

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

## Grundbegriffe zum Verständnis der Abwasserbehandlung

# Vorbemerkungen

**Kanalnetz und Kläranlage(n) bilden immer eine Einheit. Sie dürfen und können nicht unabhängig voneinander betrachtet, bemessen oder betrieben werden!**

Aus didaktischen Gründen konzentrieren sich die LV im Teil Abwasser auf die Abwasserbehandlung in Kläranlagen.

**Es existieren sehr viele verschiedene Verfahren der Abwasserbehandlung, ständig kommen neue hinzu oder werden vorhandene weiterentwickelt.**

Die LV im Teil Abwasser konzentrieren sich auf die vorgeschaltete Denitrifikation, weil das die in D und auch im internationalen Maßstab am häufigsten anzutreffende Technologie ist.

# Einige elementare Grundbegriffe

## Parameter

- Abwasservolumenstrom (Q)
- Konzentration der Abwasserinhaltsstoffe (C)
  - Beschaffenheitsparameter
    - pH
    - BSB / CSB / TOC
    - $\text{NH}_4\text{-N}$
    - $\text{NO}_x\text{-N}$
    - $\text{PO}_4\text{-P}$
    - AOX
    - ...
  - Abwasserfracht/-last (=  $Q * C$ )
  - Einwohnerwert (EW = Einwohnerzahl EZ + Einwohnergleichwerte EGW)

## Maßeinheit(en)

$\text{m}^3/\text{h}$ ,  $\text{m}^3/\text{d}$ ,  $\text{l}/\text{s}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $\text{mg}/\text{l}$   
-  
 $\text{mg}/\text{l}$   
 $\text{mg}/\text{l}$   
 $\text{mg}/\text{l}$   
 $\text{mg}/\text{l}$   
 $\mu\text{g}/\text{l}$ ,  $\text{mg}/\text{l}$   
...  
 $\text{g}/\text{s}$ ,  $\text{kg}/\text{h}$ ,  $\text{t}/\text{d}$ ,  $\text{g}/\text{d}$   
- (EW)

# Was ist BSB / CSB?

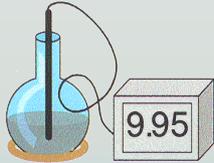
## BSB<sub>5</sub> (Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen)

### 1. Bakterien



Die Wasserprobe wird mit bakterienhaltigem, sauerstoffgesättigtem Wasser versetzt.

### 2.



Der Sauerstoffgehalt wird bestimmt.

### 3. T = konst.



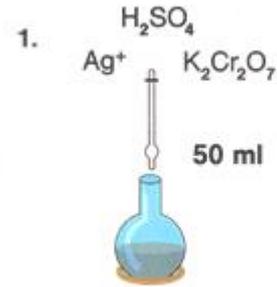
Die Probe wird verschlossen und bei 20 °C thermostatisiert. Die Bakterien bauen einen Teil der organischen Wasserinhaltsstoffe unter Sauerstoffverbrauch ab.

### 4.

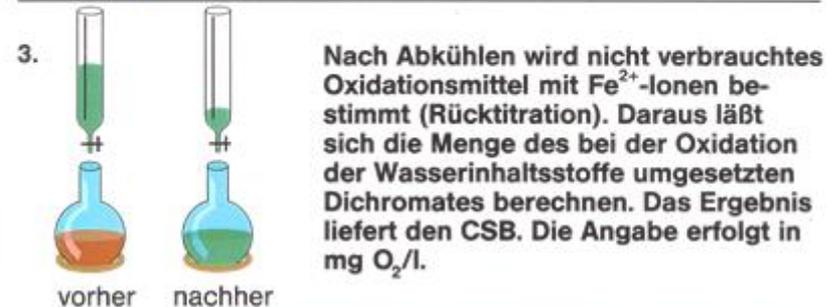
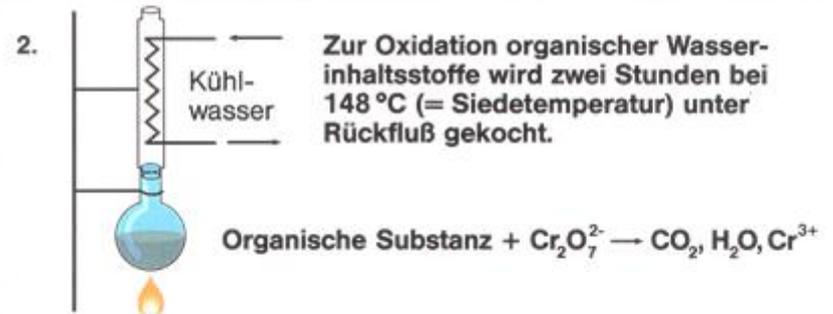


Nach 5 Tagen wird erneut der Sauerstoffgehalt gemessen. Der daraus ermittelbare Sauerstoffverbrauch wird als BSB<sub>5</sub> in mg O<sub>2</sub>/l angegeben.

## CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf)



Der Wasserprobe werden Schwefelsäure, Silberionen (Katalysator) und Kaliumdichromat (Oxidationsmittel) zugegeben.



<http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/b/bsb.htm>

# Was ist BSB / CSB?

## BSB<sub>5</sub> (Biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen)

1. Bakterien



Die Wasserprobe wird mit bakterienhaltigem, sauerstoffgesättigtem Wasser versetzt.

2.



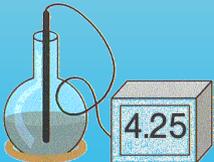
Der Sauerstoffgehalt wird bestimmt.

3. T = konst.



Die Probe wird verschlossen und bei 20 °C thermostatisiert. Die Bakterien bauen einen Teil der organischen Wasserinhaltsstoffe unter Sauerstoffverbrauch ab.

4.



Nach 5 Tagen wird erneut der Sauerstoffgehalt gemessen. Der daraus ermittelbare Sauerstoffverbrauch wird als BSB<sub>5</sub> in mg O<sub>2</sub>/l angegeben.

Oxidation von NH<sub>4</sub>-N wird unterdrückt (“maskiert”) durch Zugabe von Allylthioharnstoff.

*Die Bilder 2, 3 an 4 sind nicht 100%ig korrekt: Die Füllung der Probeflaschen mit sauerstoffreichem Wasser erfolgt bis kurz vor Überlauf, so dass keine Luft mehr in der Flasche verbleibt.*

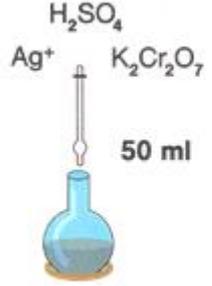
Ergebnis BSB<sub>5</sub> in diesem Beispiel:

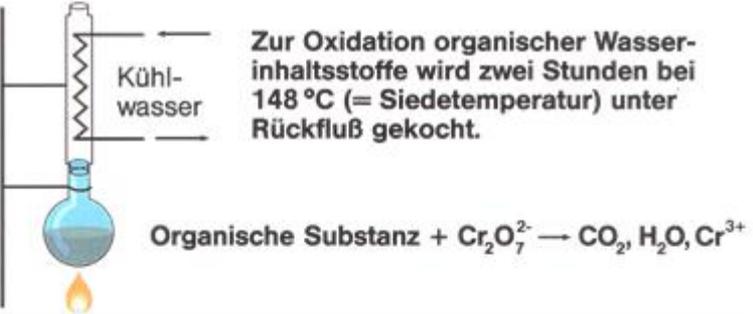
$$9,95 \frac{\text{mg}}{\text{l}} - 4,25 \frac{\text{mg}}{\text{l}} = 5,7 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

<http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/b/bsb.htm>

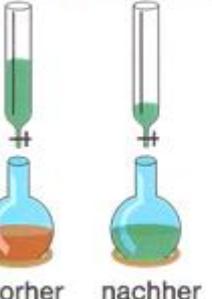
# Was ist BSB / CSB?

## CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf)

- 

1. Der Wasserprobe werden Schwefelsäure, Silberionen (Katalysator) und Kaliumdichromat (Oxidationsmittel) zugegeben.
- 

2. Zur Oxidation organischer Wasserinhaltsstoffe wird zwei Stunden bei 148 °C (= Siedetemperatur) unter Rückfluß gekocht.

Organische Substanz +  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{Cr}^{3+}$
- 

3. Nach Abkühlen wird nicht verbrauchtes Oxidationsmittel mit  $\text{Fe}^{2+}$ -Ionen bestimmt (Rücktitration). Daraus läßt sich die Menge des bei der Oxidation der Wasserinhaltsstoffe umgesetzten Dichromates berechnen. Das Ergebnis liefert den CSB. Die Angabe erfolgt in  $\text{mg O}_2/\text{l}$ .

vorher nachher

Die beiden hier dargestellten Laboruntersuchungen beschreiben die herkömmliche nasschemische Messung. Heutigentags werden BSB und CSB i.d.R. automatisiert, z. B. mit Sensoren, gemessen.

Bei der CSB-Analyse werden organische Substanzen vollständig oxidiert ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ist ein sehr starkes Oxidationsmittel).

Bei der BSB-Analyse werden hingegen nur jene Organika oxidiert, die von den Bakterien verstoffwechselt werden können.

<http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/c/csb.htm>

# Was ist TOC?

## Total Organic Carbon (TOC)

```
graph TD; TOC[Total Organic Carbon (TOC)] --- POC[Particulate Organic Carbon (POC)]; TOC --- DOC[Dissolved Organic Carbon (DOC)]; TOC --- VOC[Volatile Organic Carbon (VOC)];
```

**Particulate  
Organic Carbon  
(POC)**

Beispiel:  
PVC oder andere  
Polymere

**Dissolved  
Organic Carbon  
(DOC)**

Beispiel:  
Isopropanol oder  
andere Alkohole

**Volatile  
Organic Carbon  
(VOC)**

Beispiel:  
Methylchlorid  
oder andere leicht  
flüchtige CKW's

# Zusammenhang von BSB, CSB und TOC

Stoff	Strukturformel	BSB	CSB	TOC
Fett		✓	✓	✓
Zucker (hier Traubenzucker)		✓	✓	✓
Alkohol (hier: Ethanol)		✓	✓	✓
Pestizid (hier: Endosulfan)	 C <sub>9</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>6</sub> O <sub>3</sub> S	✗	✓	✓
Sulfid (hier: Schwefel- wasserstoff)		✗	✓	✗

Grundsätzlich gilt:

$$BSB \leq CSB$$

$$CSB \approx 2 \dots 5 * TOC$$

Für normal  
verschmutztes  
häusliches Abwasser  
gilt:

$$BSB \approx 0,5 \dots 0,8 * CSB$$

# Einige elementare Grundbegriffe

Im englisch-amerikanischen Schrifttum findet man anstelle der im Deutschen üblichen Angaben zur Konzentration oft **ppm** (ponds per million) oder **ppb** (ponds per billion).

Was hat es damit auf sich?

$$1 \text{ ppm} = \frac{1 \text{ pond}}{1\,000\,000 \text{ ponds}}$$

$$\text{d.h. } \frac{1 \text{ mg}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = \frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ kg}}$$

1 L Wasser wiegt 1 kg, deshalb

$$\mathbf{1 \text{ ppm} \approx 1 \text{ mg/L}}$$

$$1 \text{ ppb} = \frac{1 \text{ pond}}{1\,000\,000\,000 \text{ ponds}}$$

(weil „one billion“ = 1 Milliarde)

$$\text{d.h. } \frac{1 \text{ mg}}{1\,000\,000\,000 \text{ mg}} = \frac{\frac{1 \text{ mg}}{1000}}{1\,000\,000 \text{ mg}} = \frac{1 \text{ }\mu\text{g}}{1 \text{ kg}}$$

deshalb

$$\mathbf{1 \text{ ppb} \approx 1 \text{ }\mu\text{g/L}}$$

# Welche Stoffe finden wir im Abwasser?

Gelöste und ungelöste (partikuläre) Stoffe

Absetzbare und nicht (oder nur schwer) absetzbare Stoffe

Abbaubare und nicht (oder nur schwer) biologisch abbaubare Stoffe

Organische und anorganische Stoffe

Polare und unpolare Stoffe

Toxische Stoffe

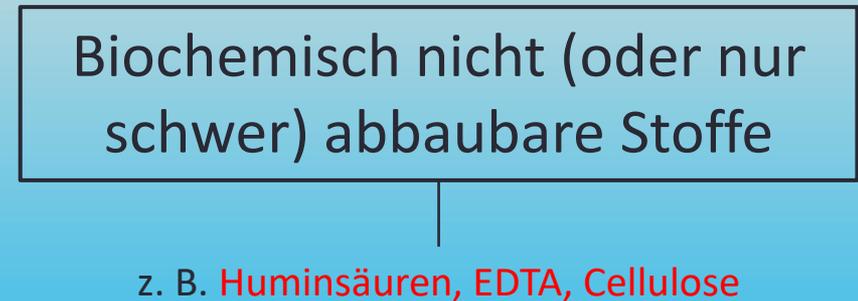
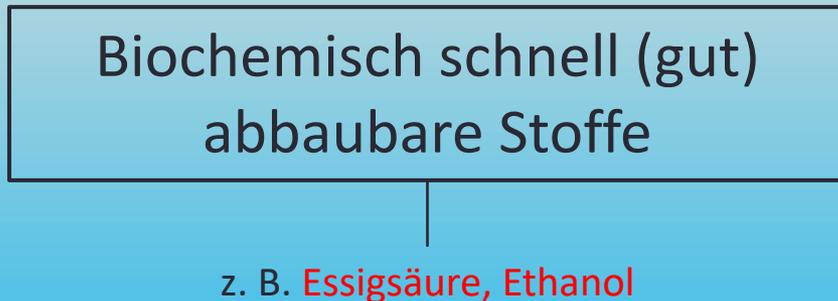
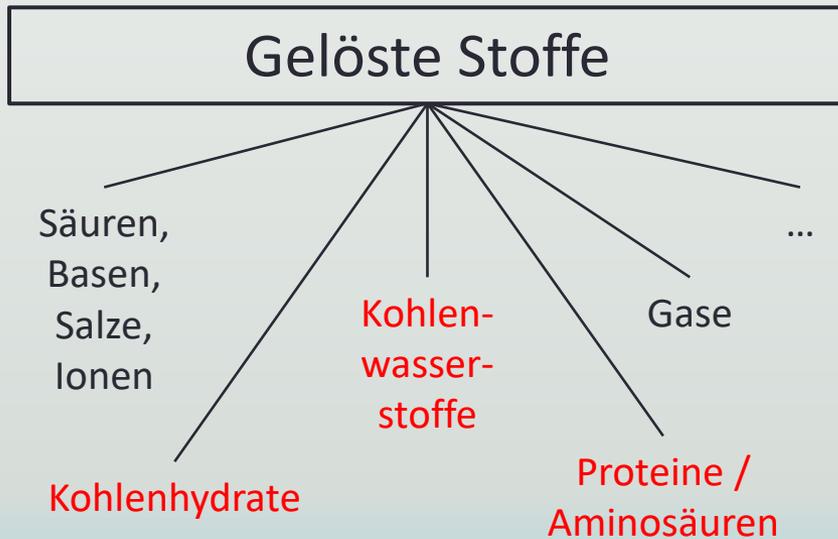
Stoffe mit Potenzial zur Hemmung des biologischen Abbaus

Nichtmetalle, Halbmetalle, Metalle / Schwermetalle

Nährstoffe (C, N, P)

und nicht zu vergessen: **Krankheitserreger!**

# Abwasserinhaltsstoffe in Hinblick auf ihre Eliminierbarkeit



<b>Organisch</b>	<b>Sowohl ... als auch ...</b>	<b>Anorganisch (frei von Kohlenstoff)</b>
------------------	--------------------------------	---

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

## Grundlegende Verfahren und Anlagen der Abwasserbehandlung

# Vorbemerkung

Auf Moodle habe ich unter den Materialien für die heutige Lehrveranstaltung eine Aufgabe eingestellt mit der Fragestellung

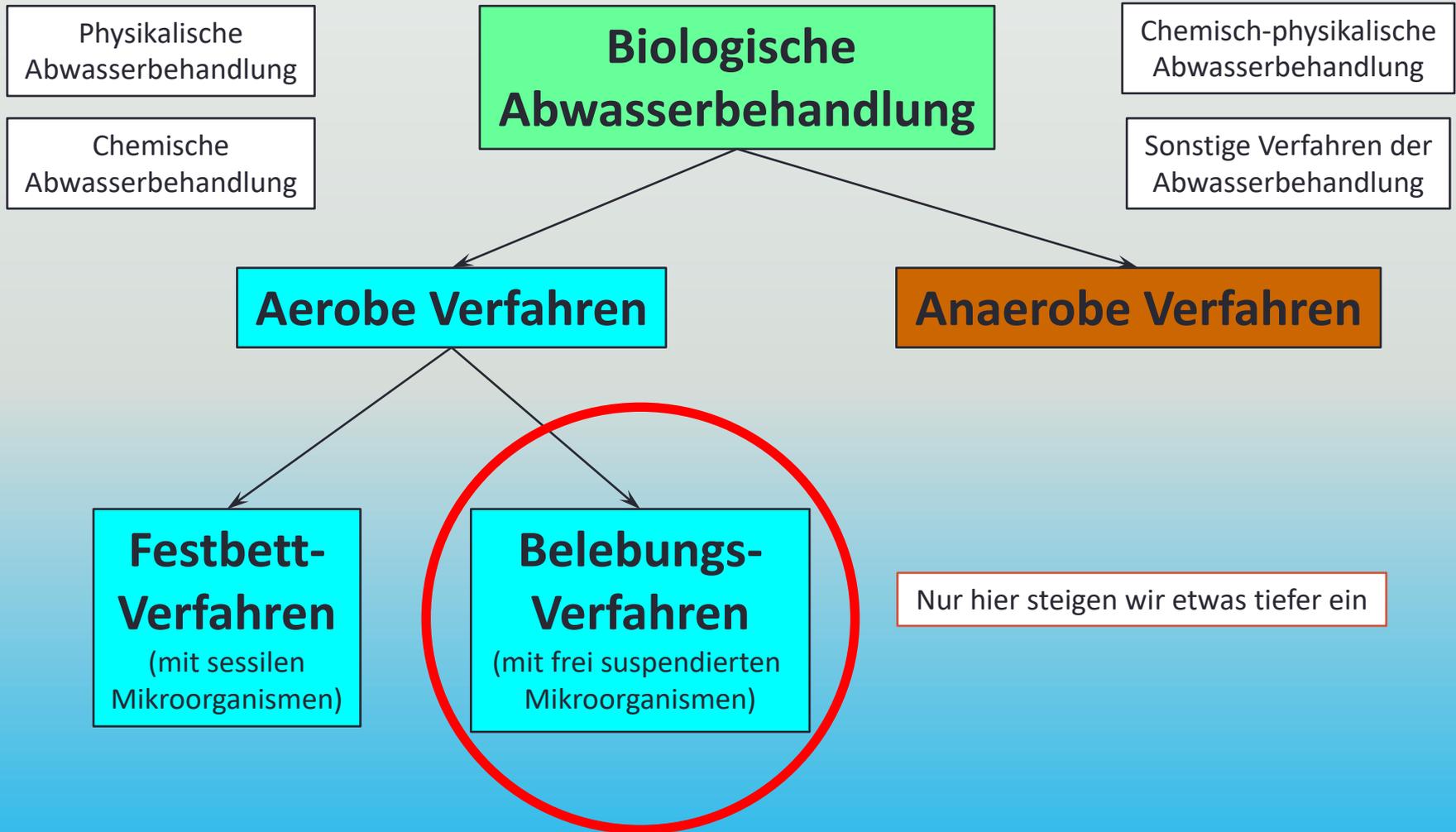
## ***Warum hat das nicht funktioniert?***

(1895 wurde in Groß-Lichterfelde – das damals noch nicht zu Berlin gehörte - eine Abwasserbehandlungsanlage nach den Vorschlägen von Dibdin und Schweder errichtet, die nicht die erwarteten Reinigungsleistungen zeigte. Der Aufbau der Anlage und die ablaufenden Prozesse gehen aus einer im Original wiedergegebenen Beschreibung der damaligen Zeit hervor.)

Wer mir die richtige Lösung dieser Aufgabe bis spätestens 17.10., 12.00 Uhr (kommd. Montag Mittag) per E-Mail zuschickt, ist von Kurzreferat bzw. Hausaufgabe befreit und erhält sofort 15 Punkte für den Fachteil Abwasser (= volle Punktzahl).

Mit Kenntnis der Zusammenhänge zum Belebungsverfahren, die ich Ihnen auf den nächsten Folien zeige, sollten Sie die Aufgabe lösen können.

