



**Siedlungswasserwirtschaft  
Abwasserreinigung  
Vorlesung 24.05.2006**

**Dipl.-Ing. Pamela Meyer**

Quelle: Stadt Münster, Tiefbauamt

Grundvorlesung  
Abwasserreinigung

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

Civil Engineering Urban Water Management

## Teil 2

# Biologische Abwasserreinigung

## Gliederung

### **3. Biologische Abwasserreinigung - Belebungsverfahren**

#### **3.1 Grundsätze und Mikroorganismen**

#### **3.2 Nitrifikation und Denitrifikation**

#### **3.3 Belebungsverfahren**

#### **3.4 Phosphor Elimination**

## Gliederung

### **3. Biologische Abwasserreinigung - Belebungsverfahren**

#### **3.1 Grundsätze und Mikroorganismen**

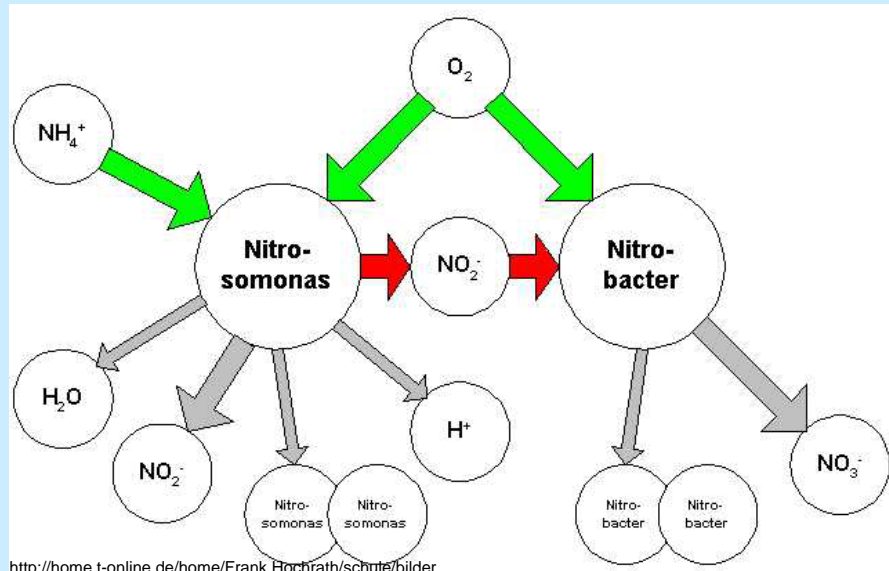
#### **3.2 Nitrifikation und Denitrifikation**

#### **3.3 Belebungsverfahren**

#### **3.4 Phosphor Elimination**

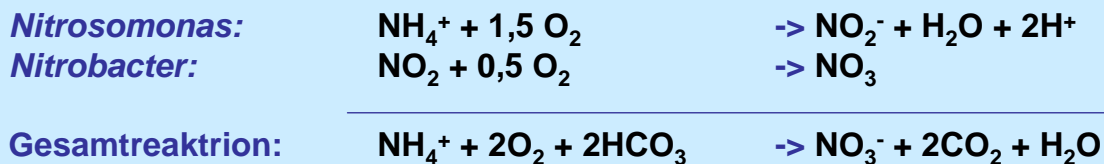
## Chemische Grundreaktionen – Nitrifikation

Mikrobiologische  
Oxidation von  
Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )  
über Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) zu  
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )



## Chemische Grundreaktionen - Nitrifikation

Mikrobiologische Oxidation von Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )  
über Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) zu Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )



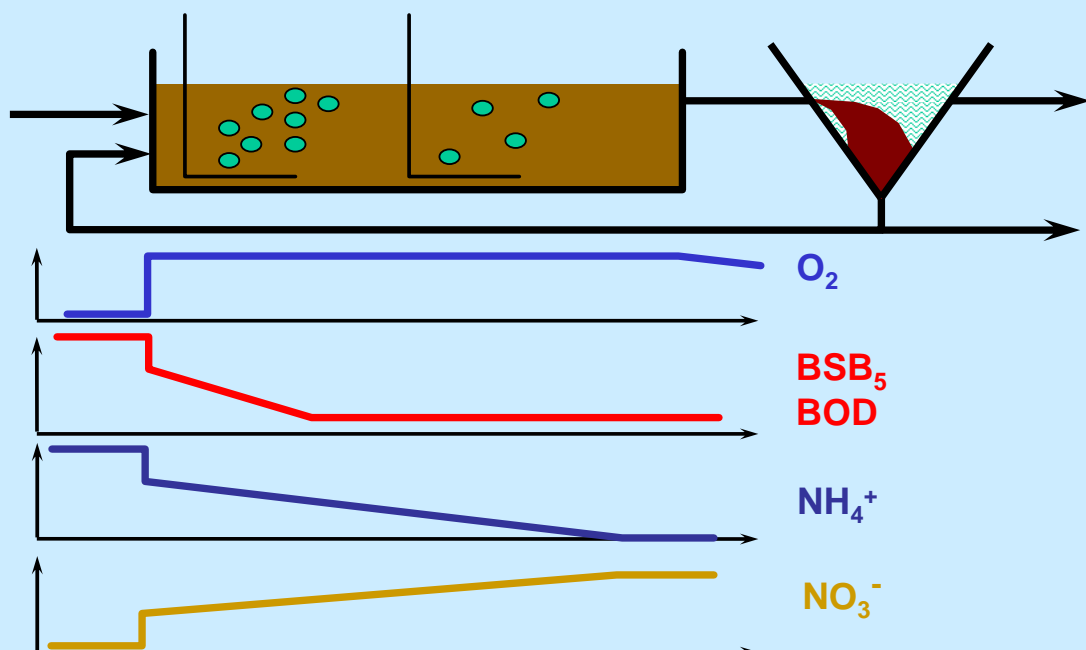
### Voraussetzungen:

- *Nitrosomonas* und *Nitrobacter* sind Nitrifikanten.
- Nitrifikanten wachsen langsam, brauchen min. 10 °C, pH 7,2 – 8,0
- Anwesenheit von freiem Sauerstoff
- Sauerstoffverbrauch: 4,6 g  $\text{O}_2$ /g  $\text{NH}_4\text{-N}$
- Verbrauch an Säurekapazität: 2 mol  $\text{HCO}_3^-$ /mol  $\text{NH}_4\text{-N}$

## Einflussfaktoren auf die Nitrifikation

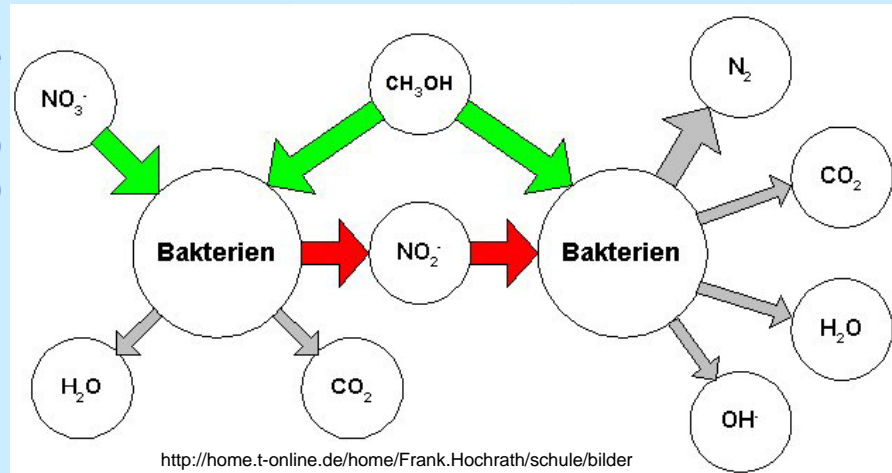
- Substratkonzentration ( $\text{NH}_4$ )
- Temperatur
- Sauerstoffkonzentration
- pH-Wert
- hemmende Stoffe

## Nitrifikation (nach Gujer, 1999)



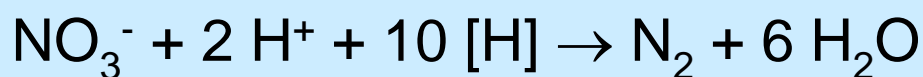
## Chemische Grundreaktionen – Denitrifikation

Mikrobiologische  
Reduktion von  
Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ )  
zu Luftstickstoff ( $\text{N}_2$ )



## Chemische Grundreaktionen – Denitrifikation

Mikrobiologische Reduktion von Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) zu Luftstickstoff ( $\text{N}_2$ )



[H] entspricht Organik ( $\text{BSB}_5$ )

### Voraussetzungen:

- Denitrifikanten (Die meisten Bakterien können denitrifizieren.)
- Nitrat oder Nitrit
- Abwesenheit von freiem Sauerstoff
- Organik ( $\text{BSB}_5$ )

## Einflussfaktoren auf die Denitrifikation

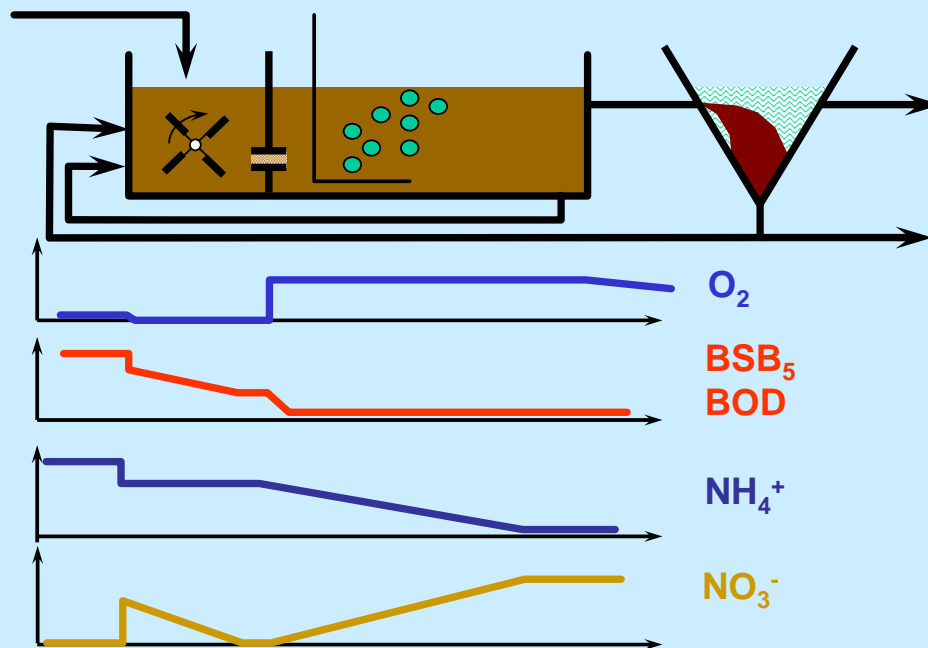
- Nitratkonzentration
- Substratkonzentration (Energiequelle)
- Temperatur
- Sauerstoffkonzentration (Hemmung)
- pH-Wert

