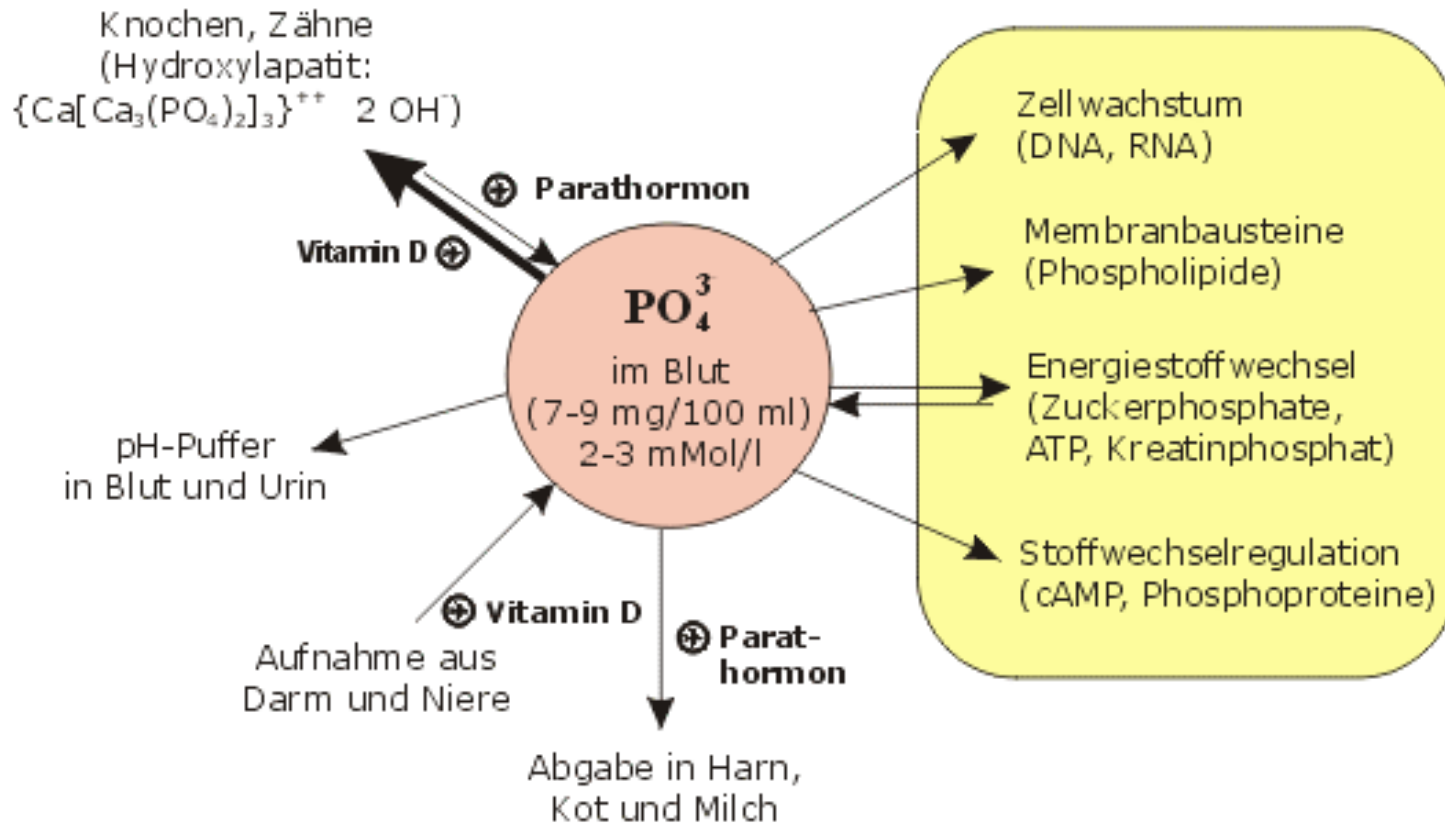
# Phosphorelimination



# Phosphorverbindungen