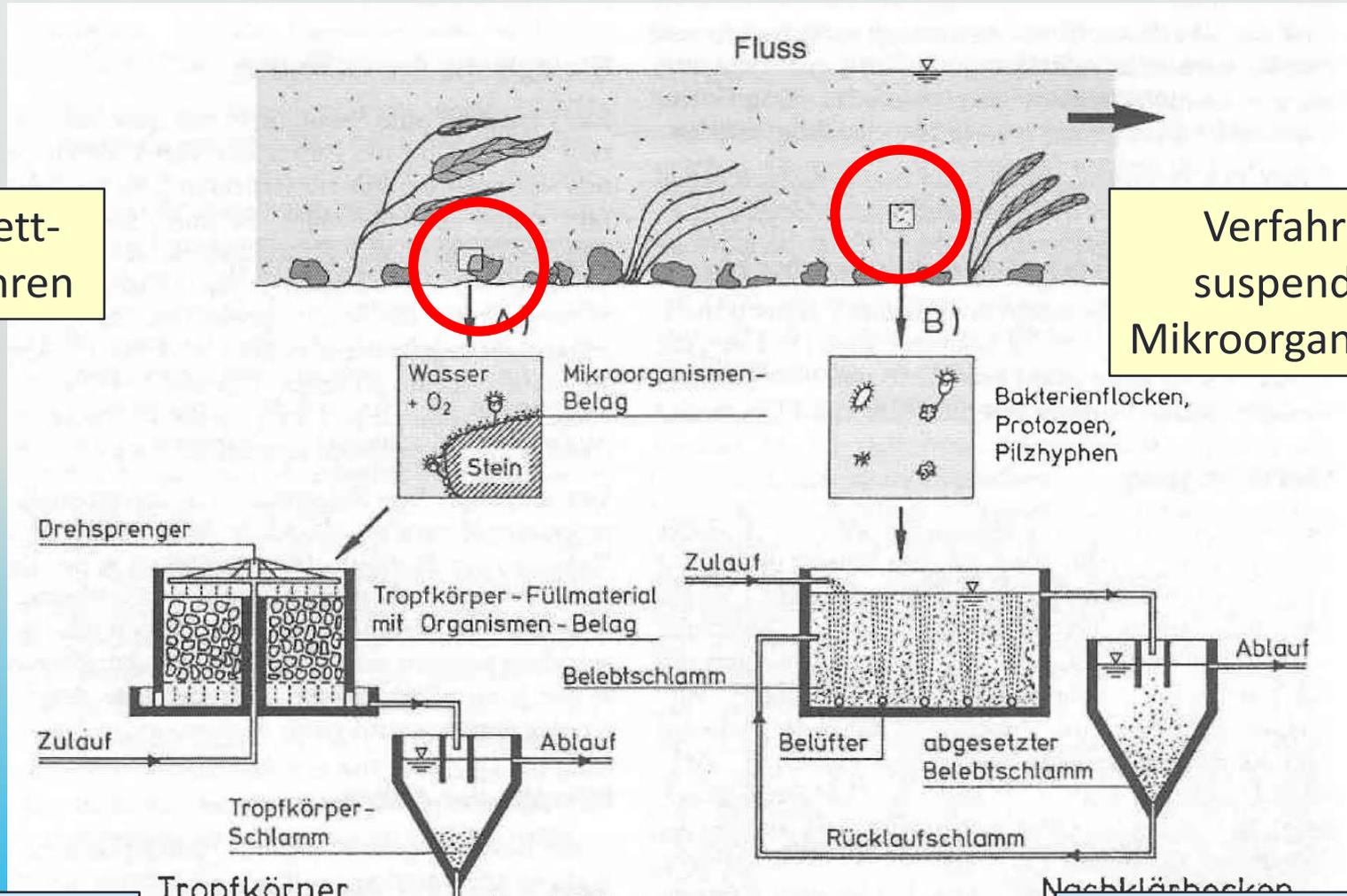
# Grobe Übersicht



# Künstliche biologische Abwasserreinigung

Festbett-  
verfahren

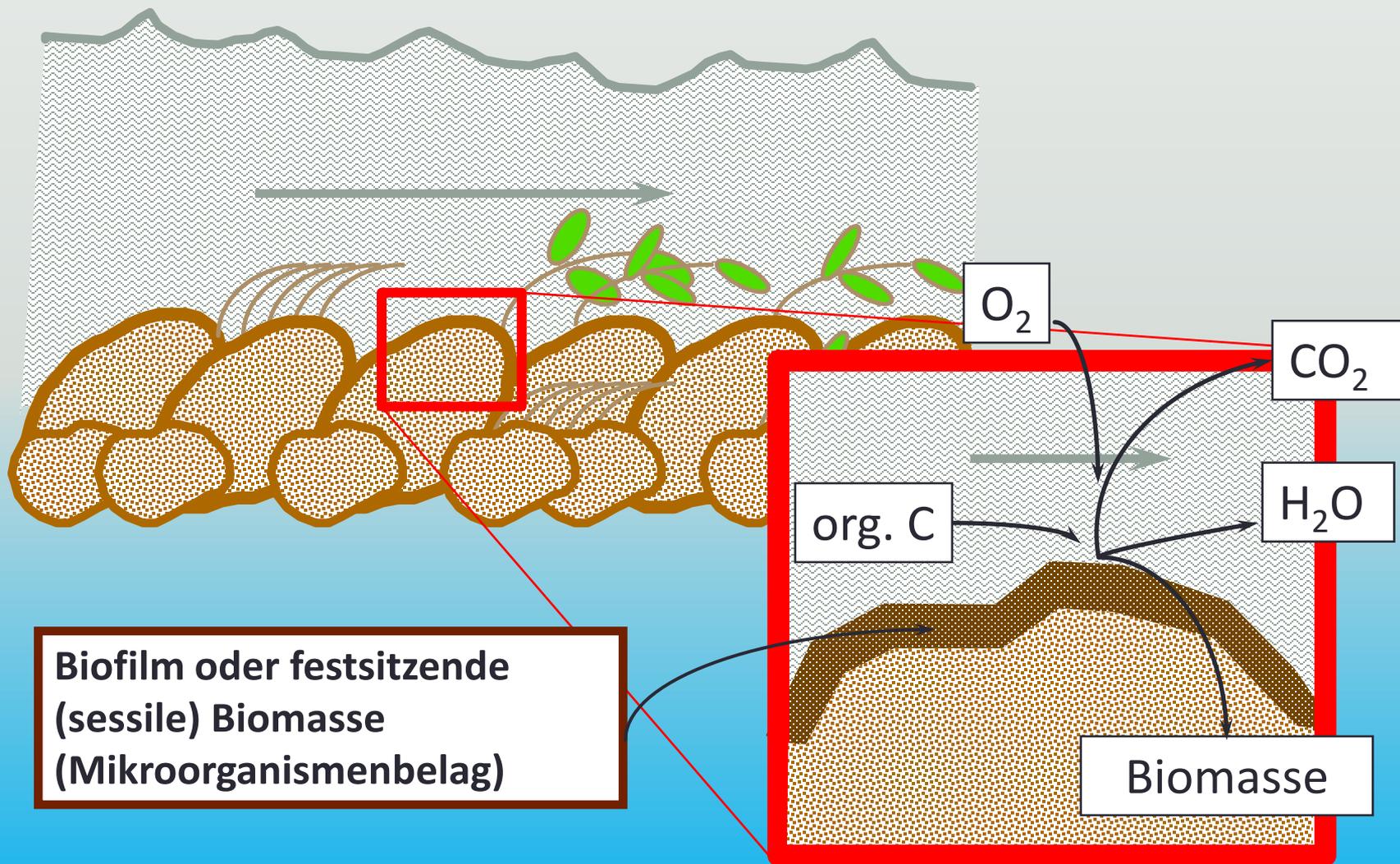
Verfahren mit  
suspendierten  
Mikroorganismen



Tropfkörper

Belebungsverfahren

# Selbstreinigung durch sessile Biomasse

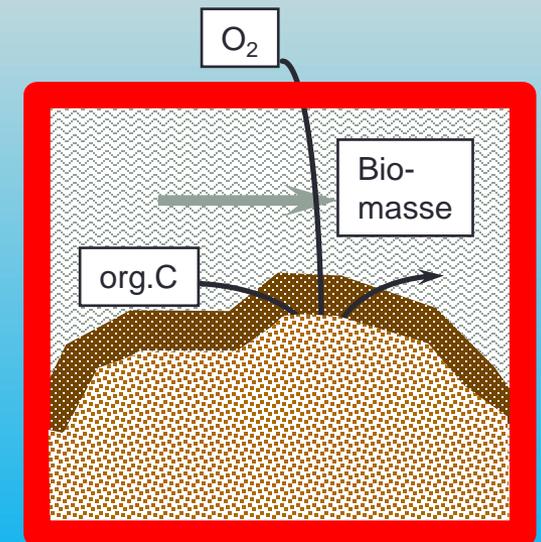


# Künstliche biologische Abwasserreinigung

- Durch **sessile** Biomasse: **Biofilm-/Tropfkörperverfahren**
  - als Biofilm auf einer Aufwuchsfläche
  - Bakterien werden nur vereinzelt erodiert
  - Abbau spezifisch bezogen auf Bewuchsfläche

Was ist erforderlich, um den Abbau unter künstlichen Bedingungen zu forcieren???

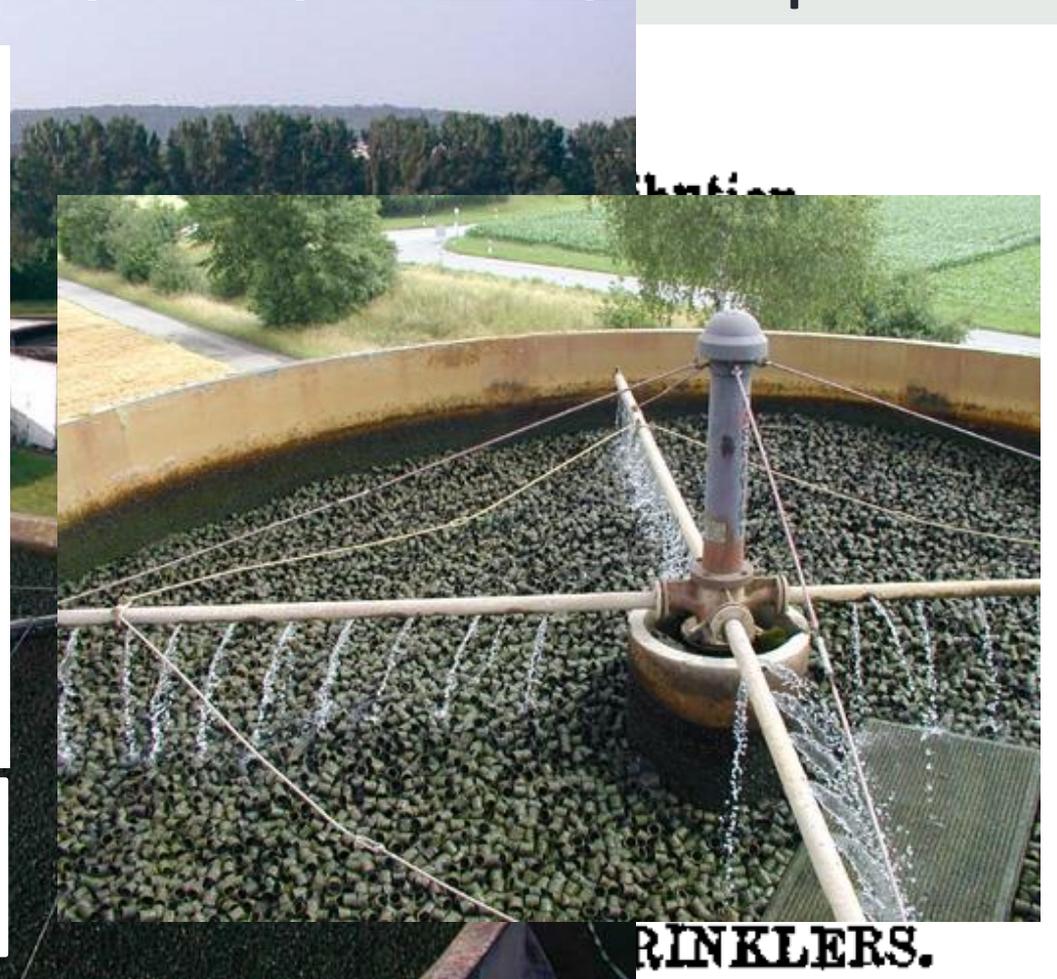
→ **spezifische Oberfläche erhöhen!**



# Festbettverfahren, Beispiel Tropfkörper

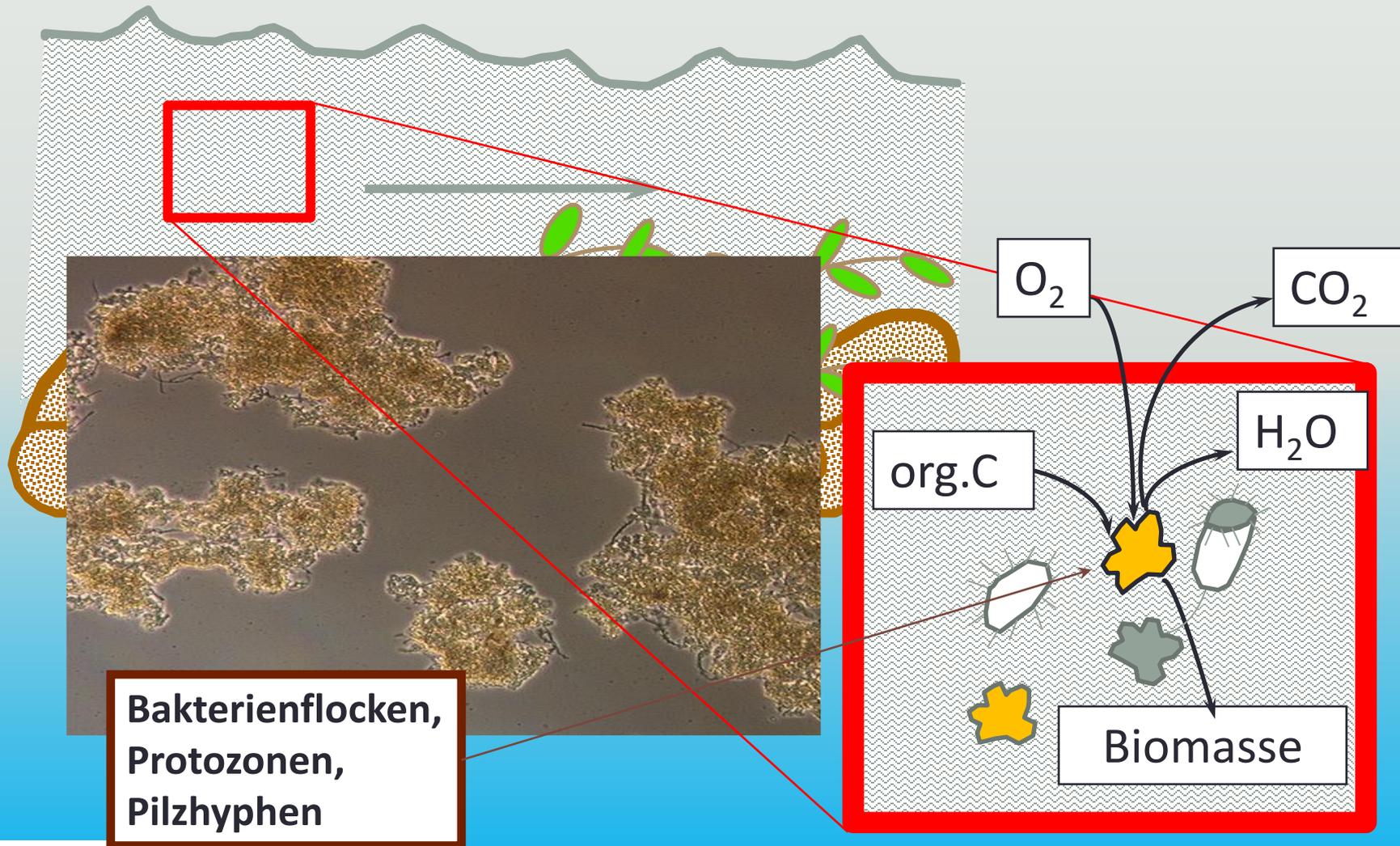


Verfügbare Oberfläche:  
 $150 \dots 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$



aus FOWLER, 1911 - An Introduction to Bacteriological and Enzyme Chemistry

# Selbstreinigung durch suspendierte Biomasse



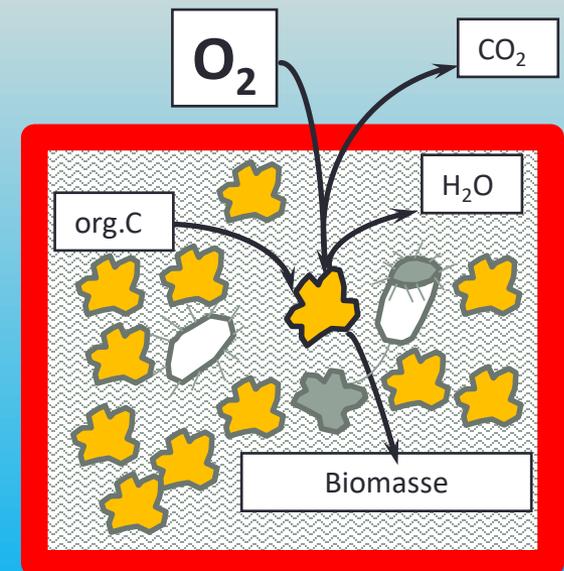
# Künstliche biologische Abwasserreinigung

- Durch **suspendierte** Biomasse: **Belebungsverfahren**
  - Mikroorganismen werden durch Turbulenz in Schwebelage gehalten
  - Schlammflocken 0,1 – 1 mm Durchmesser
  - Abbau spezifisch bezogen auf Biomasse

Was ist erforderlich, um den Abbau unter künstlichen Bedingungen zu forcieren???

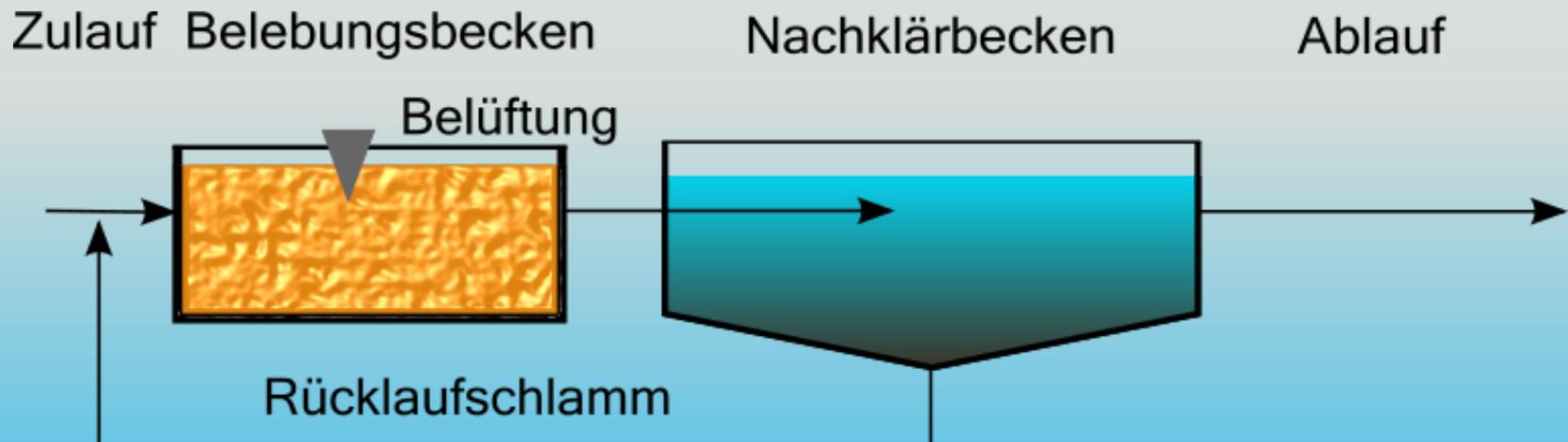
→ **Biomasse aufkonzentrieren!**

→ **Künstlich Belüften!**



# Belebungsverfahren

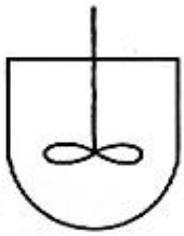
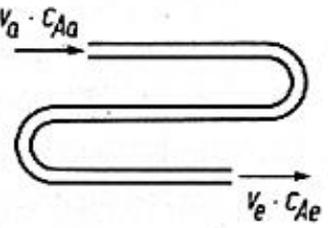
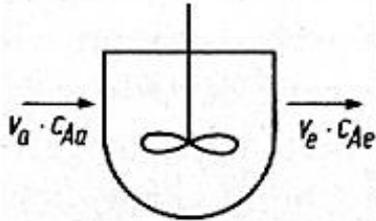
Als „Erfinder“ des Belebungsverfahrens (nach dem Englischen »*Activated Sludge Process*« auch als Belebtschlammverfahren bezeichnet,) gelten *Edward Arden* und *William Lockett*, die es erstmalig 1913 auf einer Kläranlage in Manchester eingeführt haben. Sie wurden inspiriert von *Gilbert Fowler* (University of Manchester).



aus <https://de.wikipedia.org/wiki/Belebtschlammverfahren>

# Grundtypen chemischer Reaktoren

[http://www.ernst-bratz.de/react\\_tech/reacteng1.html](http://www.ernst-bratz.de/react_tech/reacteng1.html)

Type	
Batch	
Continuous	a) TFR 
	b) CSTR 

Chargenweise beschickter Reaktor  
*Batch reactor*

Ideales Strömungsrrohr (Pfropfenströmung)  
*Plug-flow-reactor (PF)*

Ideal durchmischter Rührreaktor  
*Continuously stirred Tank reactor (CSTR)*

# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung

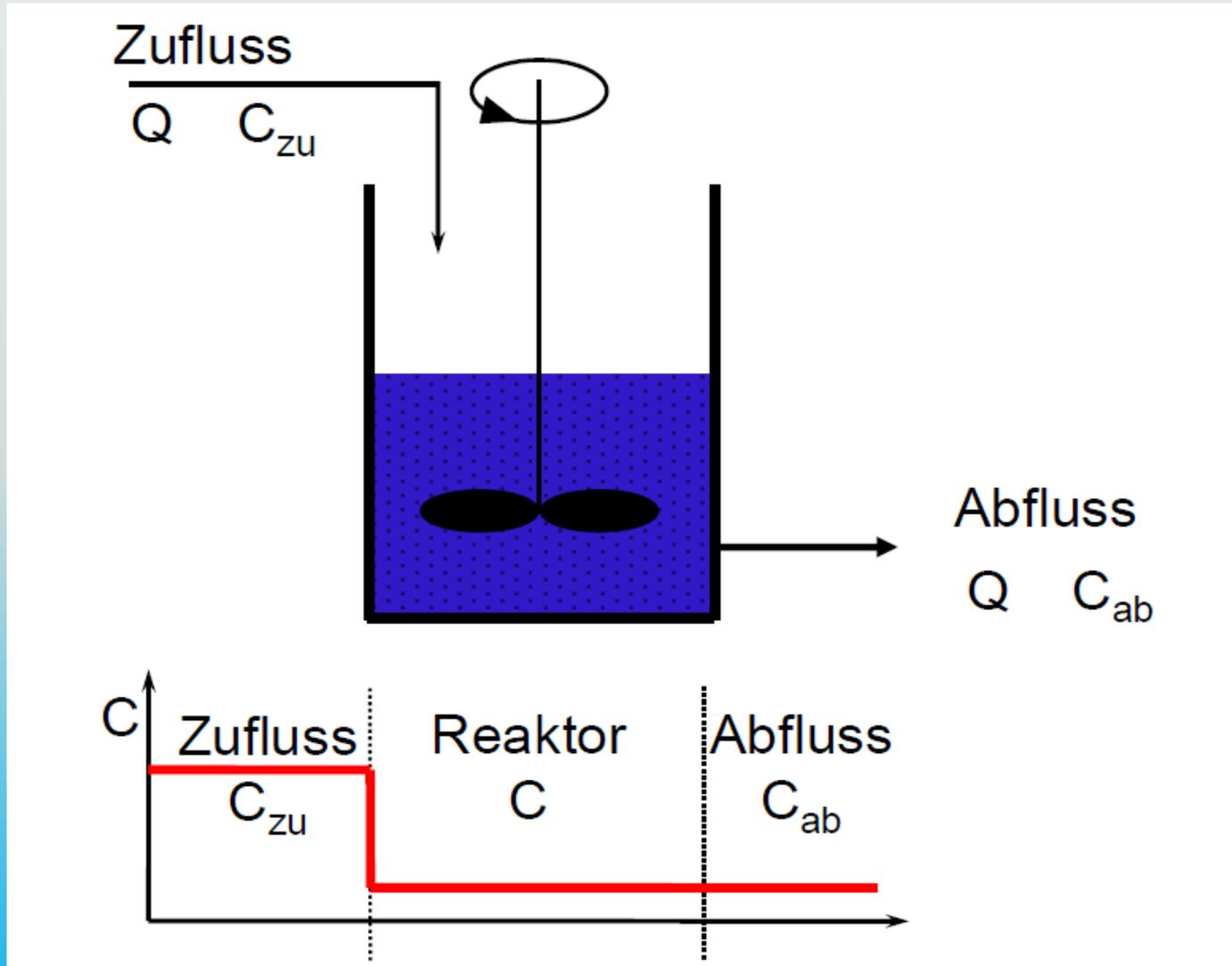
In idealen Reaktoren ablaufende Transport- und Durchmischungsprozesse lassen sich mathematisch exakt beschreiben.