## Erforderliche Umweltbedingungen

Aerober Abbau von BSB <sub>5</sub>	Nitrifikation	Denitrifikation
O <sub>2</sub>	●	<u>hemmt</u>
CSB, BSB <sub>5</sub>	●	●
het. Biomasse	●	●
Nitrifikanten	●	●
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	●	●
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Produktion	●
NCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	●	Produktion
Schlammalter < 5d	7 – 10 d	12 – 18 d

● muss vorhanden sein

## Vorgeschaltete Denitrifikation (nach Gujer, 1999)



31.05.2006

Folie 13

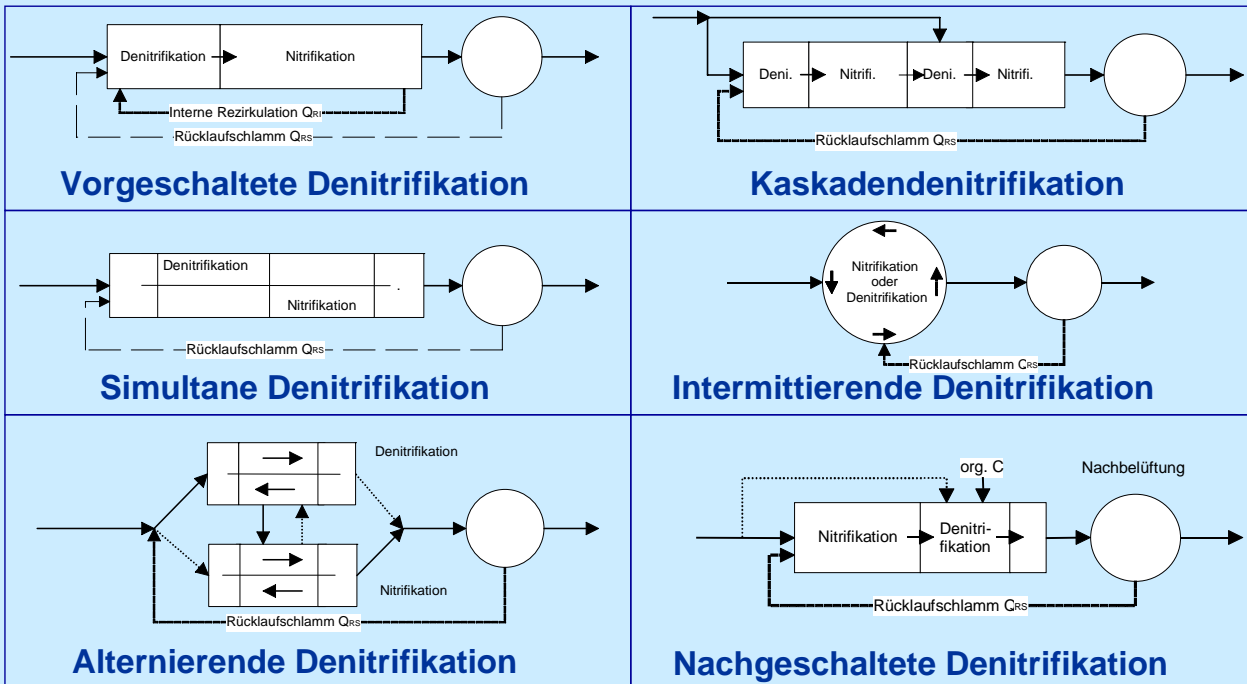
## Gliederung

3. Biologische Abwasserreinigung - Belebungsverfahren
  - 3.1 Grundsätze und Mikroorganismen
  - 3.2 Nitrifikation und Denitrifikation
  - 3.3 Belebungsverfahren**
  - 3.4 Phosphor Elimination

31.05.2006

Folie 14

## Bau und Betriebsweisen von Belebungsbecken



31.05.2006

Folie 15

## Verfahrensvergleich Denitrifikation

### Vorgeschaltete Denitrifikation

- definierte, knappe Beckenvolumina
- gute Regelbarkeit, hohe Variabilität = kompliziert
- vornehmlich für größere Anlagen

### Simultane Denitrifikation

- große Beckenvolumina, höhere Investitionskosten
- stabiler, einfacher Betrieb, sehr gute Ablaufwerte
- vornehmlich für kleinere Anlagen

### Nachgeschaltete Denitrifikation

- externe C-Quelle = hohe Betriebskosten
- sehr gute Ablaufwerte, keine Rezirkulation
- Anwendung nur in Ausnahmefällen