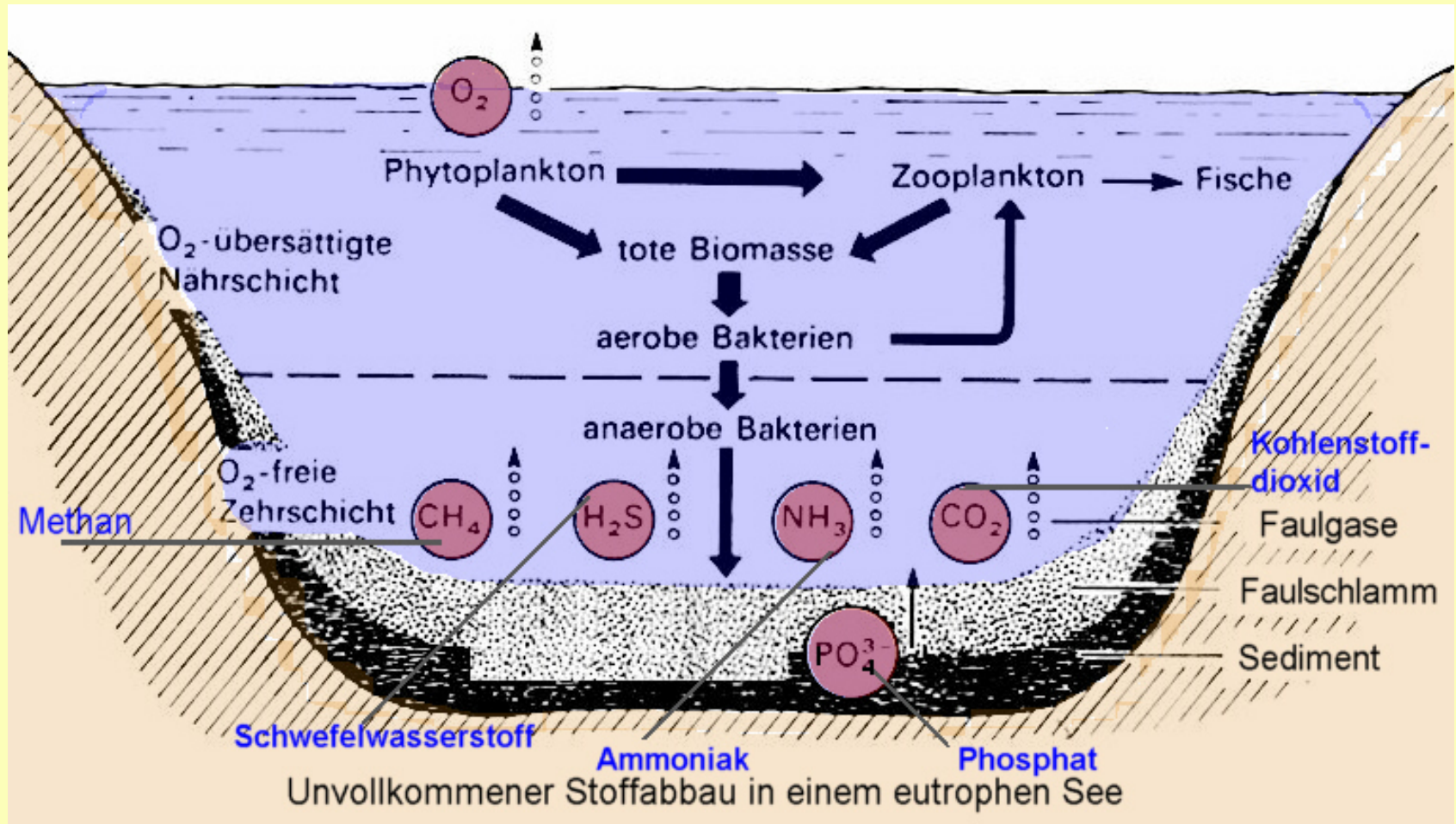


# Rolle des Phosphats im Stoffwechsel