Reale Reaktoren weichen in ihrem Verhalten von den idealen Reaktoren ab, sie können aber häufig durch ideale Reaktoren genügend genau abgebildet werden.

- Chargen-Reaktor (Batch-Reactor)
- Rührkessel (Completely Mixed Reactor CMR, Chemostat, Continuously Stirred Tank Reactor, CSTR)
- Röhrenreaktor (Plug Flow, PF)
- Sequencing Batch Reactor (SBR)

aus KAINZ & GRUBER, 2011

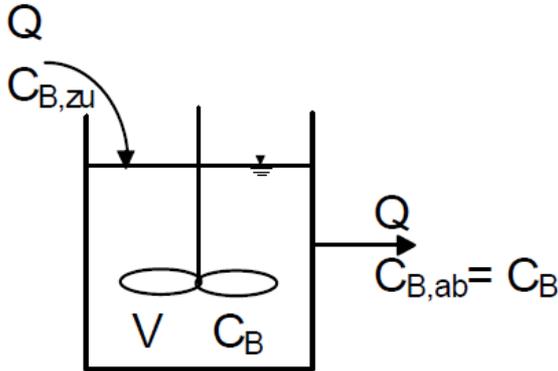
# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung



Batch- oder  
Chargen-  
Reaktor

aus KAINZ & GRUBER, 2011

# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung



- konstantes, intensiv durchmischeses Reaktorvolumen,
- keine Gradienten von Zustandsgrößen
- Zu- und Abfluss sind gleich
- keine Konzentrationsgradienten im Reaktor
- die Reaktorkonzentration  $C_B$  gleich der Ablaufkonzentration  $C_{B,ab}$

$$\frac{dM_B}{dt} = \frac{dV \cdot C_B}{dt} + V \frac{dC_B}{dt} = Q \cdot C_{B,zu} - Q \cdot C_B + r_B \cdot V$$

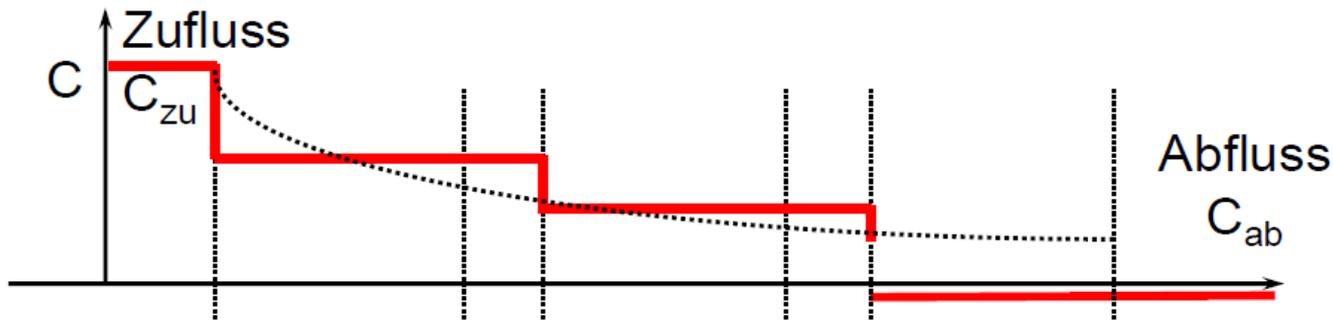
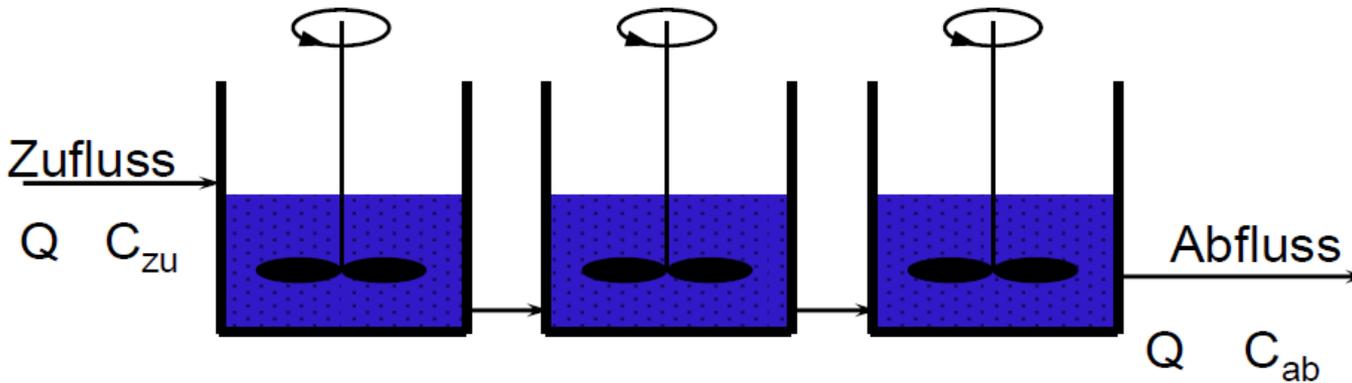
Im stationären Zustand ( $dC_B/dt = 0$ ) vereinfacht sich die Gleichung zu:

$$Q \cdot (C_{B,zu} - C_B) = -r_B \cdot V$$

**Ideal durchmischer Rührreaktor (Chemostat, Completely Stirred Tank Reactor, CSTR)**

aus KAINZ & GRUBER, 2011

# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung



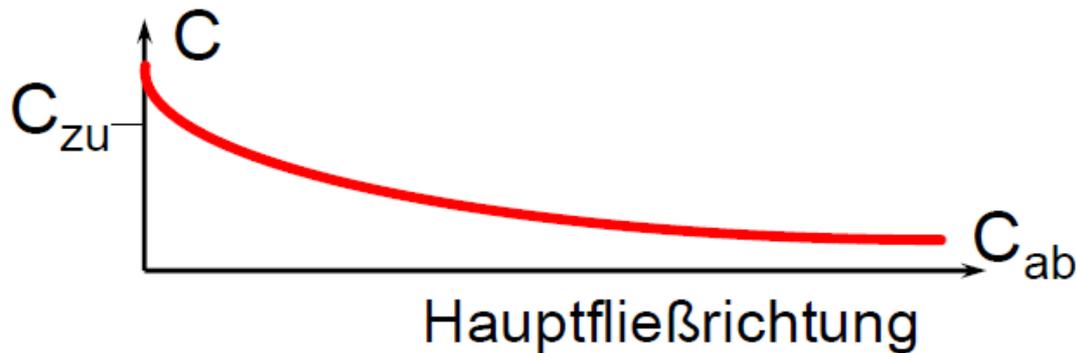
## Rührkessel- kaskade

aus KAINZ & GRUBER, 2011

# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung

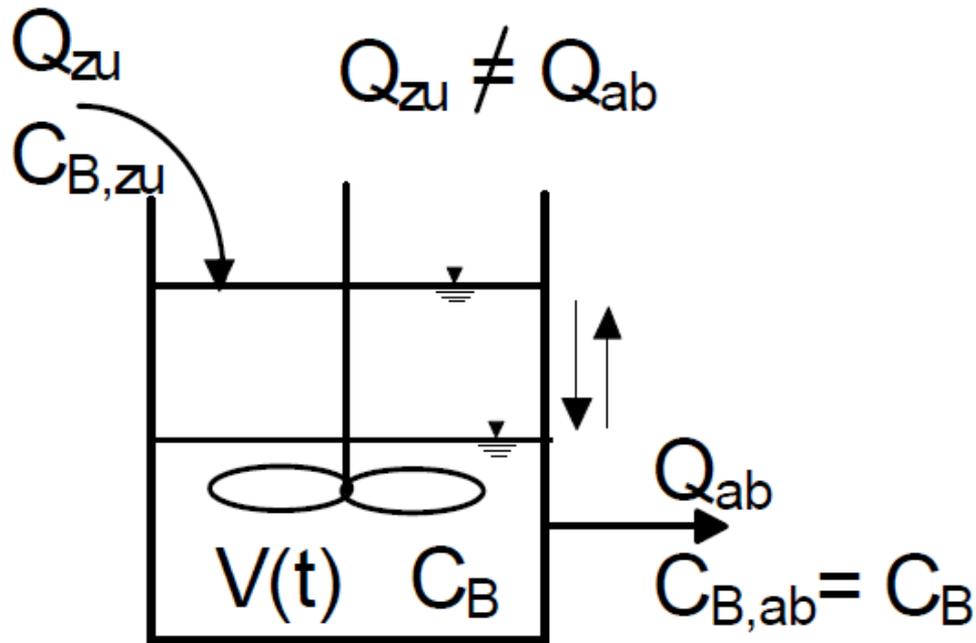


Röhren-  
reaktor  
(PF)



aus KAINZ & GRUBER, 2011

# Reaktortypen in der Abwasserbehandlung



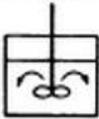
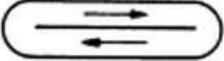
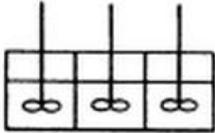
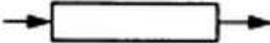
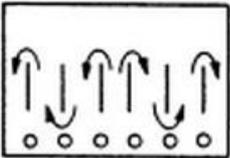
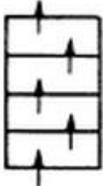
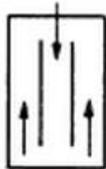
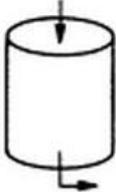
- variables Volumen
- zyklisch variable Zuflüsse und Abflüsse
- homogene Durchmischung
- keine Gradienten von Zustandsgrößen

## Sequencing Batch Reactor (SBR)

aus KAINZ & GRUBER, 2011

# Sessile und suspendierte Mikroorganismen

aus KUNZ, 1992

	Rührkessel	Rührkesselkaskade	Rohrreaktor
Flachbauweise submers	<p>Idealer Mischungsreaktor</p>  <p>Umlaufbecken bzgl. Substrat</p> 	<p>Aneinanderreihung idealer Mischungsreaktoren</p> 	<p>Pfropfenströmung Längsbecken</p>  <p>Umlaufbecken bzgl. O<sub>2</sub>-Gehalt</p> 
Hochbauweise submers	<p>Blasensäulenreaktor</p> 	<p>Hubstrahlreaktor</p> 	<p>Schlaufenreaktor</p> 
Festbett-systeme	<p>Spültropfkörper</p>  <p>Scheibentauchkörper</p> 	<p>Scheibentauchkörper in Reihe geschaltet</p> 	<p>Tropfkörper zur Schönung</p> 

Frei **suspendierte**  
Bakterien  
(Bakterienflocke)  
**Belebtschlammverfahren**

**Sessile** Bakterien  
(Bakterienfilm)  
**Biofilmverfahren**

# Einwohnerwerte für häusliches Abwasser

Parameter	Einwohner-spezifische Fracht	Literaturquelle
Abwasseranfall (incl. Fremdwasser)	250 l/(E*d) bzw. 91 m <sup>3</sup> /(E*a)	HABERKERN et al., 2008
BSB <sub>5</sub>	60 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131, 2000
CSB	120 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131, 2000
TOC	40 g/(E*d)	LONDONG, 2009
TS	70 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131, 2000
TKN	11 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131, 2000
NH <sub>4</sub> -N	8 g/(E*d)	HABERKERN et al., 2008
P	1,8 g/(E*d)	HABERKERN et al., 2008

In der neuen Version DWA-A 131, 2016 wird BSB nicht mehr gesondert aufgeführt.

Einwohnerwerte normal verschmutzten häuslichen Abwassers („Faustwerte“)

# Nährstoffverhältnisse und Konsequenzen

Für optimales Wachstum benötigt Belebtschlamm ein Verhältnis  $BSB_5 : \text{TKN} : \text{P}$  von etwa **100 : 5 : 1**. Anders ausgedrückt: Beim Aufbau neuer Biomasse werden auf 100 Teile von C 5 Massenäquivalente N und 1 Massenäquivalent P verbraucht.

$$\text{Nährstoffverhältnis } N_{ges.} : BSB_5 = \frac{\frac{11 \text{ g } N_{ges.}}{E * d}}{\frac{60 \text{ g } BSB_5}{E * d}} = 18\%$$

$$\text{Nährstoffverhältnis } P_{ges.} : BSB_5 = \frac{\frac{1,8 \text{ g } P_{ges.}}{E * d}}{\frac{60 \text{ g } BSB_5}{E * d}} = 3\%$$

Im normal verschmutzten häuslichen Abwasser liegt das Verhältnis aber, siehe oben, bei etwa **100 : 18 : 3**.

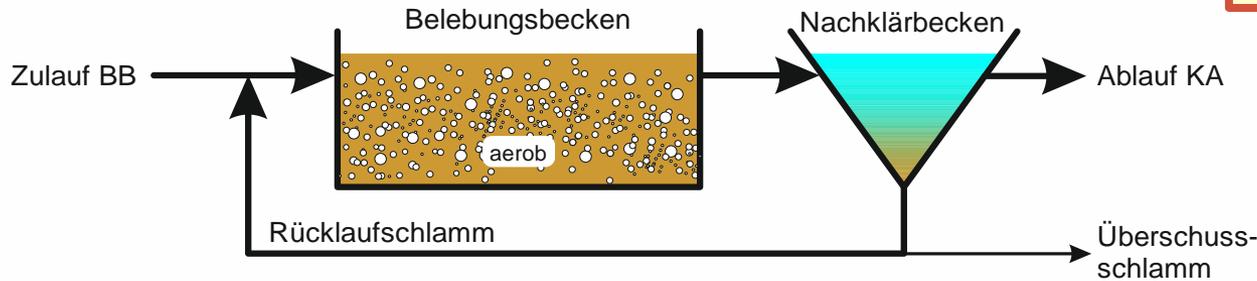
Ergo: Sanitärabwasser weist einen etwa dreifachen Stickstoff- und Phosphorüberschuss auf!

? Welche Konsequenz ist daraus zu ziehen???

Um die Gewässer vor Überdüngung zu schützen, sind Nitrifikation/Denitrifikation und Phosphateliminierung bei der Behandlung häuslicher Abwässer erforderlich!

# Hist. Entwicklung des Belebungsverfahrens

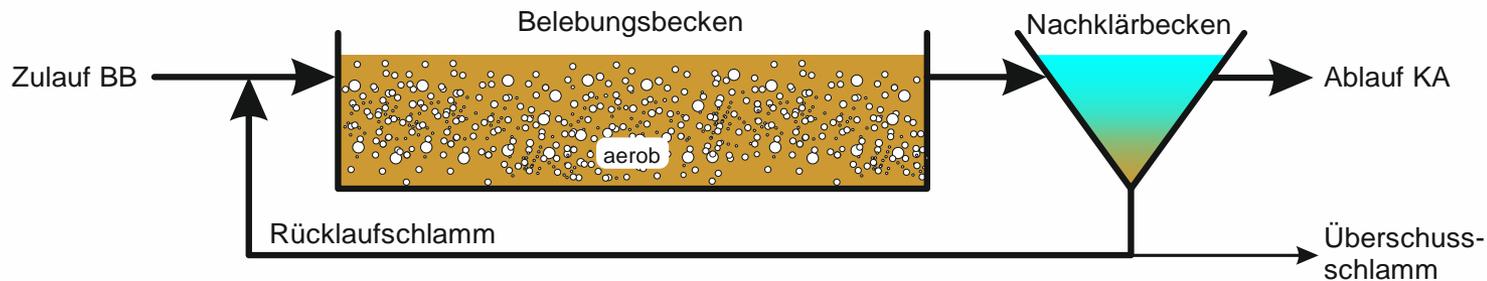
## Belebungsanlage (Ausgangsdesign)



Eliminierung Organika  
(Kohlenstoffverbindungen.)

Breitenanwendung in D:  
Mitte der 70'er Jahre

## Belebungsanlage mit Nitrifikation

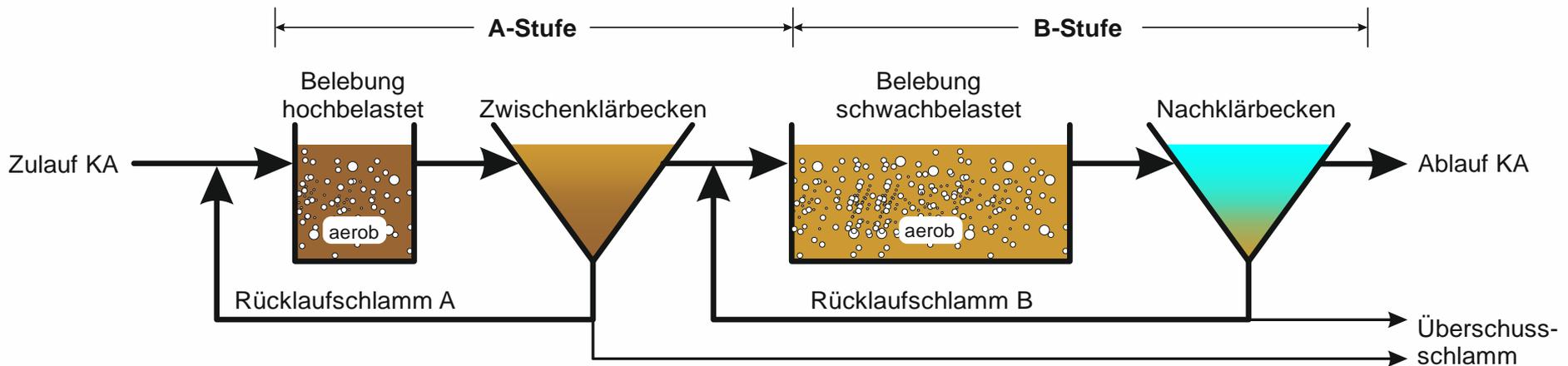


Wie vor  
+ Nitrifikation

Breitenanwendung in D:  
Mitte der 80'er Jahre

# Hist. Entwicklung des Belebungsverfahrens

## Adsorptions-Belebungsanlage (A/B-Anlage)

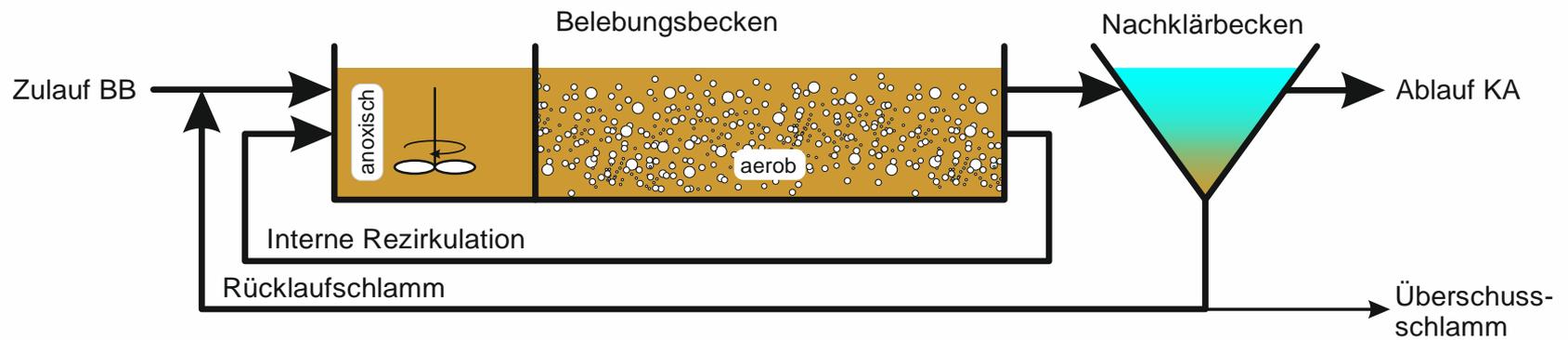


Wie Ausgangsform der Belebungsanlage  
+ teilweise Eliminierung von N und P

Anwendung in D:  
Anfang bis Mitte der 80'er Jahre

# Hist. Entwicklung des Belebungsverfahrens

## Vorgeschaltete Denitrifikation

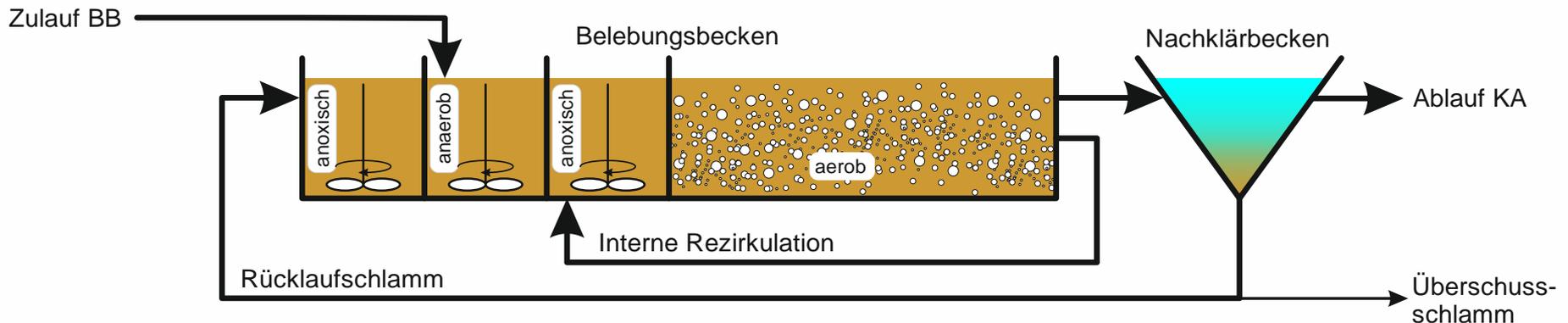


Wie Ausgangsform der Belebungsanlage  
+ Eliminierung von N (ca. 75%)