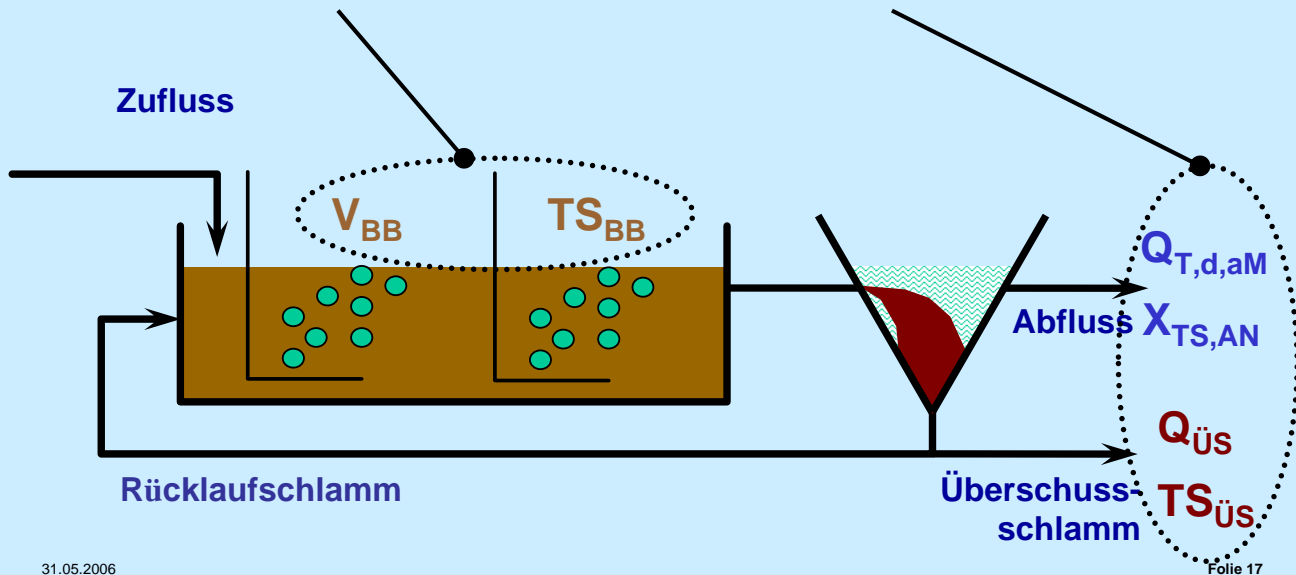
31.05.2006

Folie 16



## Bemessung über das Schlammalter

Schlammmasse im System + Schlammabnahme aus dem System



31.05.2006

Folie 17

## Definition des Schlammalters

$$t_{TS} = \frac{V_{BB} \cdot TS_{BB}}{Q_d \cdot X_{TS,AN} + Q_{ÜS} \cdot TS_{ÜS}}$$

mit:

$V_{BB}$  = Volumen Belebungsbecken

$TS_{BB}$  = Feststoffgehalt Belebungsbecken

$Q_{T,d,aM}$  = Durchfluss

$X_{TS,AN}$  = Feststoffgehalt Ablauf

$Q_{ÜS}$  = Überschussschlammfluss

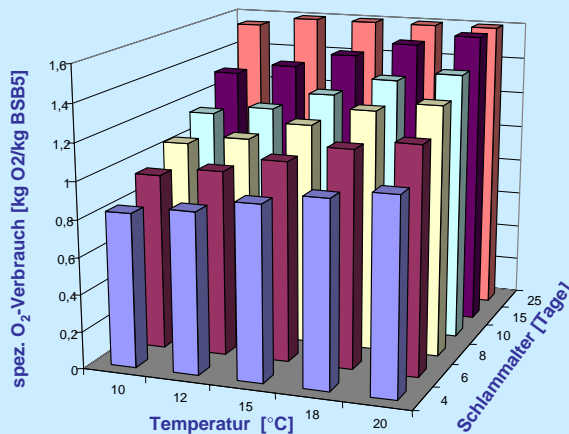
$TS_{ÜS}$  = Feststoffgehalt des Überschussschlammes

31.05.2006

Folie 18

## Sauerstoffbedarf für die Kohlenstoffatmung in Abhängigkeit von Temperatur (T) und Schlammalter ( $t_{TS}$ )

$$OV_{d,C} = B_{d,BSB} \cdot \left( 0,56 + \frac{0,15 \cdot F_T \cdot t_{TS}}{1 + 0,17 \cdot F_T \cdot t_{TS}} \right)$$



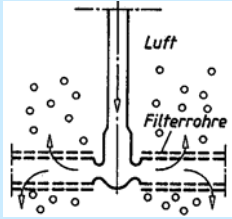
- $OV_{d,C}$  = Sauerstoffverbrauch Kohlenstoffelimination
- $t_{TS}$  = Schlammalter
- 0,56 = Substratatemperaturkoeffizient
- $F_T$  =  $1,072(t-15)$
- $0,15 \cdot F_T$  = endogene Atmungsrate

## Sauerstoffbedarf für die Nitrifikation

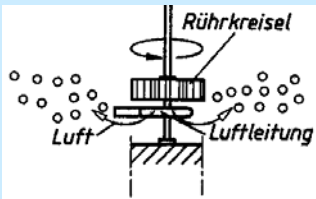
$$OV_{d,N} = Q_d \cdot 4,3 \cdot \frac{(S_{NO3,D} - S_{NO3,ZB} + S_{NO3,AN})}{1.000}$$

- 4,3** stöchiometrischer Faktor
- $S_{NO3,D}$  Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrates
- $S_{NO3,ZB}$  Konzentration des Nitrates Zulauf BB
- $S_{NO3,D}$  Konzentration des Nitrates Ablauf NK