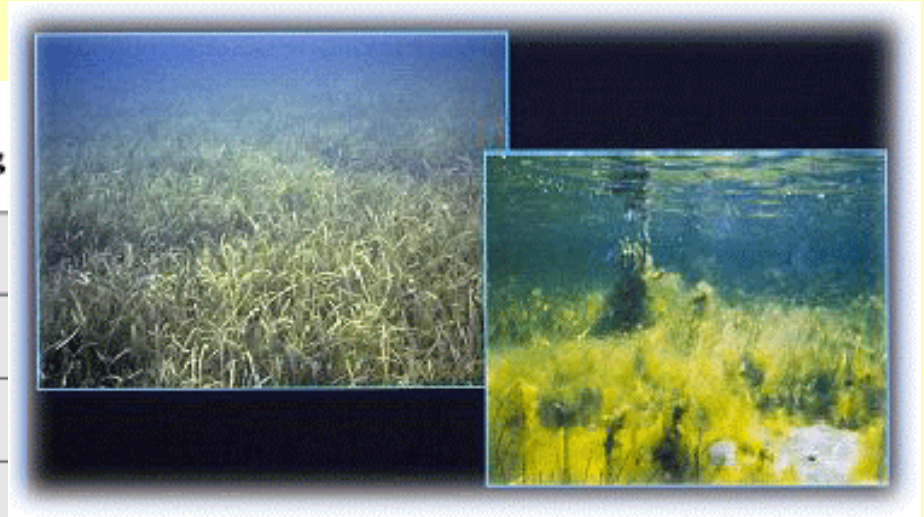
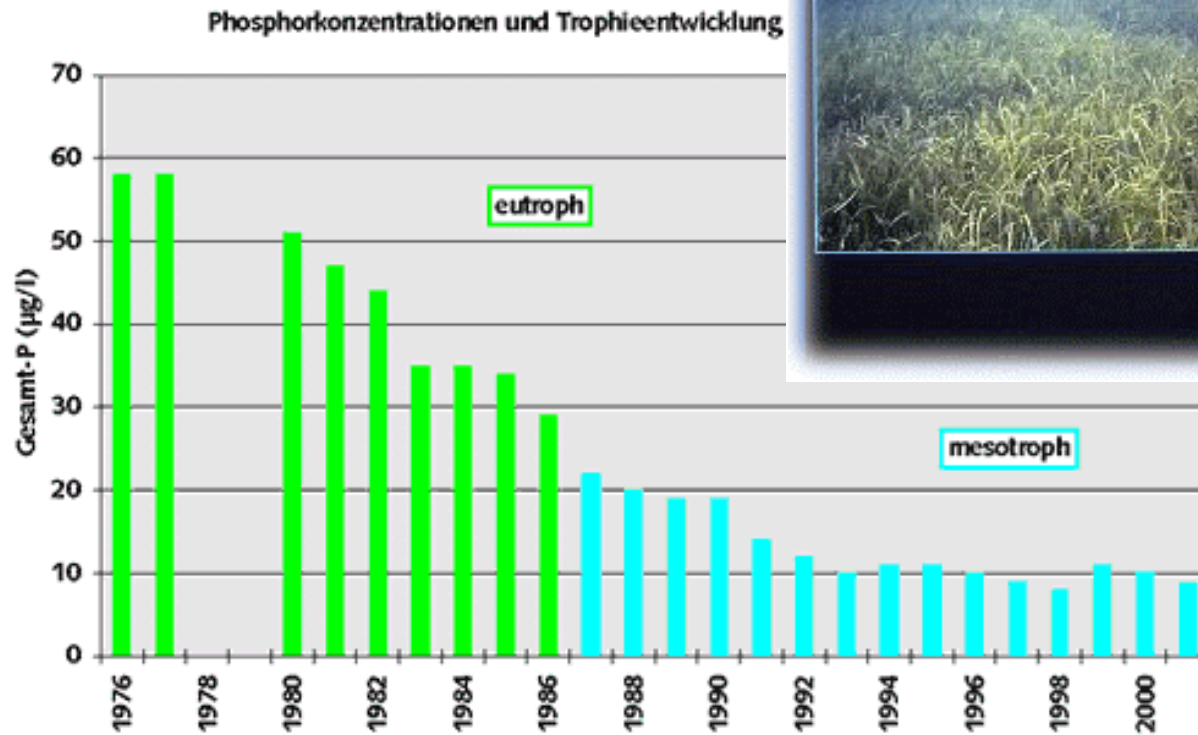