Breitenanwendung in D:  
Seit Anfang der 90'er Jahre

# Hist. Entwicklung des Belebungsverfahrens

## Vorgeschaltete Denitrifikation mit BioP (biolog. P-Elimination )



Wie Vorgeschaltete Denitrifikation  
+ Eliminierung von P (je nach behördl. Anforderung)

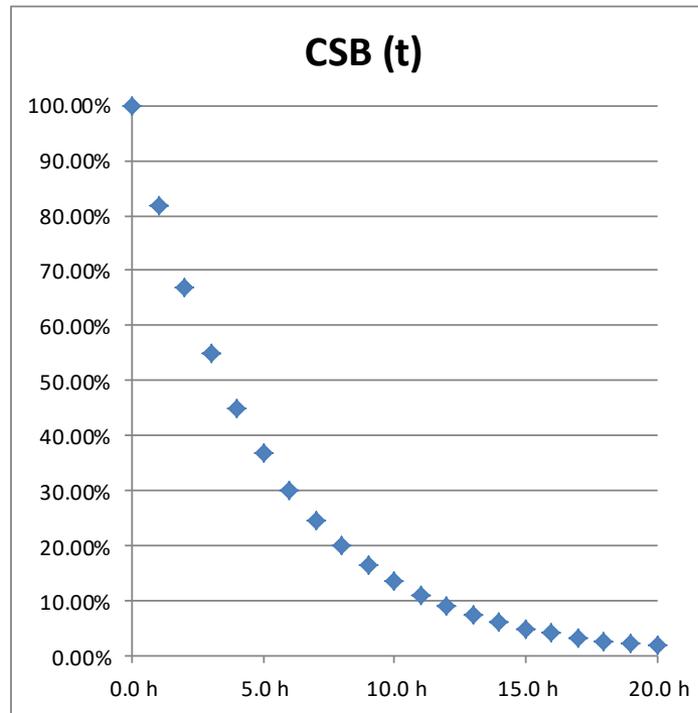
Breitenanwendung in D:  
Seit Ende der 90'er Jahre

# Theorie des CSB-Abbaus in Belebungsanlagen

Anfangs-CSB	$CSB_0$	1
Abbaukoeffizient	$k_1$	0.2

Zeit t	CSB (t)
0.0 h	100.00%
1.0 h	81.87%
2.0 h	67.03%
3.0 h	54.88%
4.0 h	44.93%
5.0 h	36.79%
6.0 h	30.12%
7.0 h	24.66%
8.0 h	20.19%
9.0 h	16.53%
10.0 h	13.53%
11.0 h	11.08%
12.0 h	9.07%
13.0 h	7.43%
14.0 h	6.08%
15.0 h	4.98%
16.0 h	4.08%
17.0 h	3.34%
18.0 h	2.73%
19.0 h	2.24%
20.0 h	1.83%

$$CSB_t = CSB_0 * e^{-k_1 * t}$$

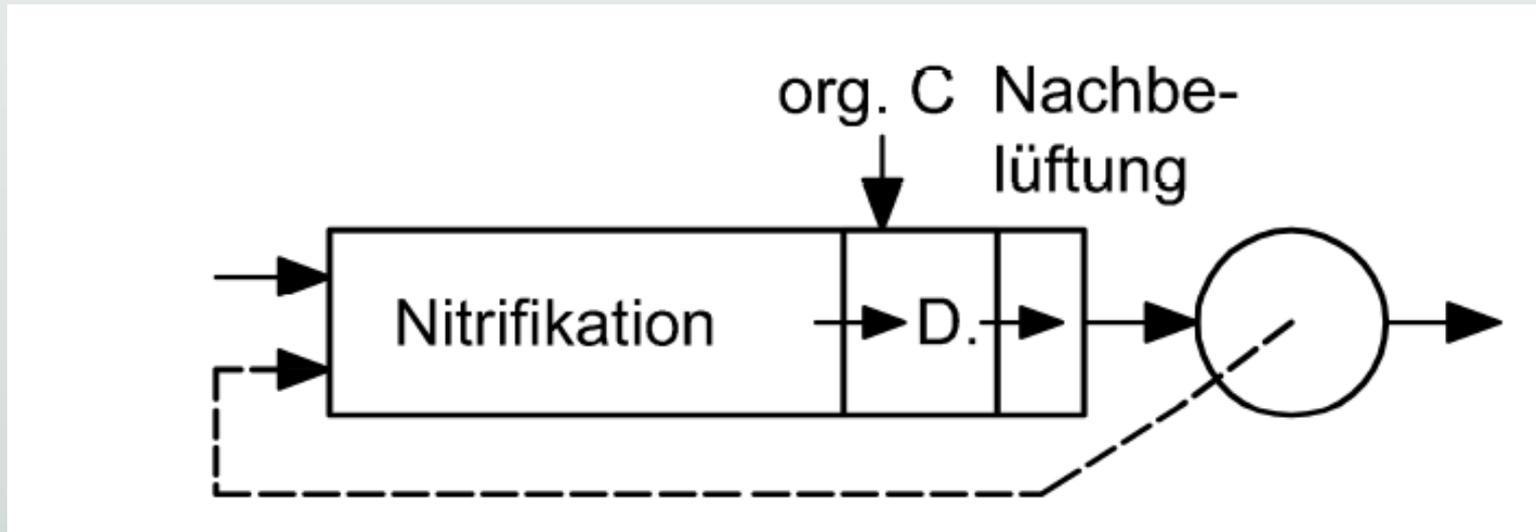


Was sagt uns diese Abbaukurve???

Je länger die Aufenthaltszeit des Abwassers in der biologischen Stufe ist, desto mehr CSB wird eliminiert. Allerdings werden die Eliminierungsraten mit fortlaufender Behandlungsdauer immer kleiner.

Eine 100%ige CSB-Eliminierung würde eine unendliche Behandlungsdauer erfordern. Üblich sind daher 8...12 h.

# Abwasserbehandlungsverfahren



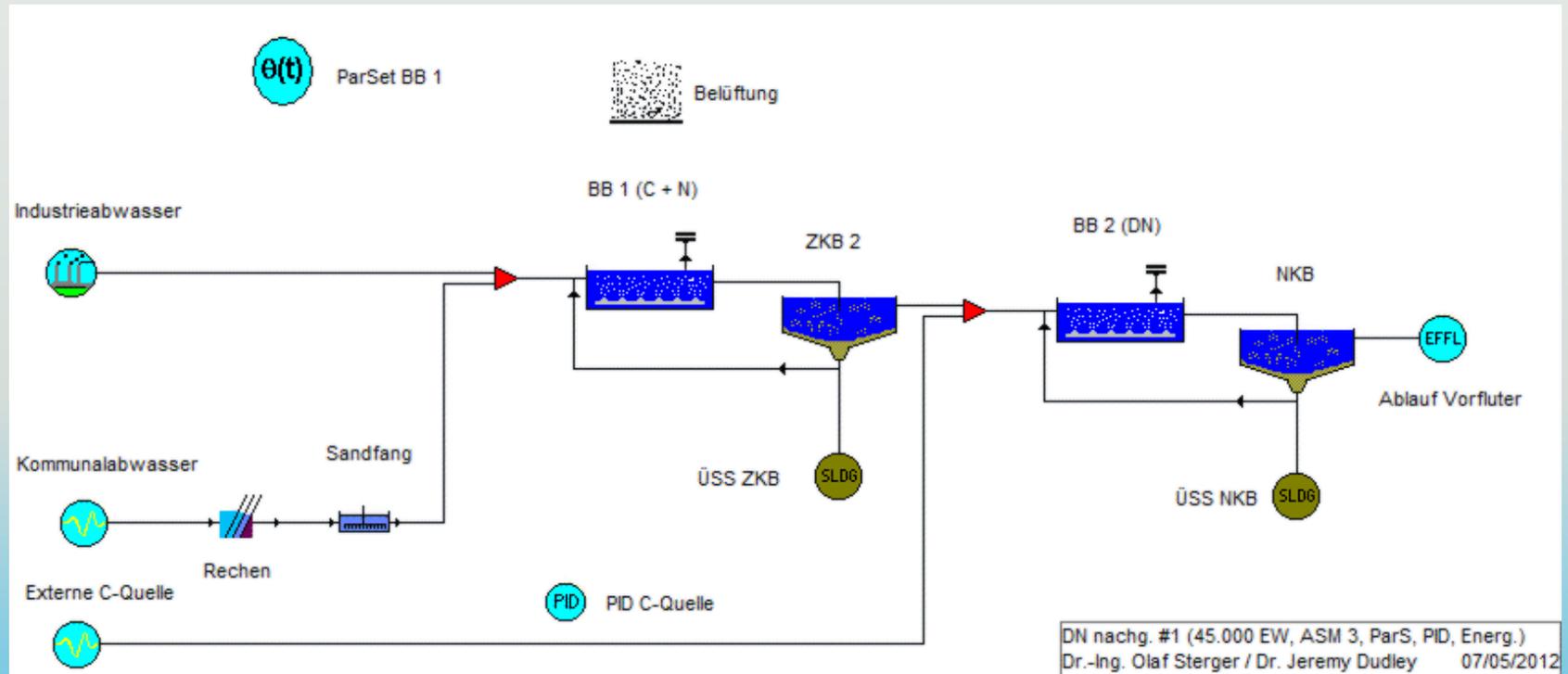
## Nachgeschaltete Denitrifikation

Skizze aus DWA-A 131, 2016

Mit der nachgeschalteten Denitrifikation begann die Nährstoffeliminierung. Das Verfahren wird heute nur noch angewandt, wenn das Abwasser ein sehr geringes C/N-Verhältnis aufweist, so dass die Zugabe von externem Kohlenstoff unumgänglich ist. Das Denitrifikationsbecken ist dem Nitrifikationsbecken nachgeschaltet; sicherheitshalber folgt oft ein Nachbelüftungsbecken.

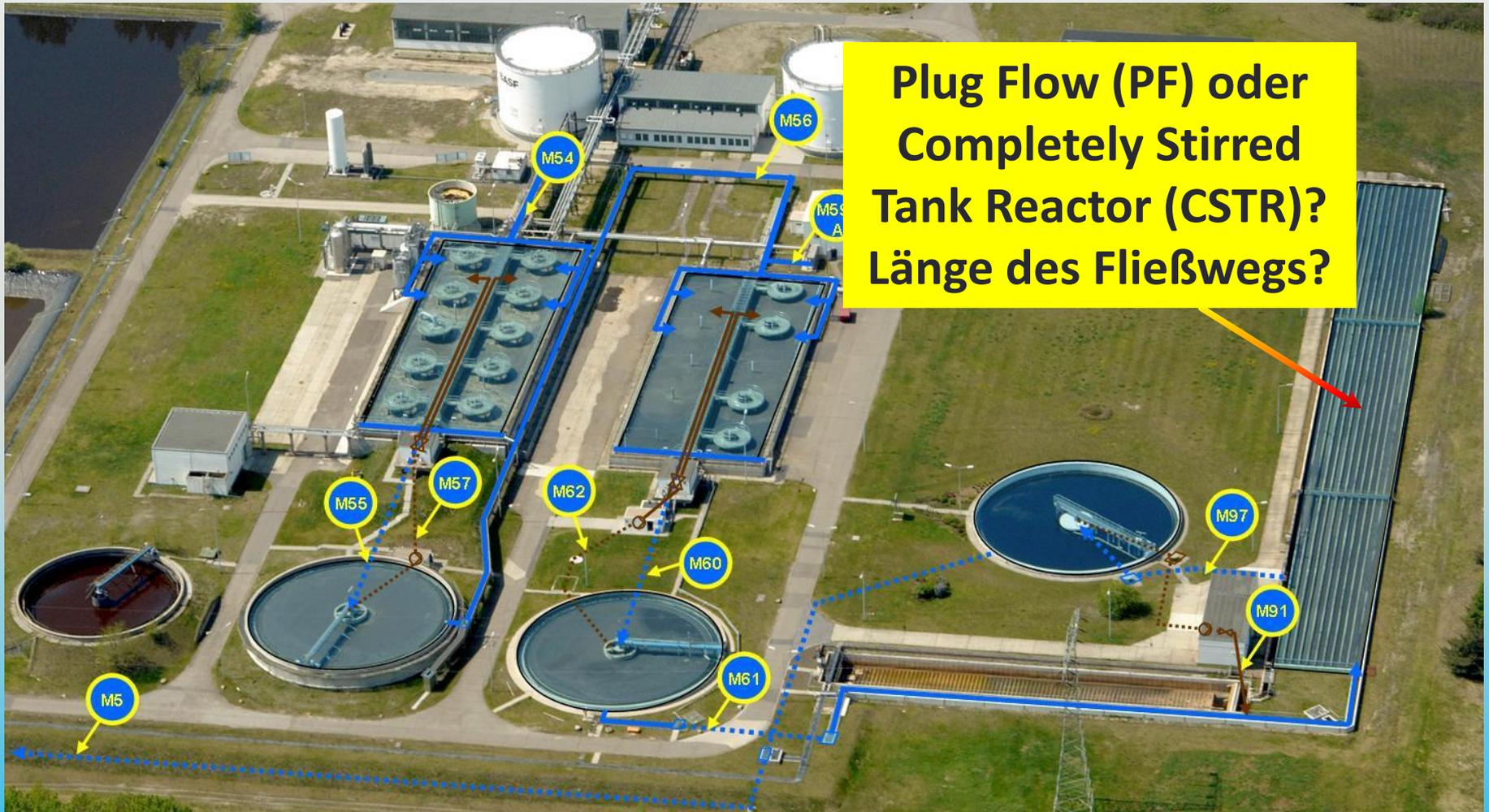
unter Verwendung von DWA-A 131, 2016

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell für nachgeschaltete Denitrifikation (BASF Schwarzheide)

# Abwasserbehandlungsverfahren



Luftbild KA BASF Schwarzheide GmbH, Stand 2010

# Abwasserbehandlungsverfahren

	Becken 1/2	Becken 3/4	Gerinne- reaktor	Becken 5/6	ZKB	NKB 1	NKB 3
<b>Geometrie</b>	Rechteckbecken			Rechteck- becken	Rundbecken		
<b>Länge</b>	60,00 m	60,00 m	1.836 m	60 m			
<b>Breite</b>	12,00 m	12,00 m	1,00 m	10,00 m			
<b>Fläche</b>	720 m <sup>2</sup>	720 m <sup>2</sup>	1.836 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>	800 m <sup>2</sup>
<b>Tiefe</b>	4,35 m	4,35 m	1,57 m	3,50 m	2,75 m	2,75 m	4,40 m
<b>Durchmesser</b>					32,00 m	32,00 m	32,00 m
<b>Verhältnis T : D</b>					0,09	0,09	0,14
<b>Volumen gesamt</b>	3.132 m <sup>3</sup>	3.132 m <sup>3</sup>	2.883 m <sup>3</sup>	2.100 m <sup>3</sup>	2.200 m <sup>3</sup>	2.200 m <sup>3</sup>	3.520 m <sup>3</sup>
<b>V<sub>BB</sub>, davon</b>	6.264 m <sup>3</sup>	9.147 m <sup>3</sup>		4.200 m <sup>3</sup>			
<b>V<sub>N</sub></b>		6.264 m <sup>3</sup>					
<b>V<sub>D</sub></b>			2.883 m <sup>3</sup>				
<b>Zulaufhöhe</b>					1,40 m	1,40 m	2,20 m
<b>TS<sub>BB</sub></b>	20...30 g/l	8...10 g/l	4...6 g/l	ist zu ermitteln!			
<b>O<sub>2</sub>-Gehalt</b>	2,0 mg/l	1,5 mg/l	0,0 mg/l				
<b>RLS</b>					2 x 180 m <sup>3</sup> /h	2 x 180 m <sup>3</sup> /h	300 m <sup>3</sup> /h
<b>ÜSS</b>					10 h x 11 m <sup>3</sup> /h	8 h x 11 m <sup>3</sup> /h	6 h x 11 m <sup>3</sup> /h
<b>k<sub>La</sub>-Wert</b>	6 ... 21	7 ... 15	0	ist zu ermitteln!			
<b>max. O<sub>2</sub>-Eintrag</b>	490 kg/h	300 kg/h					
		<b>V<sub>D</sub>/V<sub>BB</sub></b>	<b>0,32</b>				

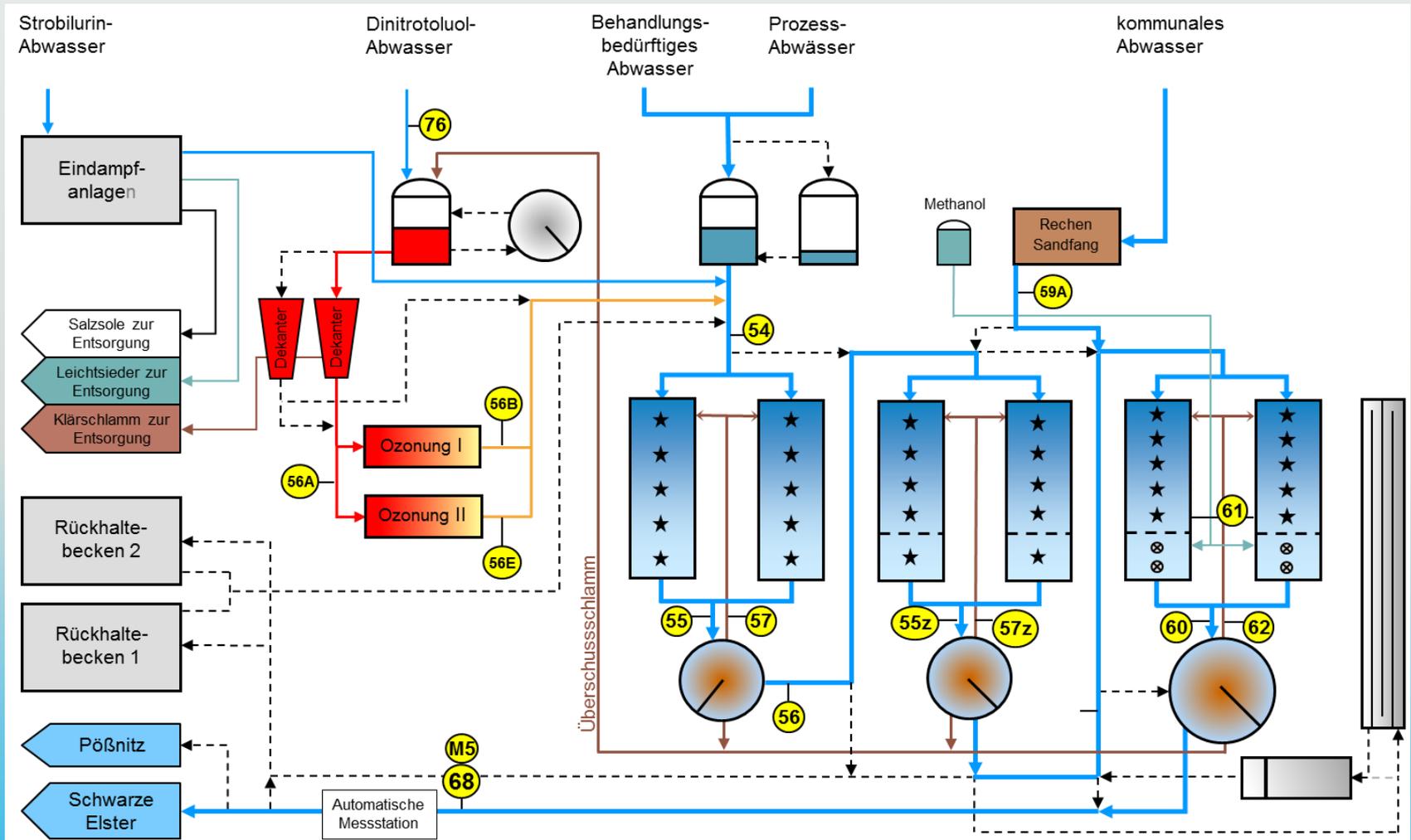
Fragestellung für  
STOAT-Simulation  
2010:

Kann der vorh.  
Gerinnereaktor  
durch ein BB 5/6  
ersetzt werden?

Und wenn ja, wie  
ist das Volumen  
des neuen BB 5/6  
zwischen N und  
DN aufzuteilen?