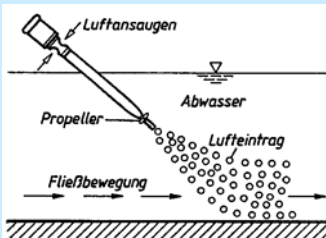
## Belüftung mit Druckluft



Filterrohre



Verteilerring für Luft  
mit Rührkreisel



Injektorbelüfter

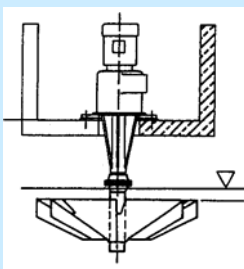
31.05.2006

### Flächenbelüftung



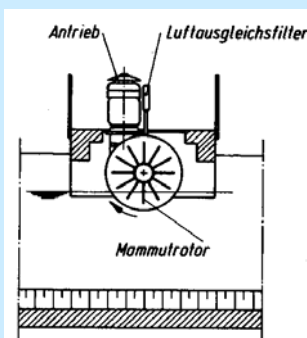
Folie 21

## Oberflächenbelüfter



Kreiselbelüfter

**circulating** umlaufende  
**installation** Brückenkonstruktion  
in Betrieb



Mammutrotor



31.05.2006

Folie 22

## Oberflächenbelüfter

mit vertikaler Achse



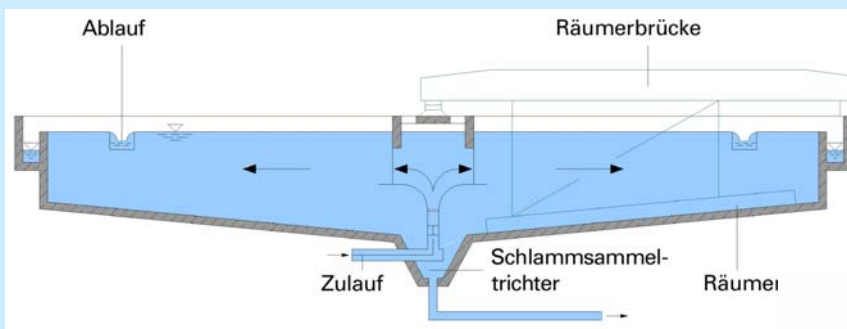
mit horizontaler Achse



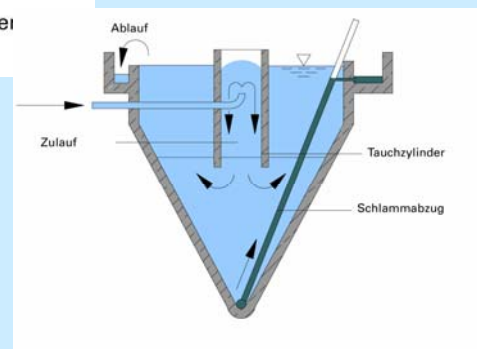
31.05.2006

Folie 23

## Nachklärbecken in Abhängigkeit der Durchströmung



Horizontal durchströmte Rundbecken

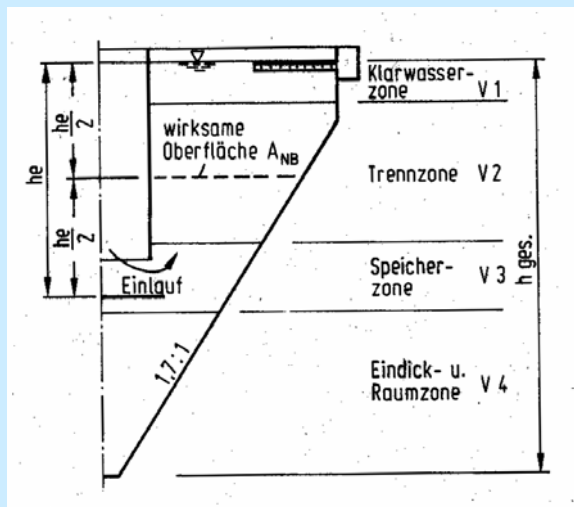


Vertikal durchströmte Rundbecken

31.05.2006

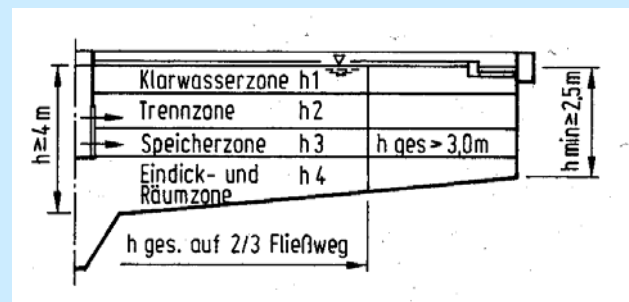
Folie 24

## Zonen und Tiefen im Nachklärbecken



vertikal durchströmtes Trichterbecken

## horizontal durchströmtes Rundbecken



## Gliederung

3. Biologische Abwasserreinigung - Belebungsverfahren
  - 3.1 Grundsätze und Mikroorganismen
  - 3.2 Nitrifikation und Denitrifikation
  - 3.3 Belebungsverfahren
  - 3.4 Phosphor Elimination