Folie 1.2

# Phosphor als limitierender Faktor

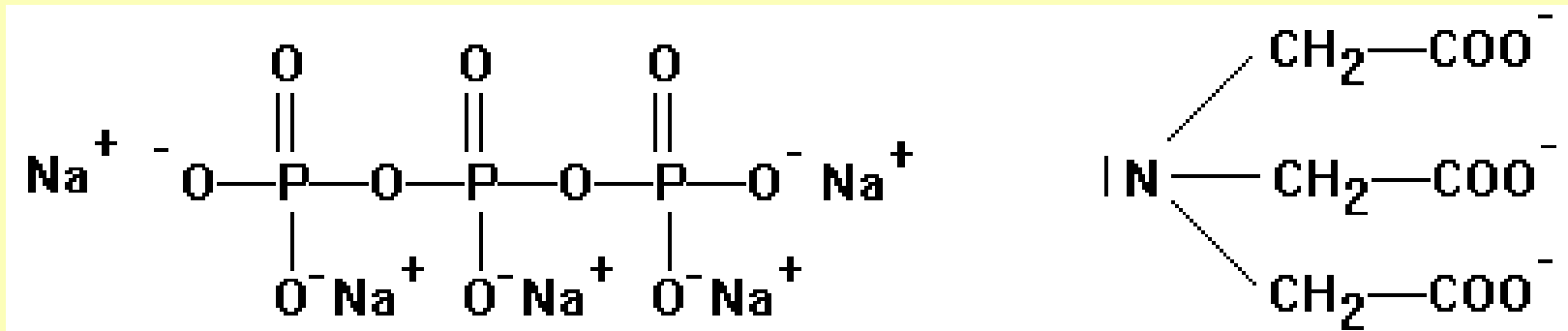


# Entwicklung der Eutrophierung



# Ersatz von Phosphor

- Ersatz der Polyphosphate in Waschmitteln durch beispielsweise NTA (Nitrilotriessigsäure)



# P-Grenzwerte

- Vorfluter See                    0.2 mg ges.-P/l
- Vorfluter Fluss                    0.8 mg ges.-P/l
- Die Zulaufkonzentrationen kommunaler ARA's liegen zwischen 3 – 5 mg ges.-P/l

# Die chemische Phosphorelimination

- Prinzipieller Vorgang:



Erwünschte Reaktion

- aber auch:



Konkurrenzreaktion

# Weitere Konkurrenzreaktionen

- Karbonatbildung:



nur bei Ca

- Komplexbildung mit organischen Stoffen
- Adsorptionsreaktionen

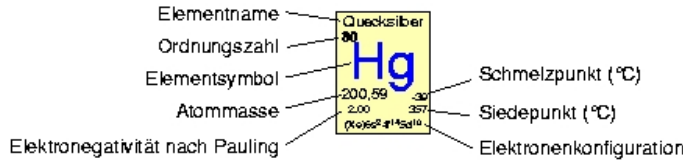
# Zwischenaufgabe

- 1. Erstelle die chemischen Gleichungen für die Fällungsreaktion von o-P mit den Metallionen Al, Fe, Ca
- 2. Warum unterscheidet sich die Reaktion von o-P mit Ca von derjenigen mit Al und Fe?
- Wo liegt der Unterschied von Ca-Ion zum  $\text{Fe}^{2+}$ -Ion?