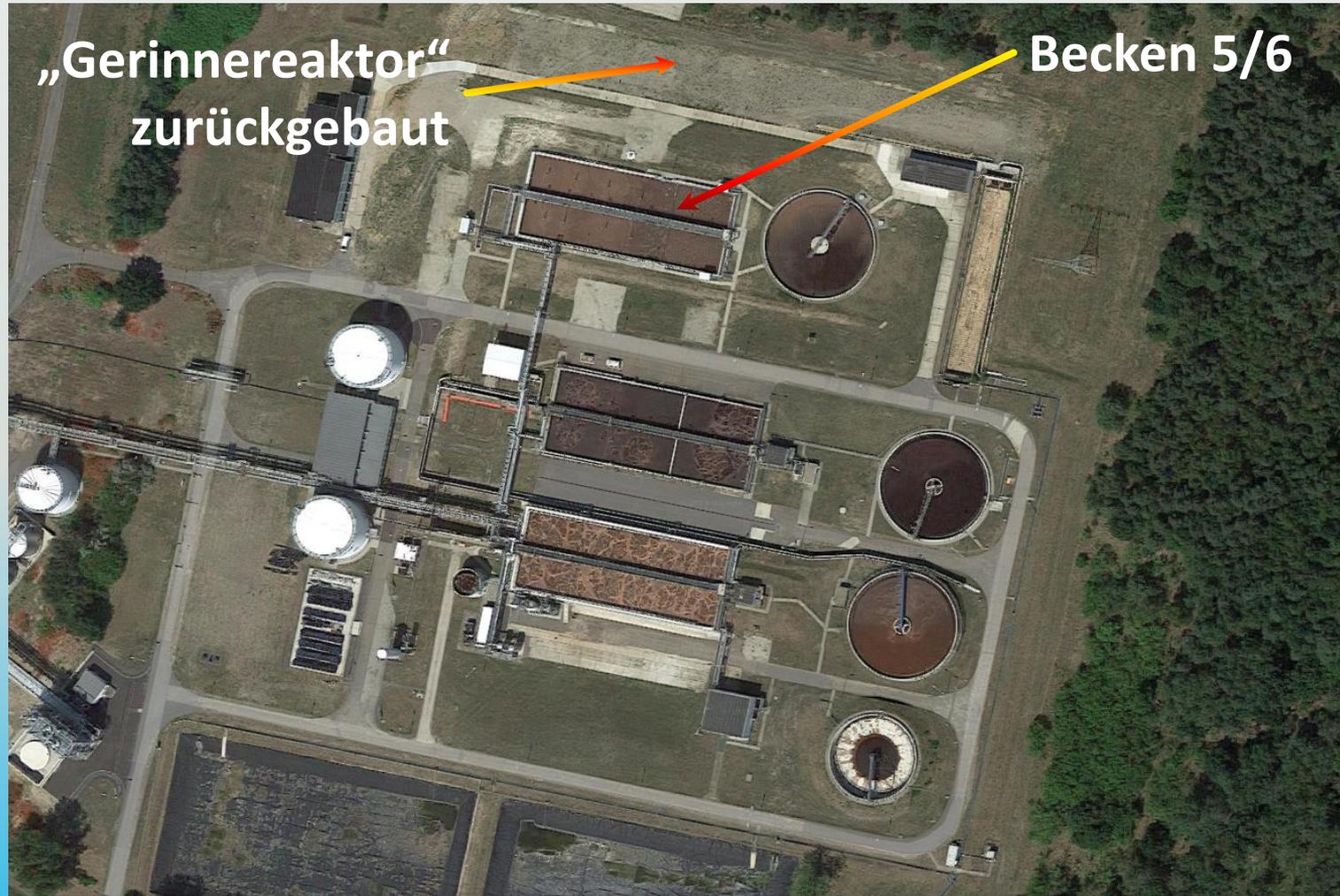
KA BASF Schwarzheide GmbH, Beckenvolumina etc.

# Abwasserbehandlungsverfahren



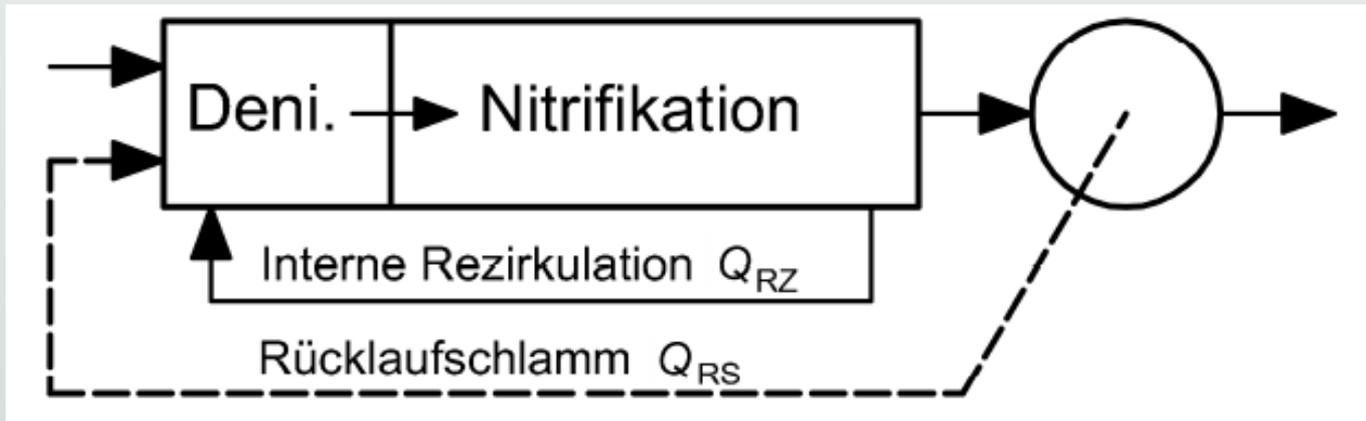
## Behandlungsstufen KA BASF Schwarzheide GmbH, Stand 2014

# Abwasserbehandlungsverfahren



KA BASF Schwarzheide GmbH, Stand 2021-10-03 (Google Maps)

# Abwasserbehandlungsverfahren



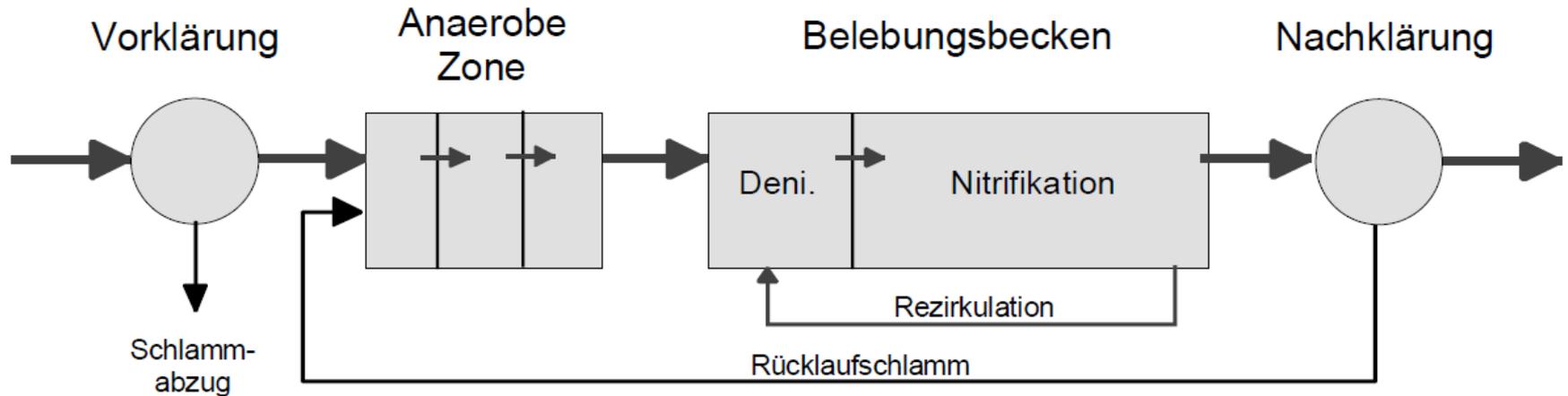
## Vorgeschaltete Denitrifikation (weltweit häufigster KA-Typ)

Skizze aus DWA-A 131, 2016

Abwasser, Rücklaufschlamm und interne Rezirkulation werden im Denitrifikationsbecken vermischt. Sowohl Denitrifikationsbecken als auch Nitrifikationsbecken können als Kaskaden ausgebildet sein. Zur Erhöhung der betrieblichen Flexibilität können in Fließrichtung gesehen die letzten Teile des Denitrifikationsbeckens auch belüftbar sein. Die interne Rezirkulation ist auf das notwendige Maß zu beschränken, um die Beeinträchtigung der Denitrifikation durch hohe Frachten an gelöstem Sauerstoff zu minimieren.

aus DWA-A 131, 2016

# Abwasserbehandlungsverfahren

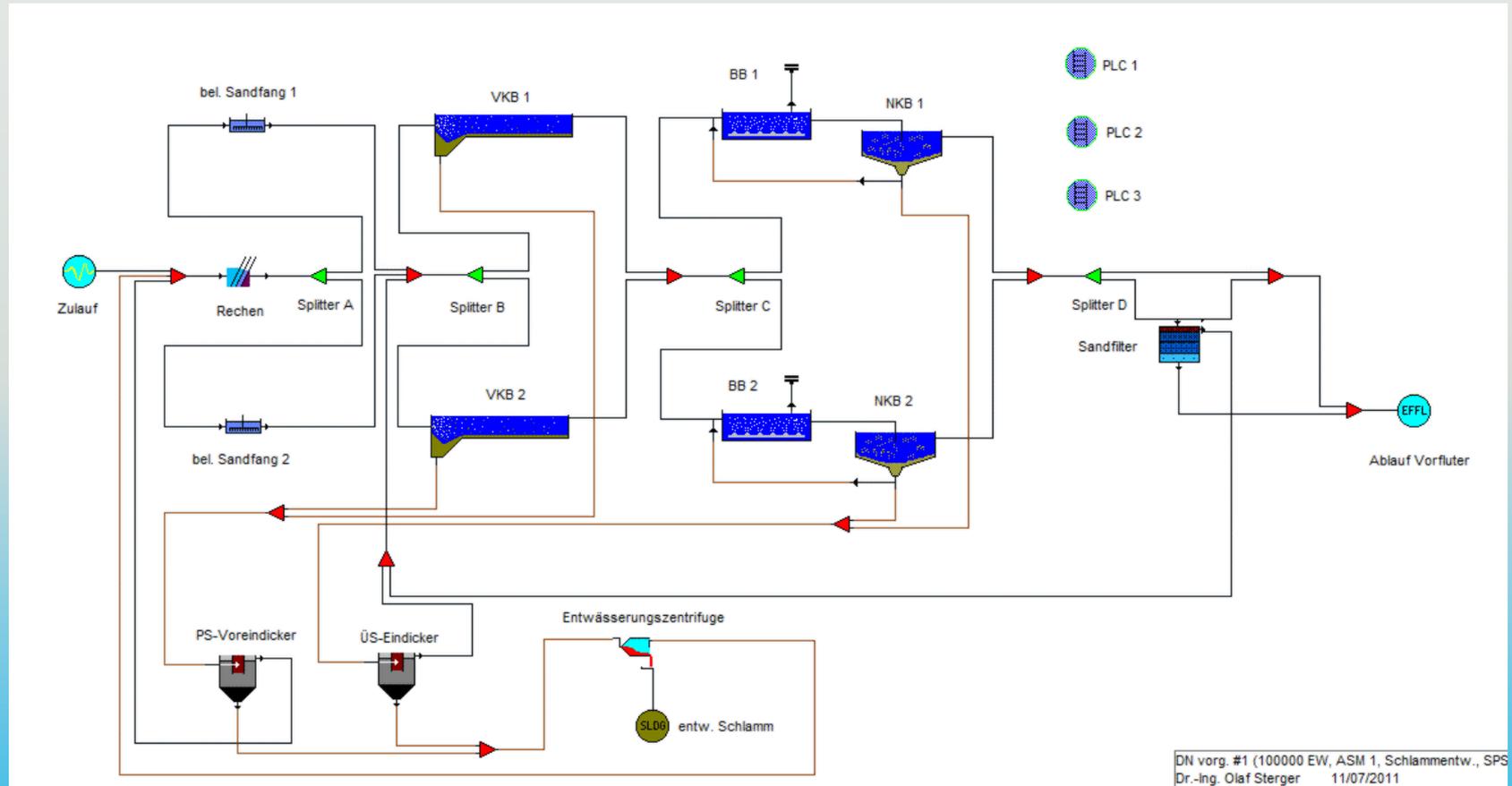


## Vorgeschaltete Denitrifikation mit BioP

Weil in der anaeroben Zone kein Nitrat oder Nitrit für eine anoxische Atmung zur Verfügung stehen, greifen die Bakterien auf ihre Energiereserve (Polyphosphat) zurück, um mit dessen Hilfe leicht abbaubares Substrat mineralisieren zu können und es folgt eine Phosphatrücklösung. Bei einem Wechsel in ein aerobes oder anoxisches Milieu kommt es zu einer vermehrten Phosphataufnahme gekoppelt mit einer Mineralisation organischer Stoffe durch die Mikroorganismen, wobei die Aufnahmerate direkt von der Höhe der vorhergehenden Rücklösung abhängig ist.

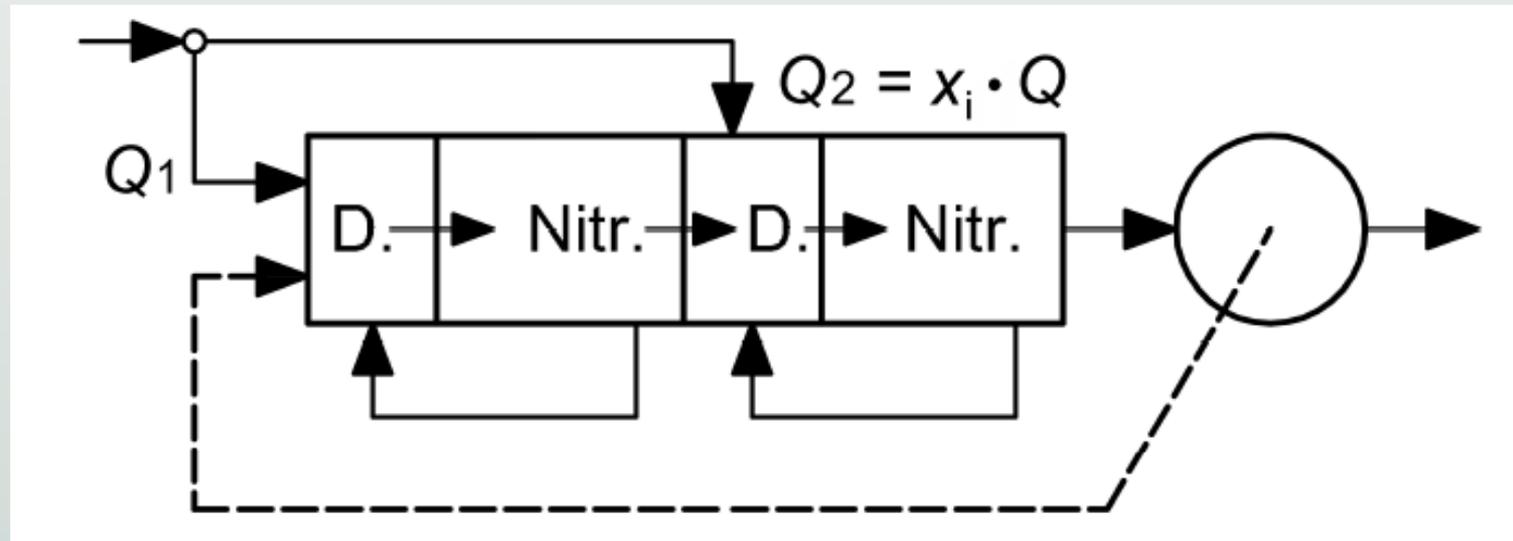
aus KUBIN, 2004

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell für vorgeschaltete Denitrifikation

# Abwasserbehandlungsverfahren



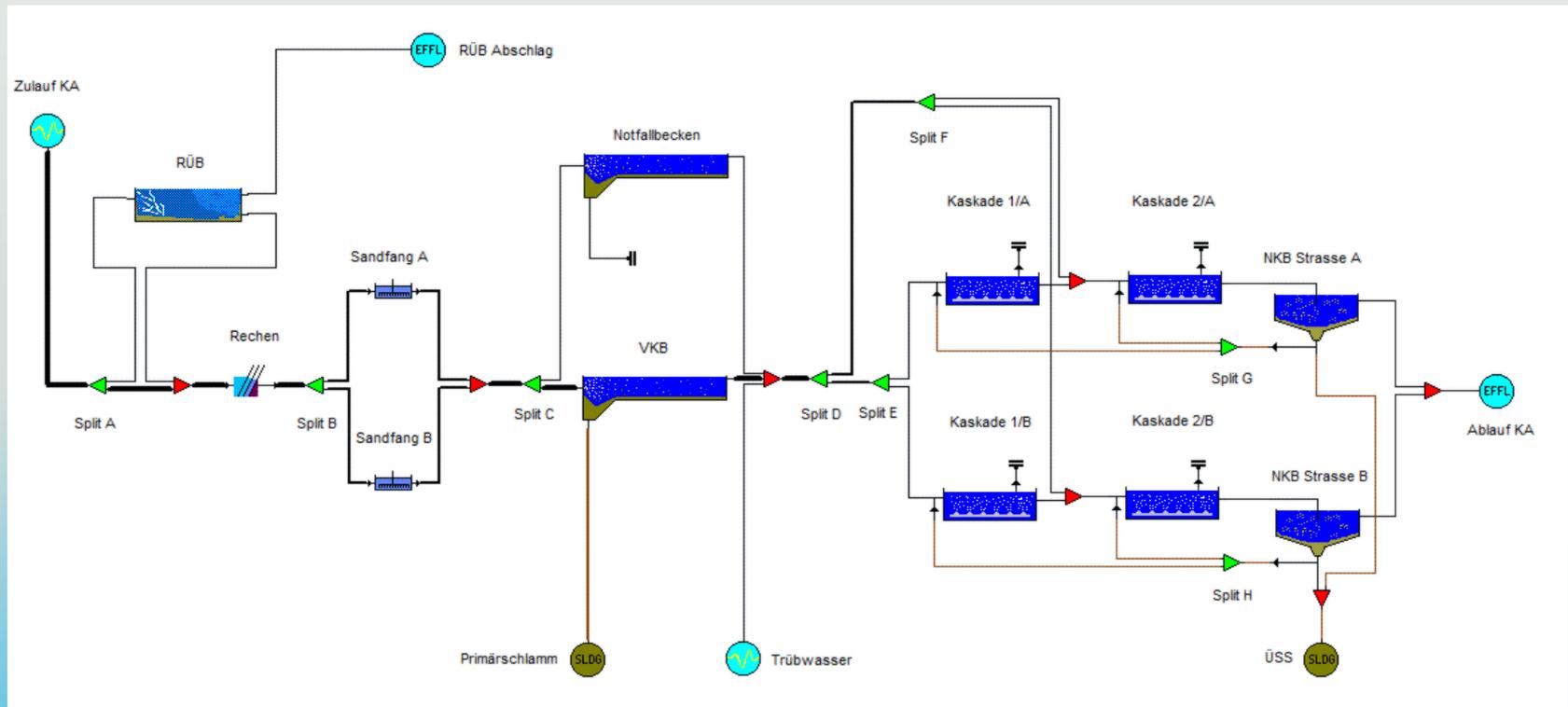
## Kaskadendenitrifikation

Skizze aus DWA-A 131, 2016

Zwei oder mehr Belebungsbecken, jedes mit vorgeschalteter oder simultaner Denitrifikation, werden nacheinander durchflossen. Das Abwasser wird aufgeteilt und jeweils den Denitrifikationsbecken zugeführt. Hierdurch entfällt in der Regel die interne Rezirkulation... Das Verfahren ist hinsichtlich der Stickstoffelimination der vorgeschalteten Denitrifikation gleichwertig. Wegen der verteilten Abwasserzuführung ist der Schlamm Trockensubstanzgehalt im ersten Becken höher als im Ablauf zur Nachklärung.