## Phosphorelimination

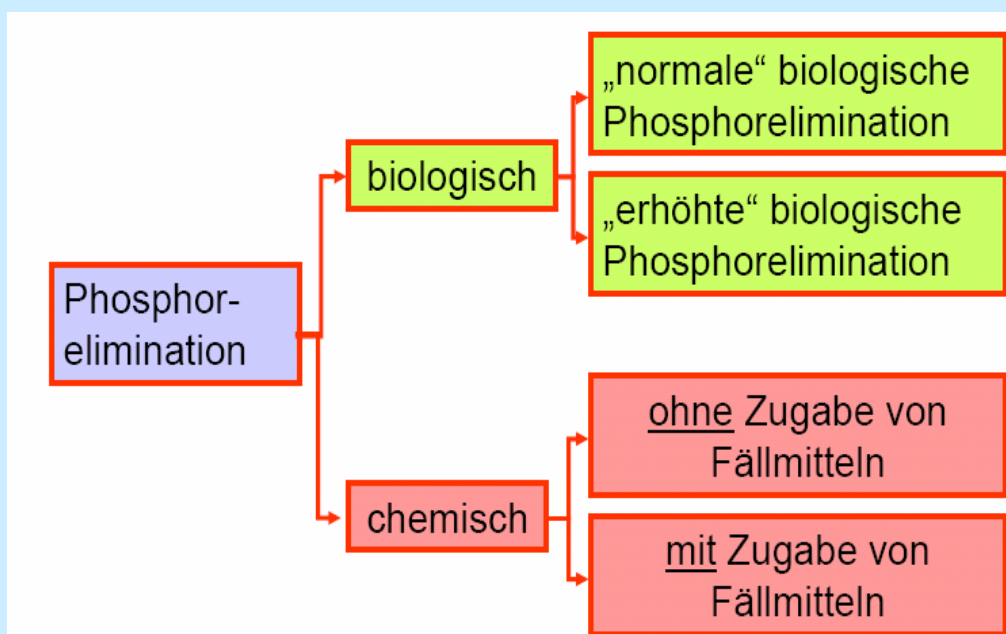


Foto: Prof. Londong, Weimar

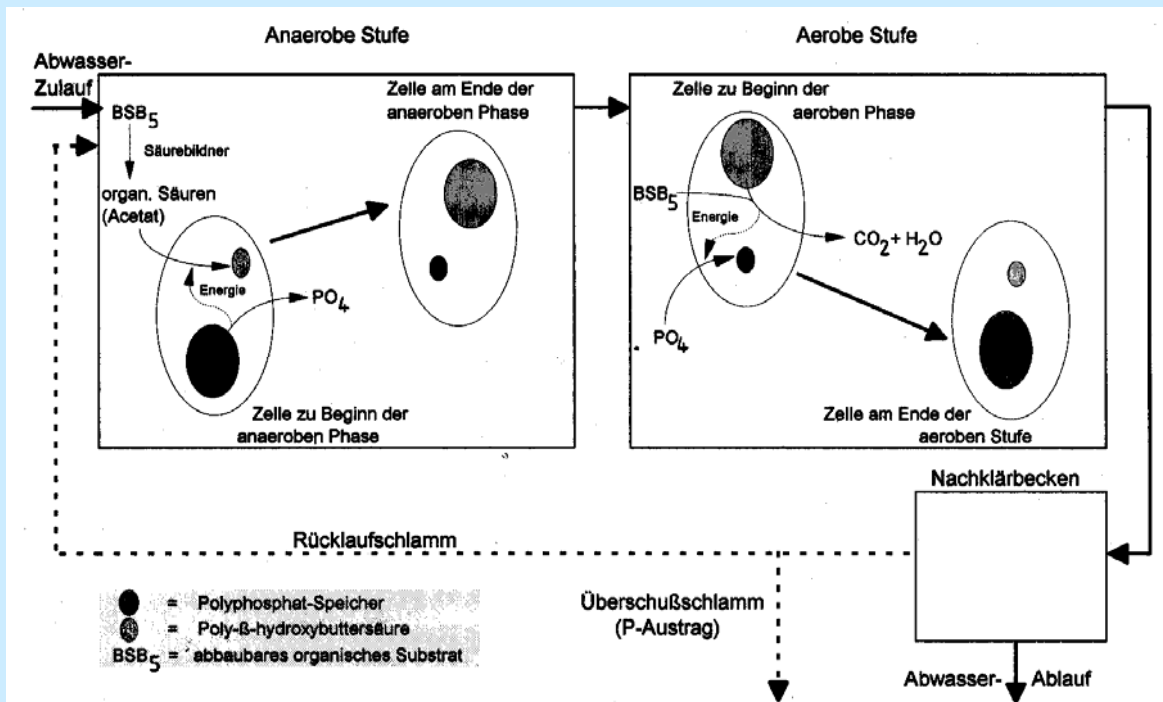
Algenpest durch Nährstoffeintrag

- Phosphor ist in Gewässern häufig der limitierende Faktor. Gefahr der Überdüngung und Vermehrung der Biomasse.
- Die Gewässer können umkippen (Eutrophierung).
- Verfahren zur Phosphorelimination
  - Biologisch (Bakterien)
  - Chemisch durch Fällung