# Periodensystem der Elemente

Fachschaft Chemie der Humboldt Universität zu Berlin, Juli 1999, <http://www.chemie.hu-berlin.de/fachschaft>

I	II
Wasserstoff 1 <b>H</b> 1,00794 230 220 1st	
Lithium 3 <b>Li</b> 6,941 0,83 (Ar)2s <sup>1</sup>	Beryllium 4 <b>Be</b> 9,012182(2)78 1,57 2870 (Ar)2s <sup>2</sup>
Natrium 11 <b>Na</b> 22,989770(2) 0,93 (Ar)3s <sup>1</sup>	Magnesium 12 <b>Mg</b> 24,3051 1,51 1000 (Ar)3s <sup>2</sup>
Kalium 19 <b>K</b> 39,0983 0,82 760 (Ar)4s <sup>1</sup>	Calcium 20 <b>Ca</b> 40,078 1,00 1484 (Ar)4s <sup>2</sup>
Rubidium 37 <b>Rb</b> 85,4678 1,22 696 (Kr)5s <sup>1</sup>	Strontium 38 <b>Sr</b> 87,62 0,95 1384 (Kr)5s <sup>2</sup>
Cäsium 55 <b>Cs</b> 132,90545(2) 0,79 650 (Xe)6s <sup>1</sup>	Barium 56 <b>Ba</b> 137,327 0,89 1640 (Xe)6s <sup>2</sup>
Franzium 87 <b>Fr</b> 223,0197 0,7 677	Radium 88 <b>Ra</b> 226,0254 0,9 1140 (Rn)7s <sup>2</sup>



III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II								
Scandium 21 <b>Sc</b> 44,95591(2)332 1,35 2832 (Ar)3d <sup>1</sup> 4s <sup>2</sup>	Titan 22 <b>Ti</b> 47,867 1,54 3287 (Ar)3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>	Vanadium 23 <b>V</b> 50,9415 1,63 3380 (Ar)3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>	Chrom 24 <b>Cr</b> 51,9961 1,66 2672 (Ar)3d <sup>5</sup> 4s <sup>1</sup>	Mangan 25 <b>Mn</b> 54,93805(2)44 1,55 1962 (Ar)3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>	Eisen 26 <b>Fe</b> 55,845 1,83 2730 (Ar)3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>	Cobalt 27 <b>Co</b> 58,9332 1,88 2870 (Ar)3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>	Nickel 28 <b>Ni</b> 58,6934 1,91 2732 (Ar)3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>	Kupfer 29 <b>Cu</b> 63,546 1,90 2567 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup>	Zink 30 <b>Zn</b> 65,39 1,65 907 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>	Gallium 31 <b>Ga</b> 69,723 1,81 2403 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>1</sup> 4p <sup>1</sup>	Germanium 32 <b>Ge</b> 72,61 2,18 2830 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	Arsen 33 <b>As</b> 74,92160(2)17 2,18 613 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	Selen 34 <b>Se</b> 78,96 2,55 685 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	Brom 35 <b>Br</b> 79,904 2,06 594 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	Krypton 36 <b>Kr</b> 83,80 1,2 152 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>
Yttrium 39 <b>Y</b> 88,90585(2)232 1,33 4377 (Kr)4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>	Zirkonium 40 <b>Zr</b> 91,224 1,33 4377 (Kr)4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>	Niob 41 <b>Nb</b> 92,9064 1,6 4742 (Kr)4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>	Molybdän 42 <b>Mo</b> 95,94 1,9 4612 (Kr)4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>	Technetium 43 <b>Tc</b> 98,9063 2,2 3000 (Kr)4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>	Ruthenium 44 <b>Ru</b> 101,07 2,28 3727 (Kr)4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>	Rhodium 45 <b>Rh</b> 102,9055(2)55 2,28 3727 (Kr)4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>	Palladium 46 <b>Pd</b> 106,42 1,93 3410 (Kr)4d <sup>10</sup>	Silber 47 <b>Ag</b> 107,8682(2)62 1,93 3410 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>	Cadmium 48 <b>Cd</b> 112,411 1,69 769 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>	Indium 49 <b>In</b> 114,818 1,78 609 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>1</sup>	Zinn 50 <b>Sn</b> 118,710 2,02 7270 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>	Antimon 51 <b>Sb</b> 121,760 2,1 900 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>	Tellur 52 <b>Te</b> 127,60 2,06 984 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>	Iod 53 <b>I</b> 126,9045 2,2 934 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>	Xenon 54 <b>Xe</b> 131,29 1,2 107 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>
Lanthan 57 <b>La</b> 138,9055(2)20 1,1 3454 (Xe)5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Hafnium 72 <b>Hf</b> 178,49 1,3 4602 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>2</sup> 6s <sup>2</sup>	Tantal 73 <b>Ta</b> 180,9479(2)206 1,5 5425 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	Wolfram 74 <b>W</b> 183,84 2,36 5690 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	Rhenium 75 <b>Re</b> 186,207(2)190 1,9 5627 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>	Osmium 76 <b>Os</b> 190,23 2,2 5907 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	Iridium 77 <b>Ir</b> 192,217(2)410 2,2 6130 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	Platin 78 <b>Pt</b> 195,078(2)172 2,28 3827 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>9</sup> 6s <sup>1</sup>	Gold 79 <b>Au</b> 196,966569(4)1064 2,54 3030 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>1</sup>	Quecksilber 80 <b>Hg</b> 200,59 2,00 357 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	Thallium 81 <b>Tl</b> 204,3893(2)304 1,62 1457 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>1</sup>	Blei 82 <b>Pb</b> 207,2 1,8 1740 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>	Bismut 83 <b>Bi</b> 208,9804(2)271 2,02 1560 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>	Polonium 84 <b>Po</b> 209,9824(2)254 2,0 962 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>	Astat 85 <b>At</b> 209,9871(2)302 2,2 337 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>	Radon 86 <b>Rn</b> 222,0176(2)1 1,2 62 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>