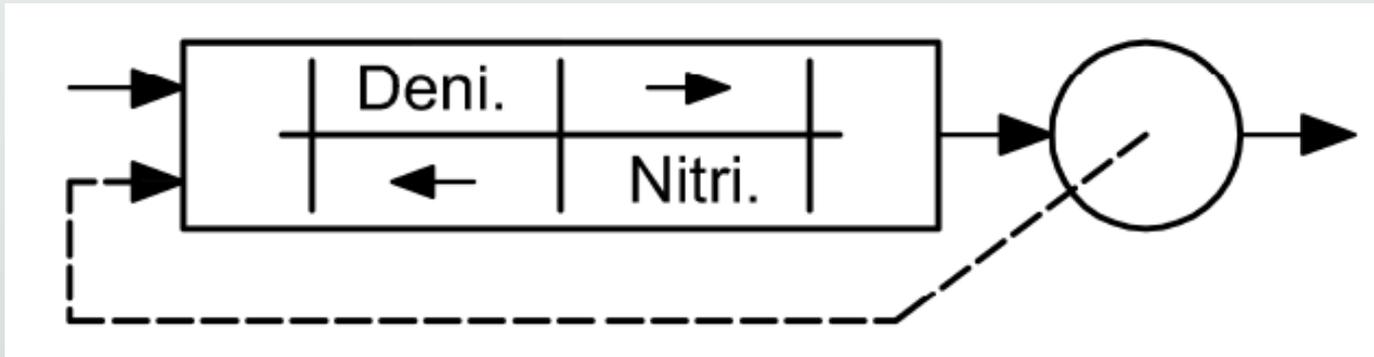
aus DWA-A 131, 2016

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell für Kaskadendenitrifikation

# Abwasserbehandlungsverfahren



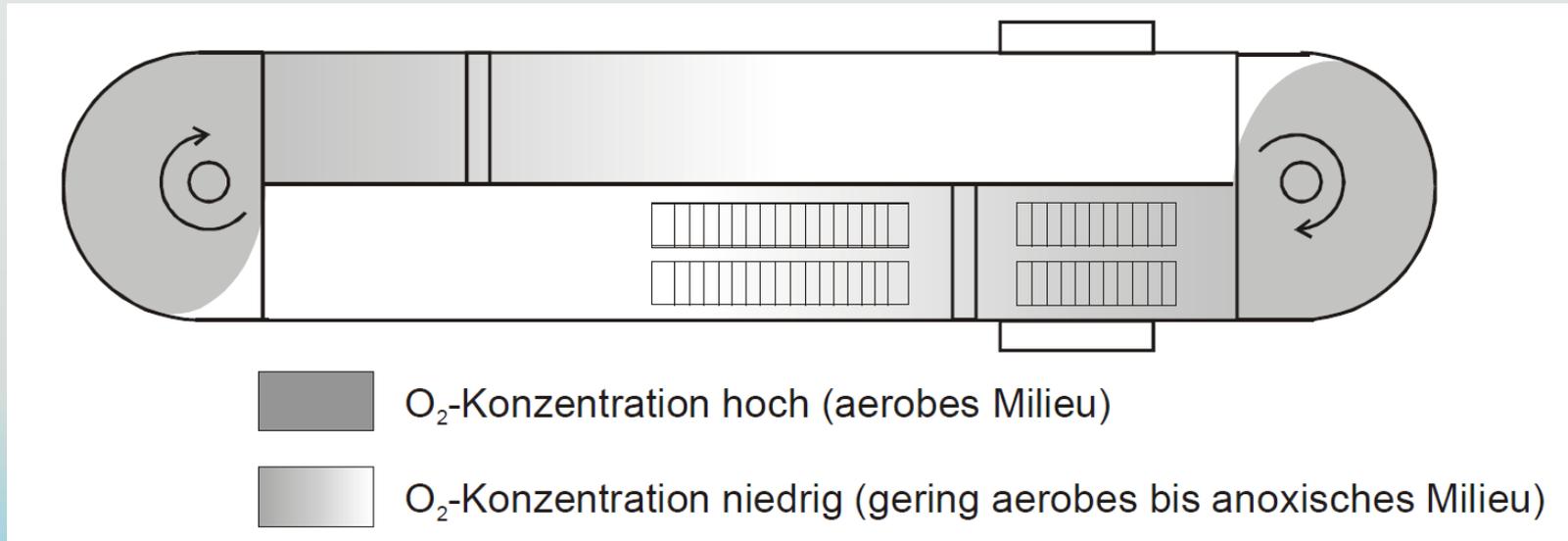
## Simultane Denitrifikation

Skizze aus DWA-A 131, 2016

Praktisch nur in Umlaufbecken realisierbar. Nitrifikation und Denitrifikation finden im gleichen Becken statt. Die parallel ablaufenden Verfahrensschritte müssen deshalb räumlich getrennt werden. Im belüfteten Teil des Beckens wird das Ammonium zum Nitrat oxidiert. Anschließend durchströmt das nitratreiche Abwasser eine belüftungsfreie Zone zur Denitrifikation. Die simultane Denitrifikation kann als eine Art vorgeschaltete Denitrifikation mit einem hohen internen Rückführverhältnis betrachtet werden. Eine Regelung der Belüftung z. B. nach dem Nitratgehalt, dem Ammoniumgehalt, dem Knick des Redoxpotenzials (Redoxknick) oder dem Sauerstoffgehalt ist erforderlich. Umlaufbecken kommen bezüglich der Verdünnung totalen Mischbecken nahe.

unter Verwendung von DWA-A 131, 2016

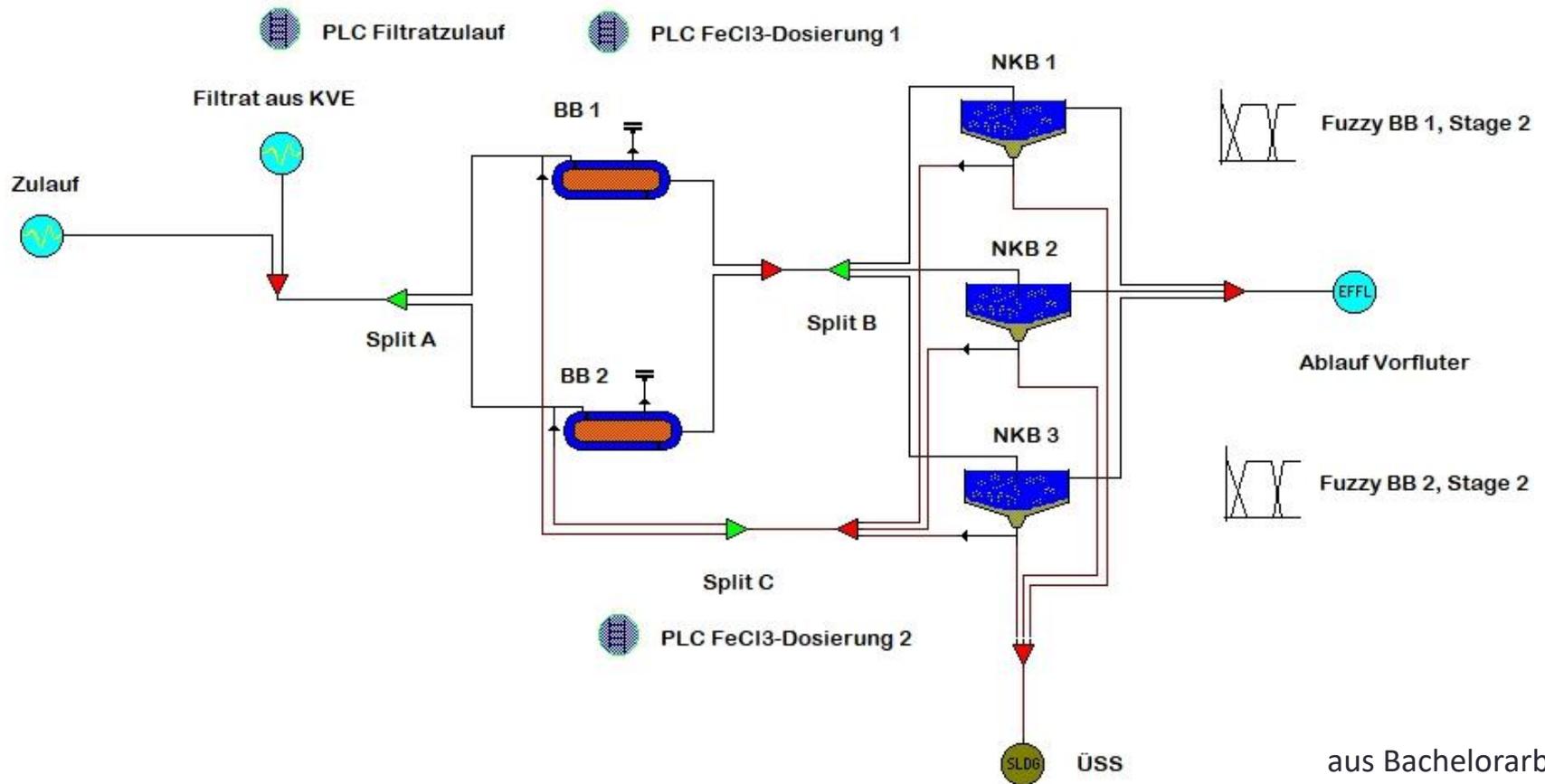
# Abwasserbehandlungsverfahren



## Simultane Denitrifikation

(alternative Darstellung für ein Umlaufbecken mit Belüftungskreisen)

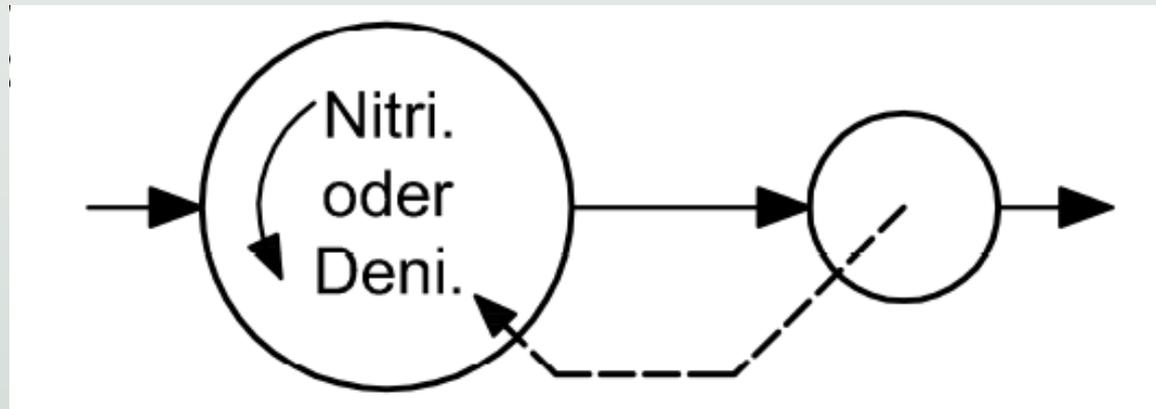
# Abwasserbehandlungsverfahren



aus Bachelorarbeit  
von P. Gierke, 2018

## STOAT-Modell für simultane Denitrifikation (KA Fürstenwalde/Spree)

# Abwasserbehandlungsverfahren



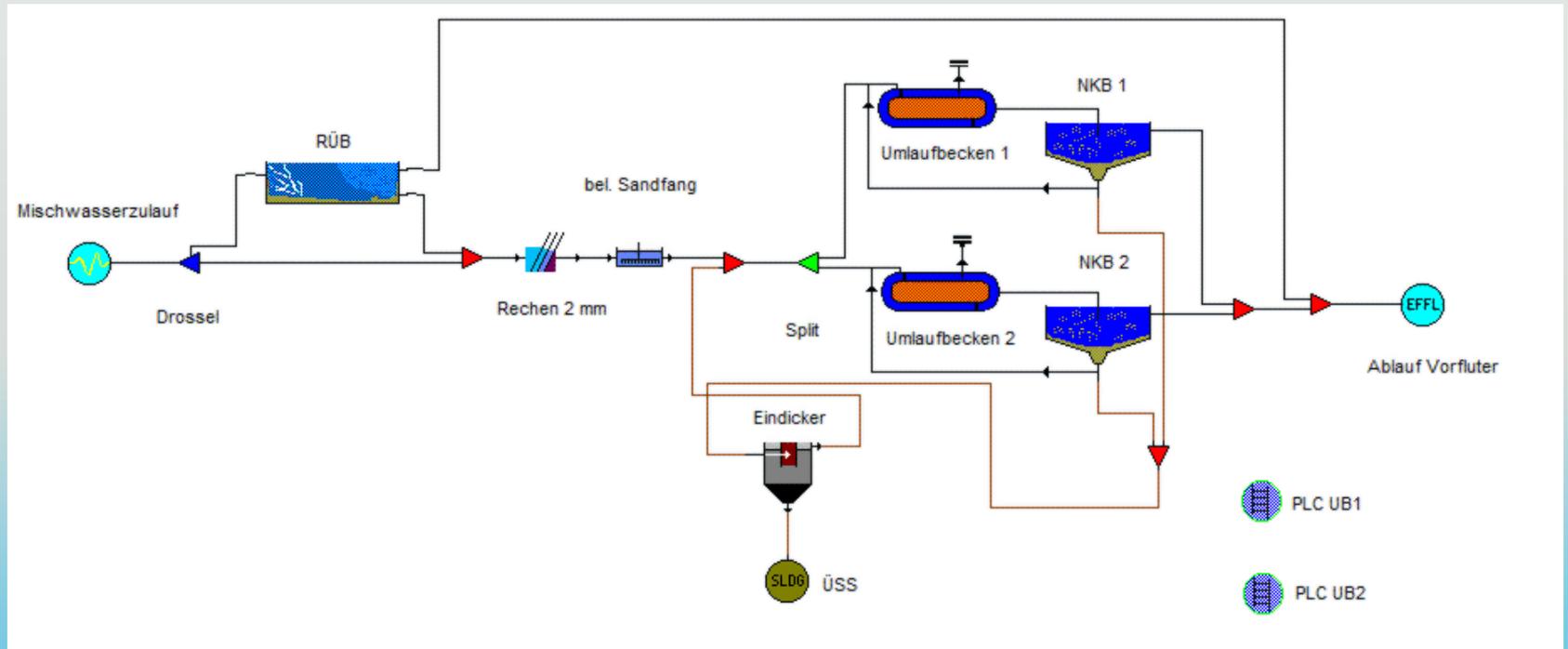
## Intermittierende Denitrifikation

Skizze aus DWA-A 131, 2016

In einem Becken wechseln zeitlich die Nitrifikations- und die Denitrifikationsphasen. Die Phasendauer kann mit einer Zeitschaltung vorgegeben oder durch eine Regelung z. B. nach dem Nitratgehalt, dem Ammoniumgehalt, dem Knick des Redoxpotenzials oder dem Sauerstoffverbrauch eingestellt werden. Hohe Sauerstoffgehalte am Ende der Nitrifikationsphasen beeinträchtigen die Denitrifikation. Die Becken für intermittierende Denitrifikation sind als totale Mischbecken zu betrachten.

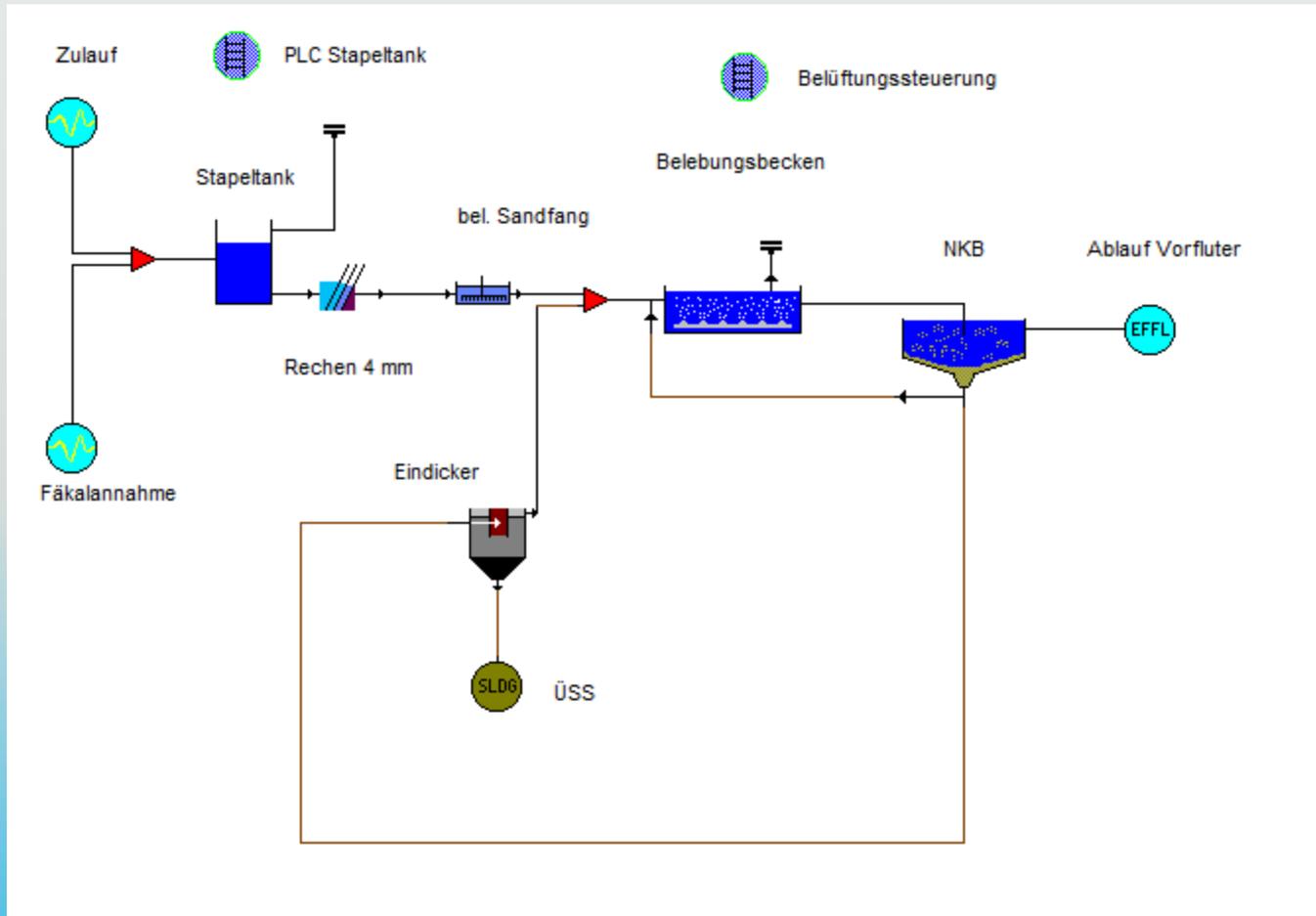
aus DWA-A 131, 2016

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell für intermittierende Denitrifikation

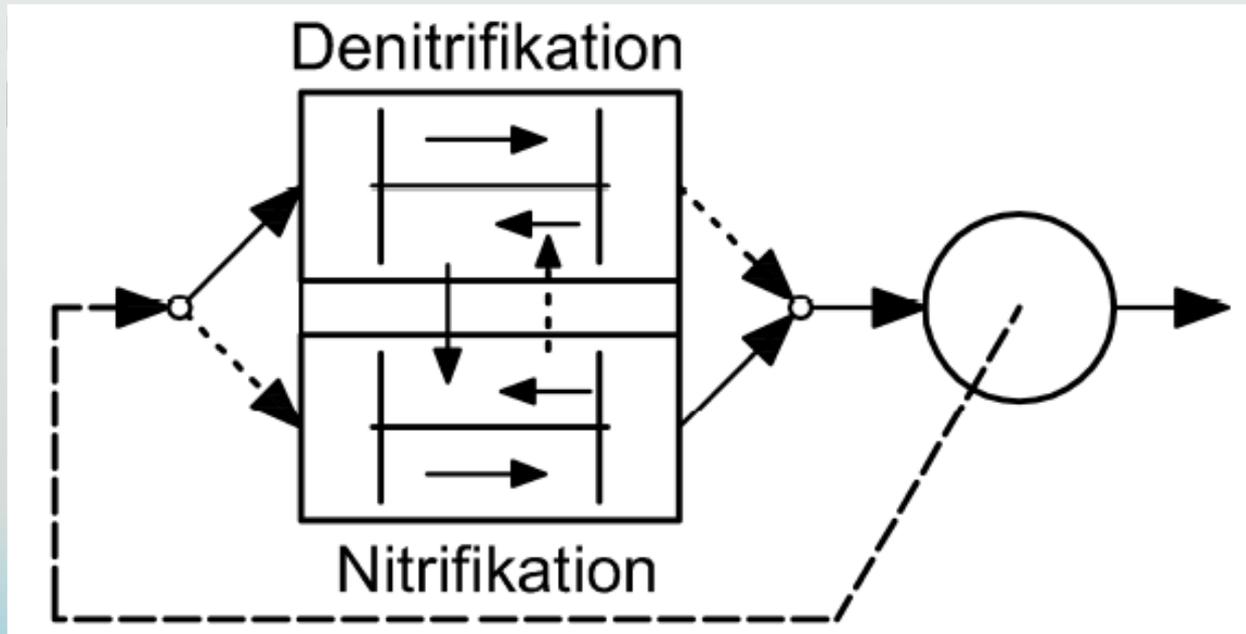
# Abwasserbehandlungsverfahren



aus Bachelorarbeit  
von J. Podlasly, 2015

## STOAT-Modell KA Liebenwalde (intermittierende Denitrifikation)

# Abwasserbehandlungsverfahren



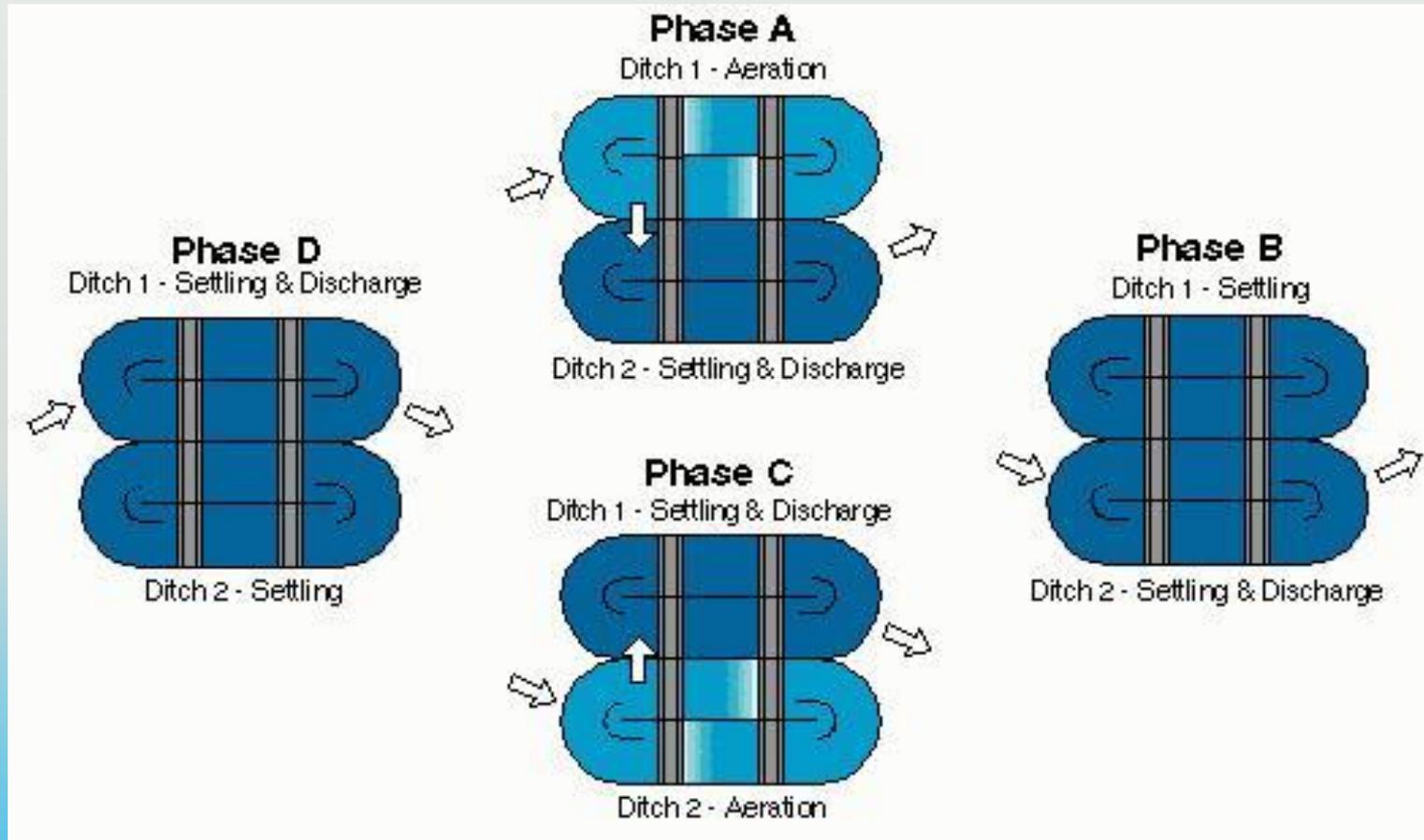
## Alternierende Denitrifikation

Skizze aus DWA-A 131, 2016

Zwei jeweils intermittierend belüftete Becken werden abwechselnd hintereinander beschickt, wobei Wasser von dem beschickten, unbelüfteten Becken in das andere, belüftete Becken und von dort zur Nachklärung fließt. Die Beschickungsdauer sowie die Dauer der Denitrifikations- und der Nitrifikationsphase werden in der Regel mit einer Zeitschaltung vorgegeben. Hohe Sauerstoffgehalte am Ende der Nitrifikationsphase beeinträchtigen die Denitrifikation. Das Mischungsverhalten liegt zwischen dem von totalen Mischbecken und Pfropfenströmung.