## Phosphorelimination



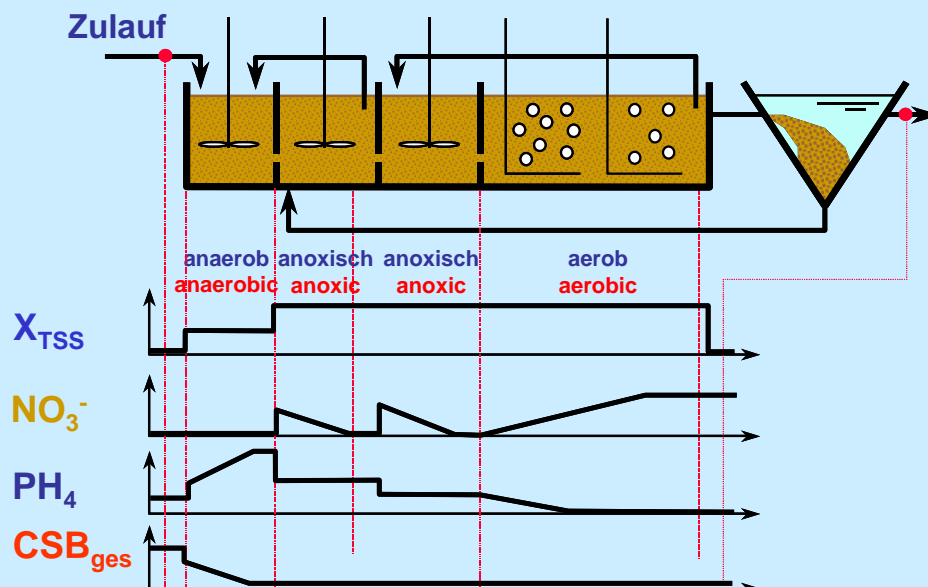
## Biologische Phosphorelimination



31.05.2006

Folie 29

## Biologische Phosphorelimination Konzentrationsverläufe nach Gujer, 1999



31.05.2006

Folie 30

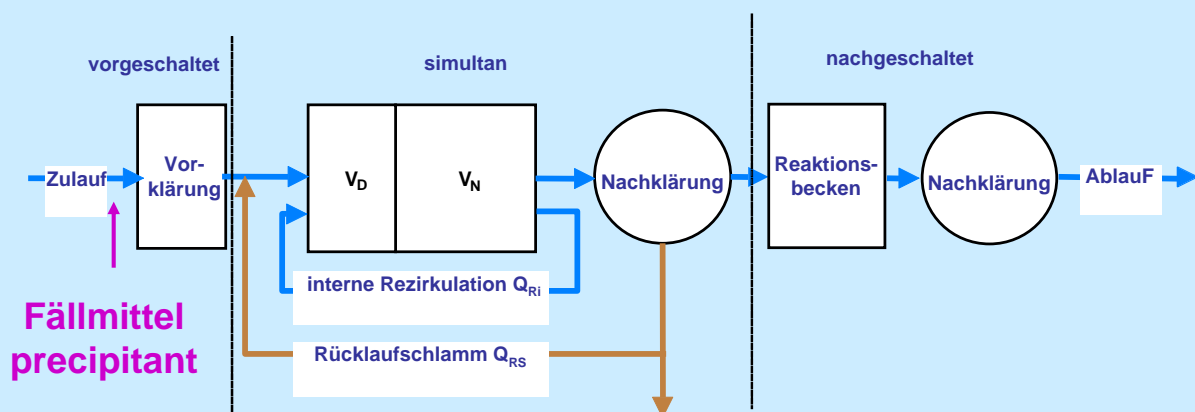
## Chemische Phosphorelimination



- Überführung der Phosphate in schwer lösliche Eisen-, Aluminium- oder Kalzium-Verbindungen
- Abtrennung erfolgt durch Sedimentation
- Fällmittel und Bedarf nach ATV-A 131 (2000):
  - Eisen  $\text{Fe}^{3+}$ : 2,7 kg Fe pro kg zu fällendem Phosphor
  - Aluminium: 1,3 kg Al pro kg zu fällendem Phosphor
  - Kalk (Kalkmilch): Bedarf richtet sich nach der Säurekapazität.
- Ort der Fällmittelzugabe definiert die Verfahren
  - Vorfällung
  - Simultanfällung
  - Nachfällung

Folie 31

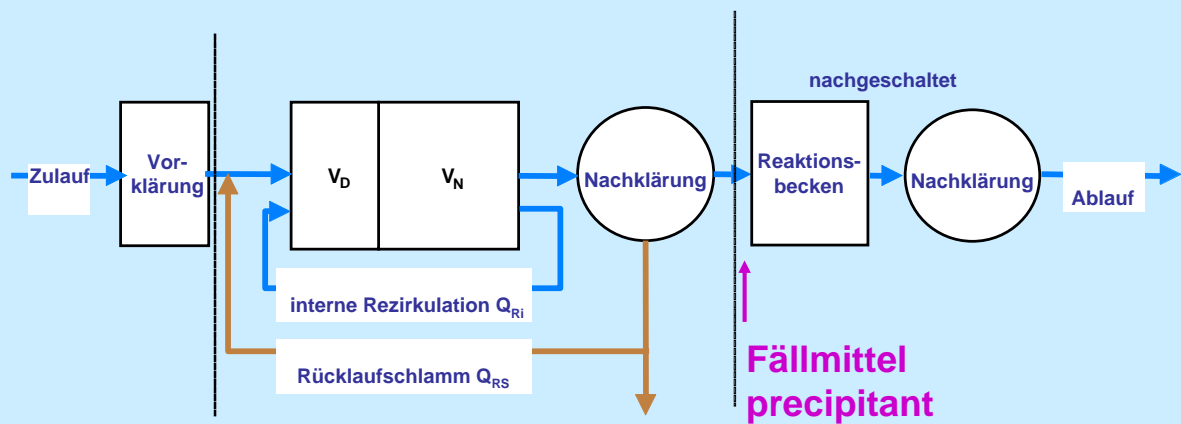
## Verfahren der chemischen P-Elimination