III	IV	V	VI	VII	VIII
Bor 5 <b>B</b> 10,812 2,04 2380 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>	Kohlenstoff 6 <b>C</b> 12,0108 2,55 4827 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	Stickstoff 7 <b>N</b> 14,00674(2)10 3,04 -106 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	Sauerstoff 8 <b>O</b> 15,9994 3,44 -183 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>	Fluor 9 <b>F</b> 18,99840(2)20 3,98 -188 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	Helium 2 <b>He</b> 4,002602(2)22 1st -260
Aluminium 13 <b>Al</b> 26,98154(8)60 1,51 2847 (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	Silizium 14 <b>Si</b> 28,0855 1,90 2355 (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	Phosphor 15 <b>P</b> 30,97376(1)44 2,19 230 (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>	Schwefel 16 <b>S</b> 32,066 2,23 445 (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>	Chlor 17 <b>Cl</b> 35,4528(2)101 3,16 -35 (Ne)3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	Neon 10 <b>Ne</b> 20,1798 1,2 -246 (He)2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
Krypton 36 <b>Kr</b> 83,80 1,2 152 (Ar)3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>	Xenon 54 <b>Xe</b> 131,29 1,2 107 (Kr)4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>	Radon 86 <b>Rn</b> 222,0176(2)1 1,2 62 (Xe)4f <sup>14</sup> 5d <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>			

Wie bei der Ziehung der Lottozahlen: Ohne Gewähr!