aus DWA-A 131, 2016

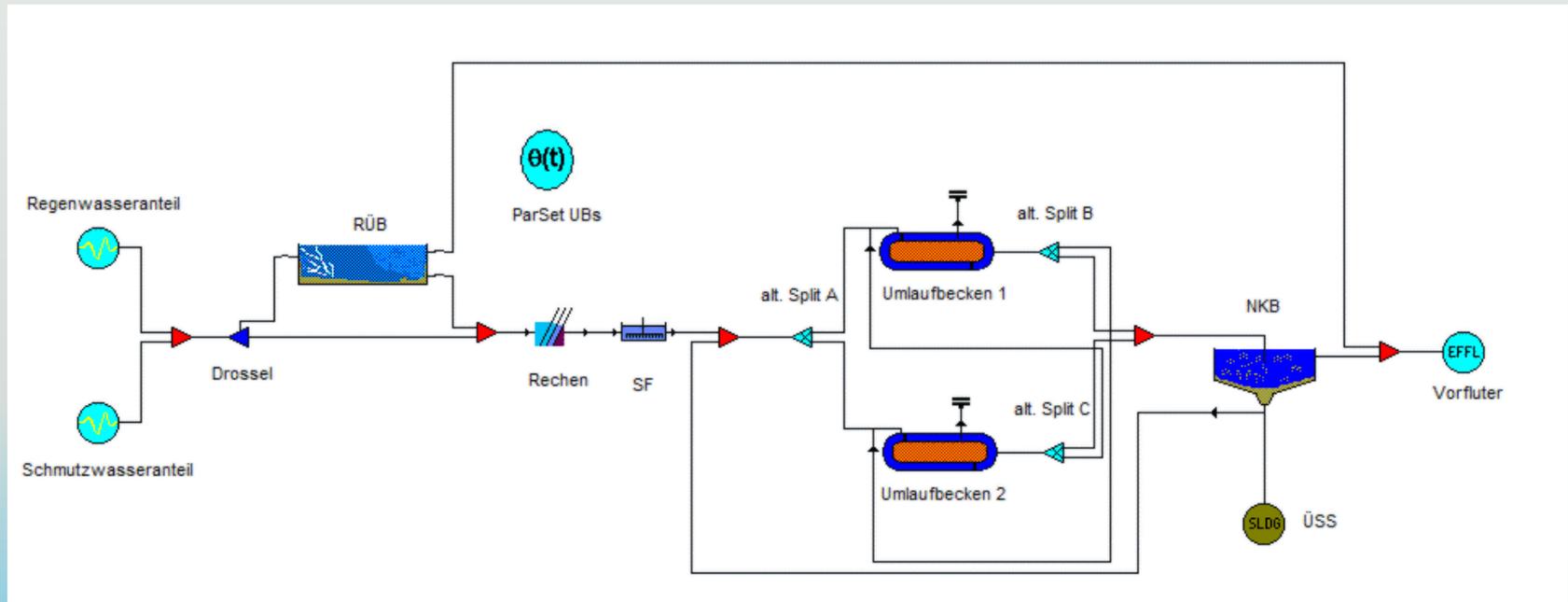
# Abwasserbehandlungsverfahren



## BioDeNitro-Prozess (alternierende Denitrifikation)

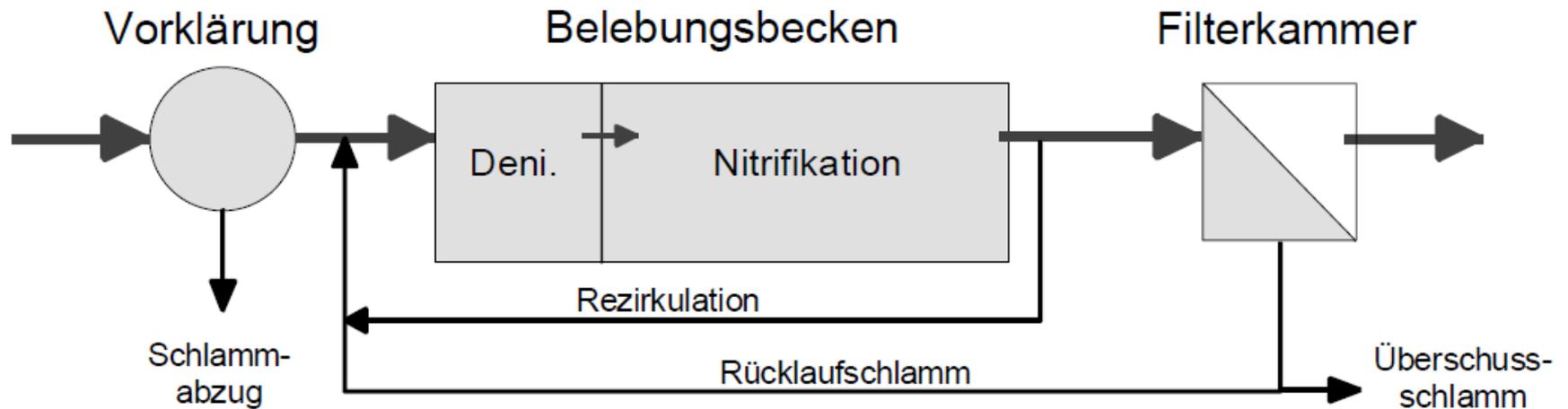
Skizze aus ATV-DVWK-A 131, 2000

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell für alternierende Denitrifikation

# Abwasserbehandlungsverfahren



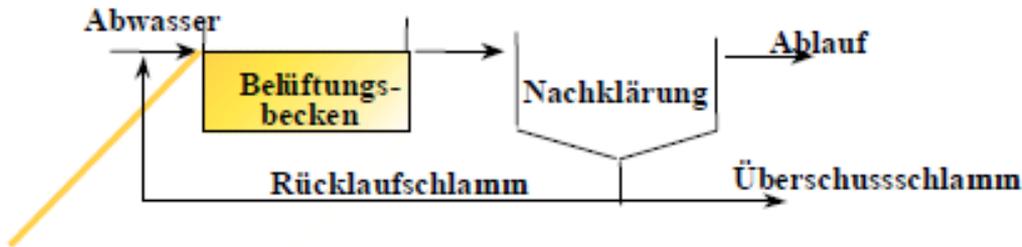
## Biomembranreaktor (Membranbelebungsanlage)

Skizze aus KUBIN, 2004

Die Abtrennung des gereinigten Abwassers vom Belebtschlamm erfolgt mittels Membranfilter. Aufgrund dessen kann mit sehr hohen Trockensubstanzgehalten gefahren werden (bis über  $20 \text{ kg/m}^3$ ). Dadurch erreichen sie eine sehr gute, völlig feststofffreie Ablaufqualität. Nachteilig ist, dass die hohe Viskosität des Belebtschlammgemisches den Sauerstoffeintritt und -übergang behindert. Gegenüber konventionellen Anlagen wird erheblich mehr Energie benötigt (bis 10-mal mehr).

# Abwasserbehandlungsverfahren

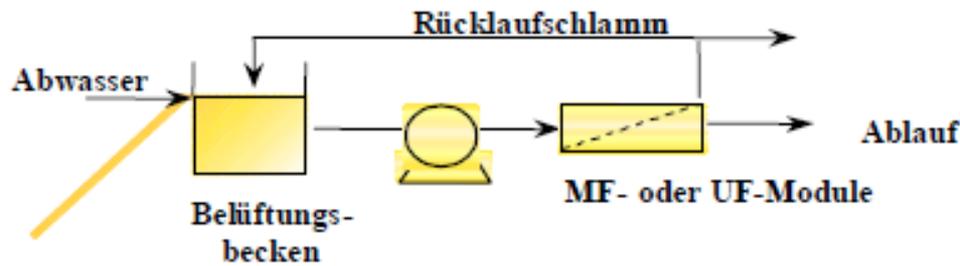
## Konventionelles Belebungsverfahren



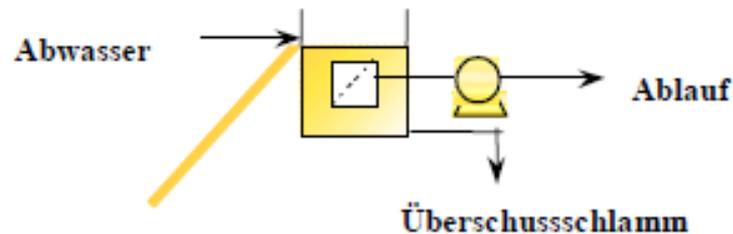
Gegenüberstellung der Verfahrensführung bei herkömmlichen Belebungsanlagen im Vergleich zu Biomembranreaktoren

UBA, 2003

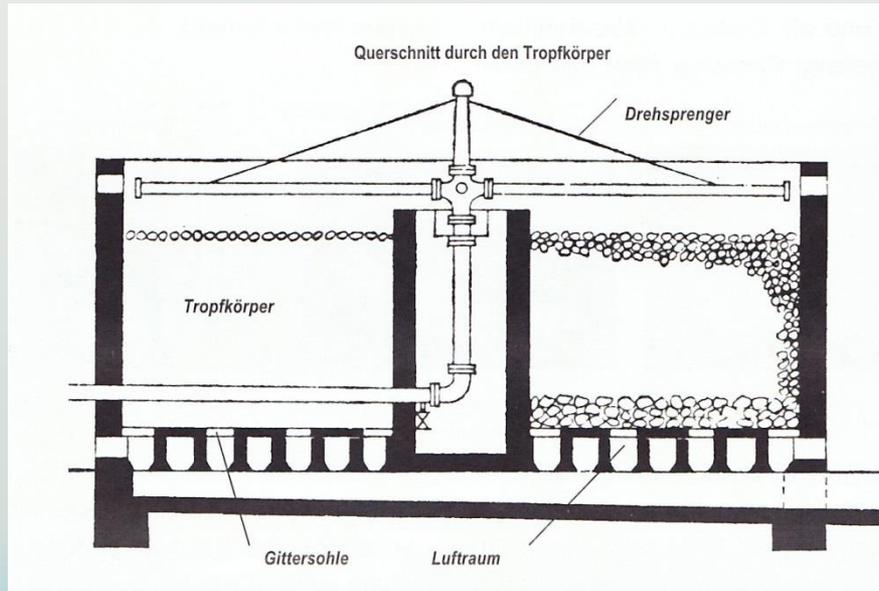
## Biomembranreaktor: äußerer Kreislauf



## Biomembranreaktor: getauchte Membran



# Abwasserbehandlungsverfahren

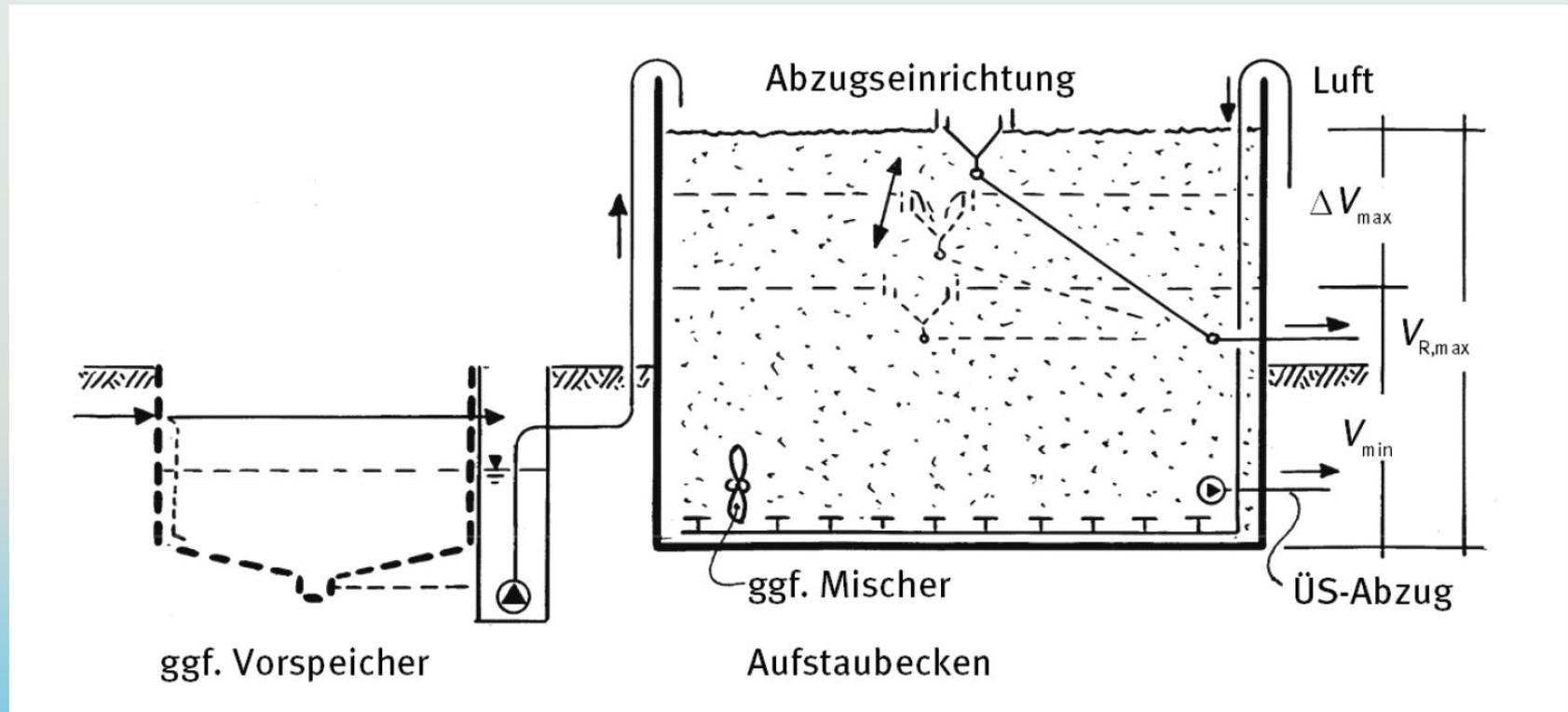


## Tropfkörper

aus <http://zeichner-ingenieurbau.ch/abwassertechnik> und <http://brunsumweltechnik.de/de/produkte3.php>

Der gereinigte Ablauf eines Tropfkörpers weist i. a. R. eine Gelöstsauerstoffkonzentration auf, die der Sättigungskonzentration nahe kommt. Für die Denitrifikation sind jedoch anoxische Verhältnisse erforderlich. Deshalb sind Tropfkörper heute auf Kläranlagen eher selten anzutreffen, obwohl sie in energetischer Hinsicht dem Belebungsverfahren deutlich überlegen sind.

# Abwasserbehandlungsverfahren



## SBR-Anlage (Sequencing Batch Reactor)

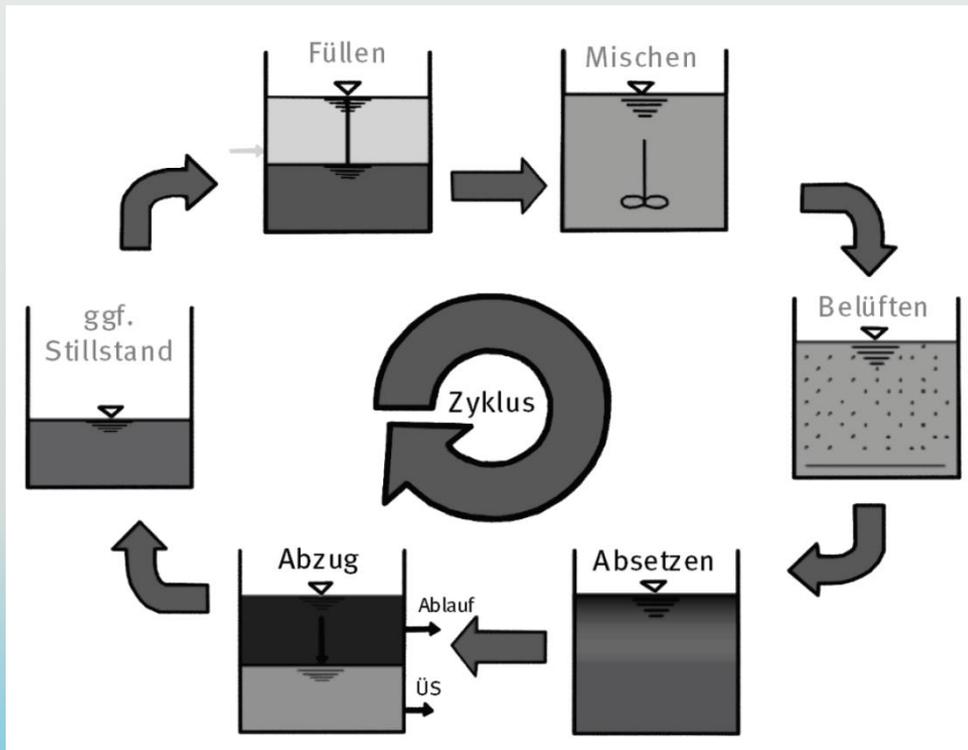
aus DWA-M 210, 2009

# Abwasserbehandlungsverfahren

## SBR-Anlage

Beispiel für die Aufeinanderfolge von Prozessphasen während eines Zyklus

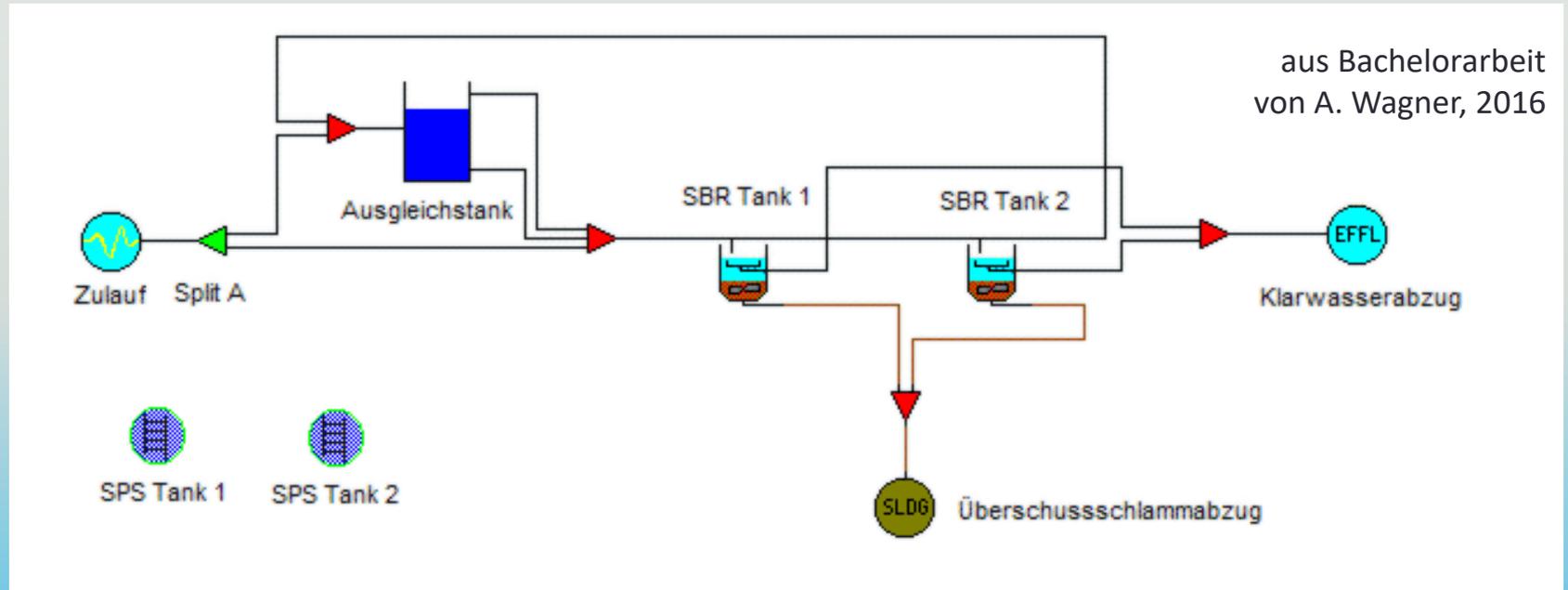
aus DWA-M 210, 2009



Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb sind in Bezug auf die stattfindenden biologischen Prozesse eine verfahrenstechnische Variante des Belebungsverfahrens.

Die in durchflossenen Belebungsanlagen in getrennten Reaktoren räumlich hintereinander stattfindenden Prozesse werden hier auf eine Zeitachse verschoben und finden gestaffelt in ein und demselben Reaktionsvolumen statt. Die Reaktion im Belebungsbecken in der Reihenfolge anaerob (BioP), anoxisch (DN), aerob (N) und Nachklärung erfolgt beim SBR-Verfahren somit zeitlich nacheinander.