- vorgeschaltet: einfach zu installieren, evtl. P-Mangel im BB, keine biologische P-Elimination, hoher Fällmittelverbrauch

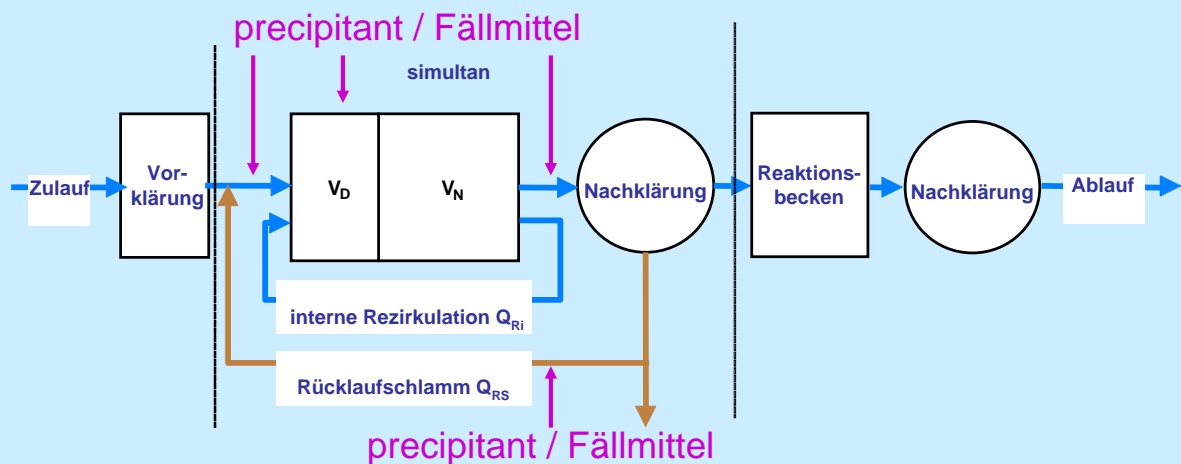


## Verfahren der chemischen P-Elimination



- **nachgeschaltet:** bester Wirkungsgrad, hoher Aufwand wegen zusätzlicher Becken

## Verfahren der chemischen P-Elimination



- **simultan:** positiv für Schlammbeschaffenheit, Reduzierung der Blähschlamm-Bildung, Verwendung von kostengünstigem Grünsalz (Fe(II)-Salz)

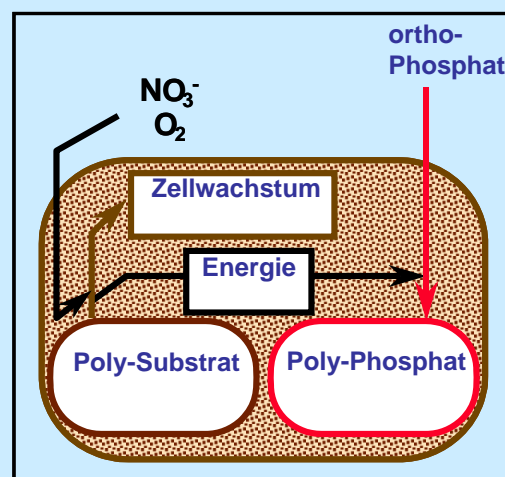
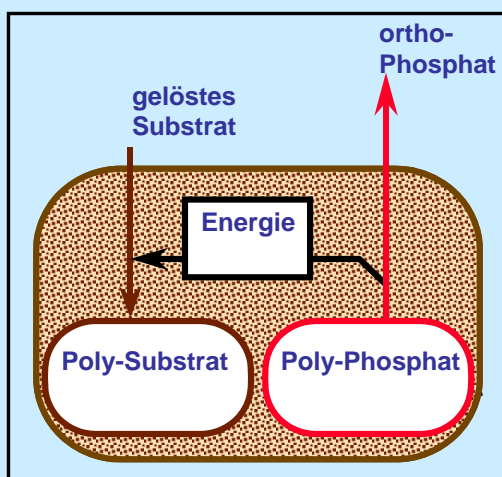
## Übersicht Fällmittel

Typ	Bezeichnung, Formel	Zustand
Al	Aluminiumsulfat $\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	fest
	Aluminiumchlorid $\text{AlCl}_3$	Lösung
	Polyaluminiumchlorid $(\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n})_m$	Lösung
	$\text{AlCl}_3 + \text{FeCl}_3$	Lösung
	$n\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot y\text{H}_2\text{O}$	fest
Fe II	Eisen(II)-Sulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	fest
Fe III	Eisen(III)-Chloridsulfat $\text{FeClSO}_4$	Lösung
	Eisen(III)-Chlorid $\text{FeCl}_3$	Lösung
Ca	Kalk $\text{CaO}$ Kalkhydrat	fest
	Kalziumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$	fest

## Prinzip der biologischen P-Elimination durch Phosphatspeichernde Bakterien

Anaerobe Umgebung

Anoxisch oder aerobe Umgebung



Geändert  
nach Gujer,  
1999