	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Lanthanoide	Ce 140,116 1,12 3426 (Xe)4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Pr 140,9076(2)291 1,13 3512 (Xe)4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>	Nd 144,24 1,14 3668 (Xe)4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>	Pm 144,9127(1)2188 1,17 2180	Sm 150,36 1,17 1701 (Xe)4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>	Eu 151,964 1,57 1907 (Xe)4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>	Gd 157,25 1,2 3123 (Xe)4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>	Tb 158,9253(1)356 1,2 3123 (Xe)4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>	Dysprosium 66 <b>Dy</b> 162,50 1,22 2952 (Xe)4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>	Holmium 67 <b>Ho</b> 164,9303(1)474 1,23 2863 (Xe)4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>	Erbium 68 <b>Er</b> 167,26 1,24 2863 (Xe)4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>	Thulium 69 <b>Tm</b> 168,9342(1)545 1,1 1047 (Xe)4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>	Ytterbium 70 <b>Yb</b> 173,04 1,1 1104 (Xe)4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>	Lutetium 71 <b>Lu</b> 174,967 1,27 3305 (Xe)4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>
Actinoide	Thorium 90 <b>Th</b> 232,0381(2)1750 1,3 4700 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>2</sup> 7p <sup>6</sup>	Protactinium 91 <b>Pa</b> 231,0359(8)1600 1,3 3918 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Uran 92 <b>U</b> 238,0289(1)132 1,3 3818 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Neptunium 93 <b>Np</b> 237,0482(2)640 1,36 3002 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Plutonium 94 <b>Pu</b> 244,0642(2)641 1,28 3322 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Americium 95 <b>Am</b> 244,0614(2)604 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Curium 96 <b>Cm</b> 247,0703(1)340 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Berkelium 97 <b>Bk</b> 247,0703(2)340 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Californium 98 <b>Cf</b> 251,0796(1)440 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Einsteinium 99 <b>Es</b> 252,0830(1)400 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Fermium 100 <b>Fm</b> 257,095(1)2070 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Mendelevium 101 <b>Md</b> 258,10(8)170 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Nobelium 102 <b>No</b> 259,10(1)170 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>	Lawrencium 103 <b>Lr</b> 262,10 1,3 2607 (Rn)7s <sup>2</sup> 6d <sup>1</sup> 7p <sup>6</sup>

# Zu beachtende Einflussfaktoren

- pH-Wert
  - Löslichkeit der  $\text{MePO}_4$ -Verbindungen zwischen pH-Werten von 5 – 7 am geringsten
  - Flockenbildung benötigt pH-Werte von 6.5 bis 8.5
- Säurekapazität
  - Gefahr zu tiefer pH-Werte durch Zugabe der sauren Al- und Fe-Salze

# Weitere Einflussfaktoren

- Schwebstoffe und Kolloide
  - führen zu parallel laufender Flockung
- Gelöste organische Stoffe
  - Führen zu Konkurrenzreaktionen durch Komplexbildung
- Fällmitteleinbringung
  - falsche Dosierstelle (Bsp. FeII)
  - Durchmischung nicht optimal (Energieeintrag)

# Fällmittelbedarf

- $\beta$ -Wert als Molverhältnis der erforderlichen Fällmittelmenge zum zu fällenden Phosphor im Abwasser
- Der praktische  $\beta$ -Wert liegt zwischen 1.1 und 1.4 für Vorfällung und Simultanfällung
- Der praktische  $\beta$ -Wert kann bis zu 2.5 betragen für die Flockungsfiltration

# Zwischenaufgabe

- 3. Die Fällung von 2.3 mg  $\text{PO}_4\text{-P/l}$  benötigt 20 mg  $\text{FeCl}_3\text{/l}$ . **Wie gross ist der  $\beta$ -Wert?**
- 4. Berechne den  $\beta$ -Wert aus folgenden Tagesdaten einer Simultanfällung:
  - Verbrauch an  $\text{FeSO}_4 * 7 \text{H}_2\text{O}$ : **5 Tonnen**
  - $Q_{\text{abwasser}}$ : **170'000 m<sup>3</sup>**
  - Ges.- P im Ablauf Vorklärung: **2.9 mg/l**
  - Ges.- P im Ablauf Biologie: **0.6 mg/l**

# Nebenwirkungen

- Das C/N/P-Verhältnis muss gewahrt werden
  - für einen funktionierenden biologischen Abbau wird ein Mindestgehalt an Phosphor benötigt
- Säurekapazität mindestens 1.5 mmol/l
- Zusätzlicher Schlammanfall (Fällschlamm)
  - ca. 2.5g Fällschlamm pro g Eisen
  - ca. 4g Fällschlamm pro g Aluminium

# Zwischenaufgabe

- 5. Eine ARA verbraucht jährlich **399 Tonnen Grünsalz ( $\text{FeSO}_4$  heptahydrat)**. Wieviel zusätzlicher Fällschlamm fällt dabei an?
- 6. Eine ARA verbraucht jährlich **80 Tonnen Aluminiumsulfat  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$** . Wieviel zusätzlicher Fällschlamm fällt dabei an?