# Abwasserbehandlungsverfahren



## STOAT-Modell einer SBR-Anlage (KA Werder/Havel)

# Beispiel GKW Bitterfeld-Wolfen



**GEMEINSCHAFTSKLÄRWERK  
BITTERFELD WOLFEN**

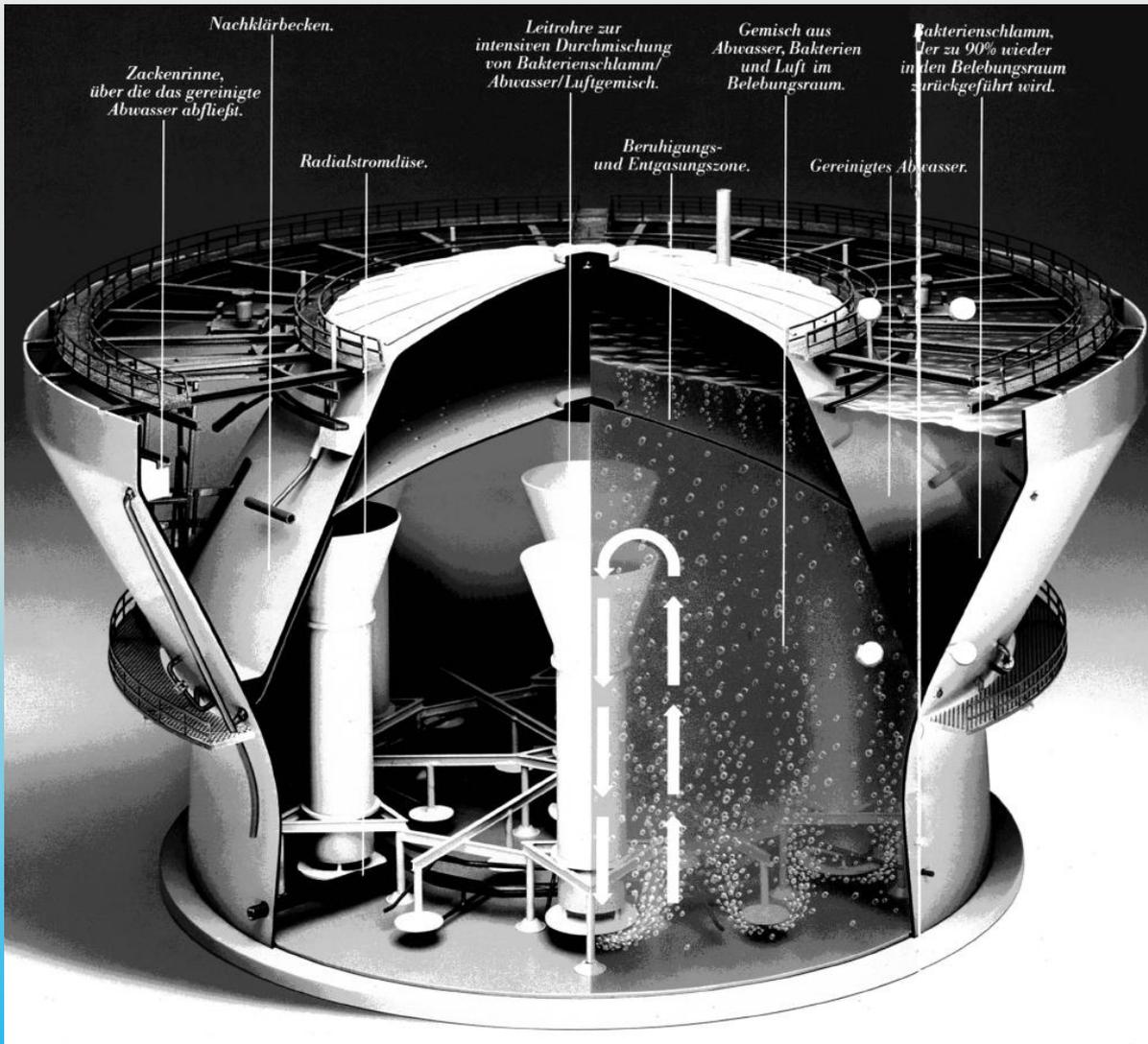


Das GKW behandelt die Abwässer des Chemieparks Bitterfeld und kommunale Abwässer der umliegenden Städte und Gemeinden (ca. 80.000 EW).

Modernste und größte Anlage in Sachsen-Anhalt, Kapazität bei Inbetriebnahme 1994: 422.000 EW, heute: 586.000 EW

4 BIOHOCH<sup>®</sup>-Reaktoren, intensive Vorbehandlung, neu: Anaerobanlage

# Beispiel GKW Bitterfeld-Wolfen



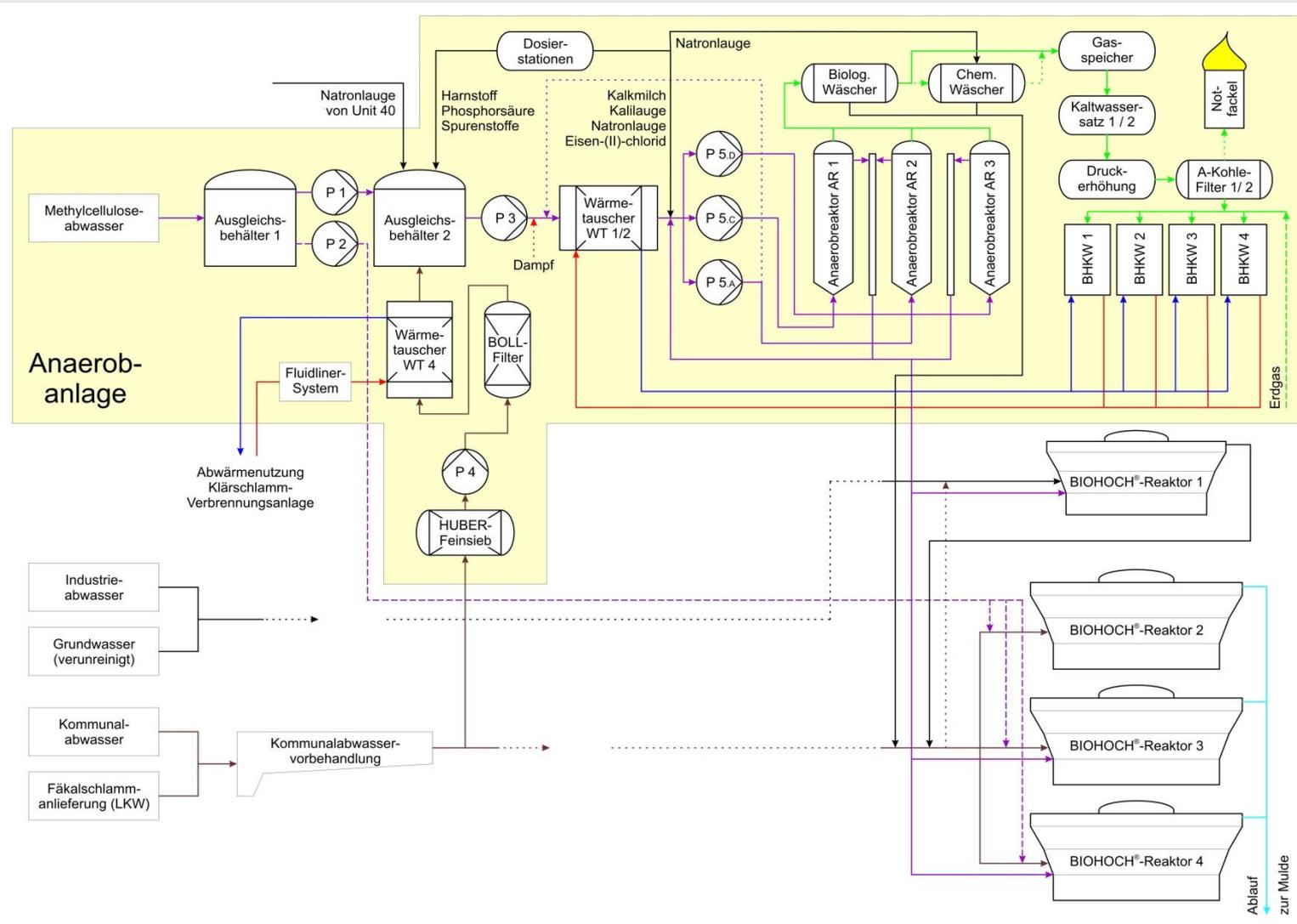
## Querschnitt eines BIOHOCH®-Reaktors

### Vorteile:

- hoher Sauerstofftrag (ca. 3 kg O<sub>2</sub>/kWh)
- geringer Abgasanfall
- ständige intensive Vermischung des Belebtschlammes mit dem Substrat
- geringer Platzbedarf

nach HOECHST, 1985

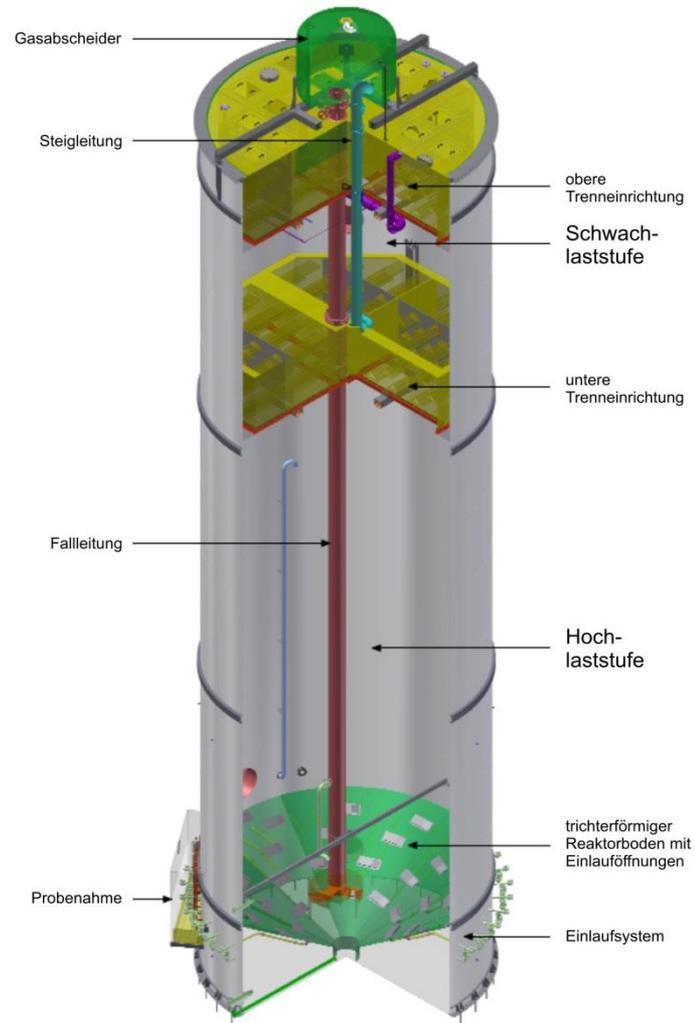
# Beispiel GKW Bitterfeld-Wolfen



Neue Anaerob-anlage und deren Einbindung der in das Gesamtkonzept

aus STERGER & KOEPPKE, 2013

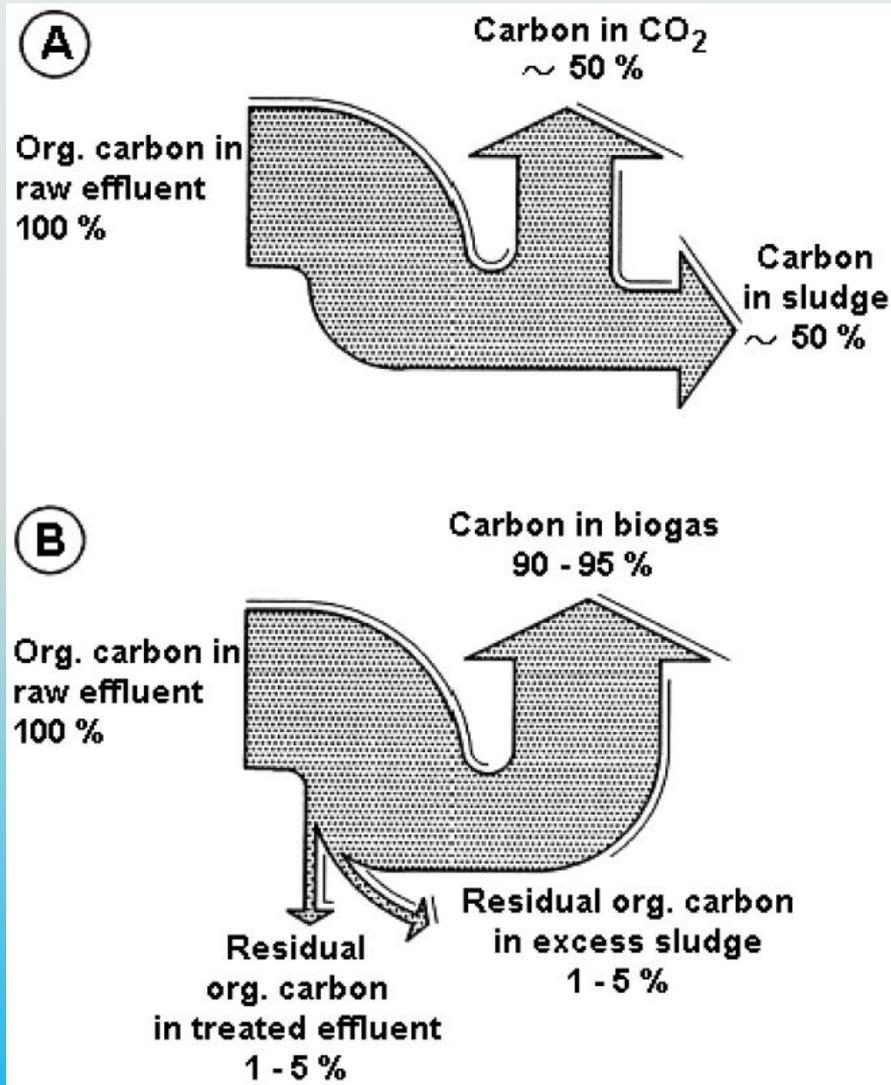
# Beispiel GKW Bitterfeld-Wolfen



Anaerob-  
reaktoren  
Foto und  
Funktions-  
prinzip

aus STERGER &  
KOEPPKE, 2013

# Beispiel GKW Bitterfeld-Wolfen



Gegenüberstellung der Kohlenstoffbilanzen bei aerober (A) und anaerober (B) Abwasserbehandlung

UBA, 2003

# Beispiel GWK Bitterfeld-Wolfen

„Der CSB kann als Energieparameter gedeutet werden, so dass der Energieerhaltungssatz angewendet werden kann. Über längere Zeiträume, in denen sich der Ablauf-CSB nur wenig geändert hat (keine Änderung des CSB im Anaerobreaktor) muss gelten:

*CSB-Abbau = CSB-Gas + CSB-ÜS*

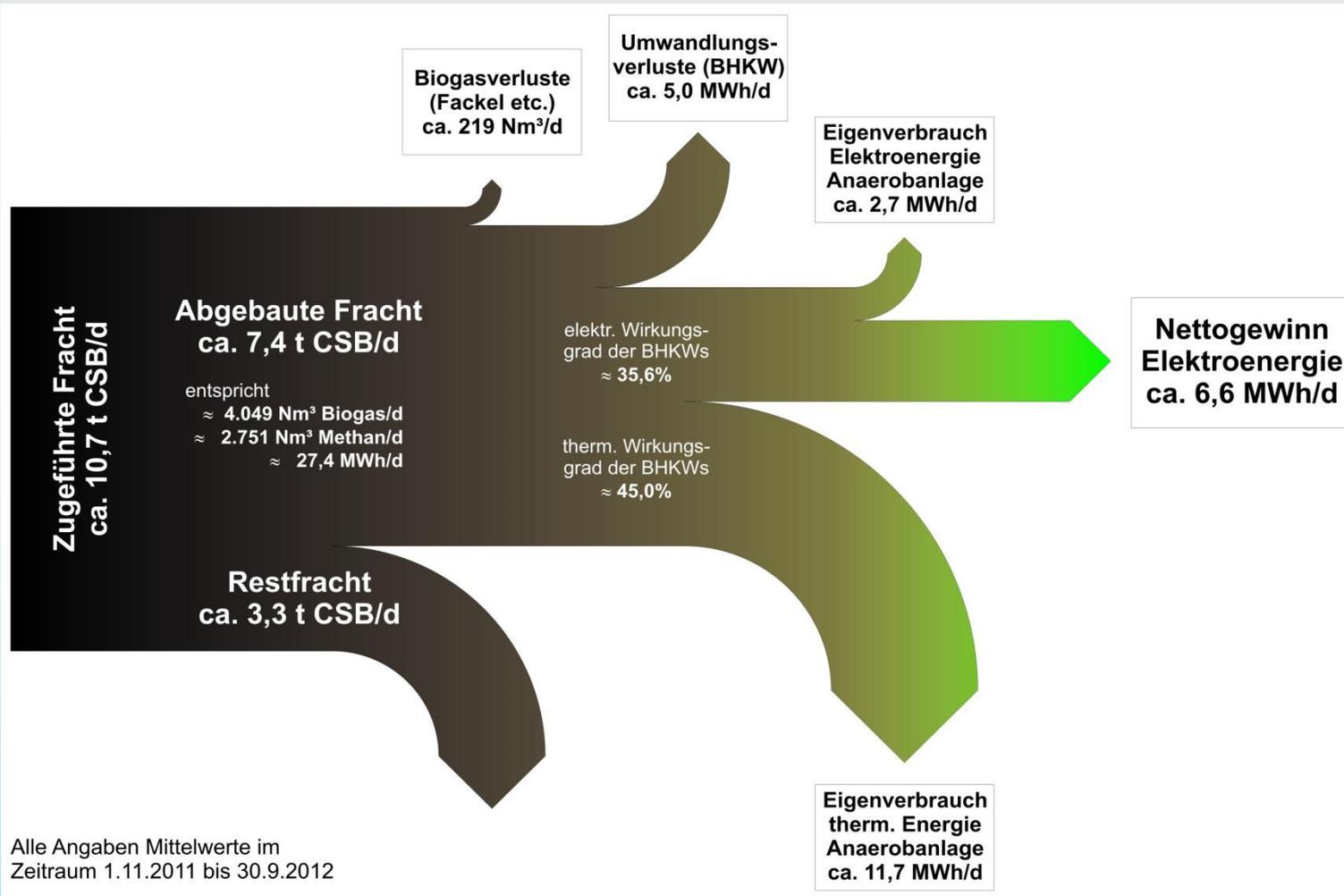
*Der CSB im Biogas ist bei der Methanisierung (H<sub>2</sub>-Gehalt sehr gering) ausschließlich im Methan enthalten; CO<sub>2</sub> hat keinen CSB. Der CSB des Methans kann auf Grund der Oxidationsreaktion berechnet werden;*



*d. h. je Mol CH<sub>4</sub> (= 22,4 NI) sind 2 Mol Sauerstoff (= 64 g O<sub>2</sub>) erforderlich. 1 g CSB entspricht daher 22,4 : 64 = 0,35 NI CH<sub>4</sub>. Unter der Annahme, dass ca. 10 % des abgebauten CSB in Biomasse umgewandelt werden, entstehen aus 1 kg abgebautem CSB ca. 320 NI Methan.“*

ATV-Fachausschuss 7.5, 1993

# Beispiel GWK Bitterfeld-Wolfen



Sankey-Diagramm der Energie- und Stoffströme in der neuen Anaerobanlage des GWK Bitterfeld-Wolfen

aus STERGER & KOEPPKE, 2013

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-Fachausschuss 7.5, 1993	Technologische Beurteilungskriterien zur anaeroben Abwasserbehandlung, Bericht des ATV-Fachausschusses 7.5 „Anaerobe Verfahren zur Behandlung von Industrieabwässern“ Korrespondenz Abwasser 40. Jahrgang, Nr. 2/1993 S. 217 ff.
ANASTAS, 2011	Anastas, P. T. Twenty Years of Green Chemistry C&EN Chemical & Engineering News, Volume 91, June 27, 2011 pp. 62-65
BMFT, 1994	Produktionsintegrierter Umweltschutz, Vermeidung von Umweltbelastungen aus der industriellen Produktion, Förderkonzept des Bundesministeriums für Forschung und Technologie Bundesministerium für Forschung und Technologie, Bonn, Januar 1994
DWA-M 210, 2009	DWA-M 210 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR) DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Juli 2009
HOECHST, 1985	Der ®BIOHOCH-Reaktor - Stand der Technik zur biologischen Abwasserreinigung Hoechst AG Frankfurt (Main), 1985
KAINZ & GRUBER, 2011	Kainz, H.; Gruber, G.: Abwasserbehandlung - Biologische Abwasserreinigung TU Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, 2011
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft
KUBIN, 2004	Kubin, K. Einfluss unterschiedlicher Verfahrenskonzepte auf Substratabbau und Nährstoffverwertung in Membranbelebungsanlagen zur kommunalen Abwasserreinigung Dissertation an der Fakultät III – Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin, 2004
LONDONG et al., 2009	Abwasserbehandlung Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen Bauhaus-Universität Weimar, September 2009
STERGER & KOEPPKE, 2013	Sterger, O.; Köppke, K.-E. Abschlussbericht über die Errichtung einer Anlage zur anaeroben Behandlung hypersaliner Abwässer im Gemeinschaftskläwerk Bitterfeld-Wolfen <a href="http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/abschlussbericht_0.pdf">http://www.umweltinnovationsprogramm.de/sites/default/files/benutzer/36/dokumente/abschlussbericht_0.pdf</a>
UBA, 2003	BVT-Merkblatt zu Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie Umweltbundesamt, Februar 2003

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

Grundlegende Begriffe und Zusammenhänge  
der Bemessung von Kläranlagen  
nach ATV-DVWK-A 131 bzw. DWA-A 131

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren

1987 wurden mit dem sog. Activated Sludge Model #1 (ASM 1) erstmals einige Kürzel eingeführt, die seitdem international Standard sind:

- **C** für die Gesamtkonzentration des jeweiligen Parameters  
(aus der homogenisierten Probe)
- **S** gelöster Anteil des jeweiligen Parameters  
(engl. soluble, aus der filtrierten Probe)
- **X** partikulärer Anteil des jeweiligen Parameters  
( $X = C - S$ )

vgl. HENZE et al. , 1987 sowie ATV-DVWK-A 198, 2003

Diese Kürzel werden auch im DWA-A 131 verwendet. Alle darauf aufbauenden Symbole und Indices sind in A 131 ausführlich erläutert.

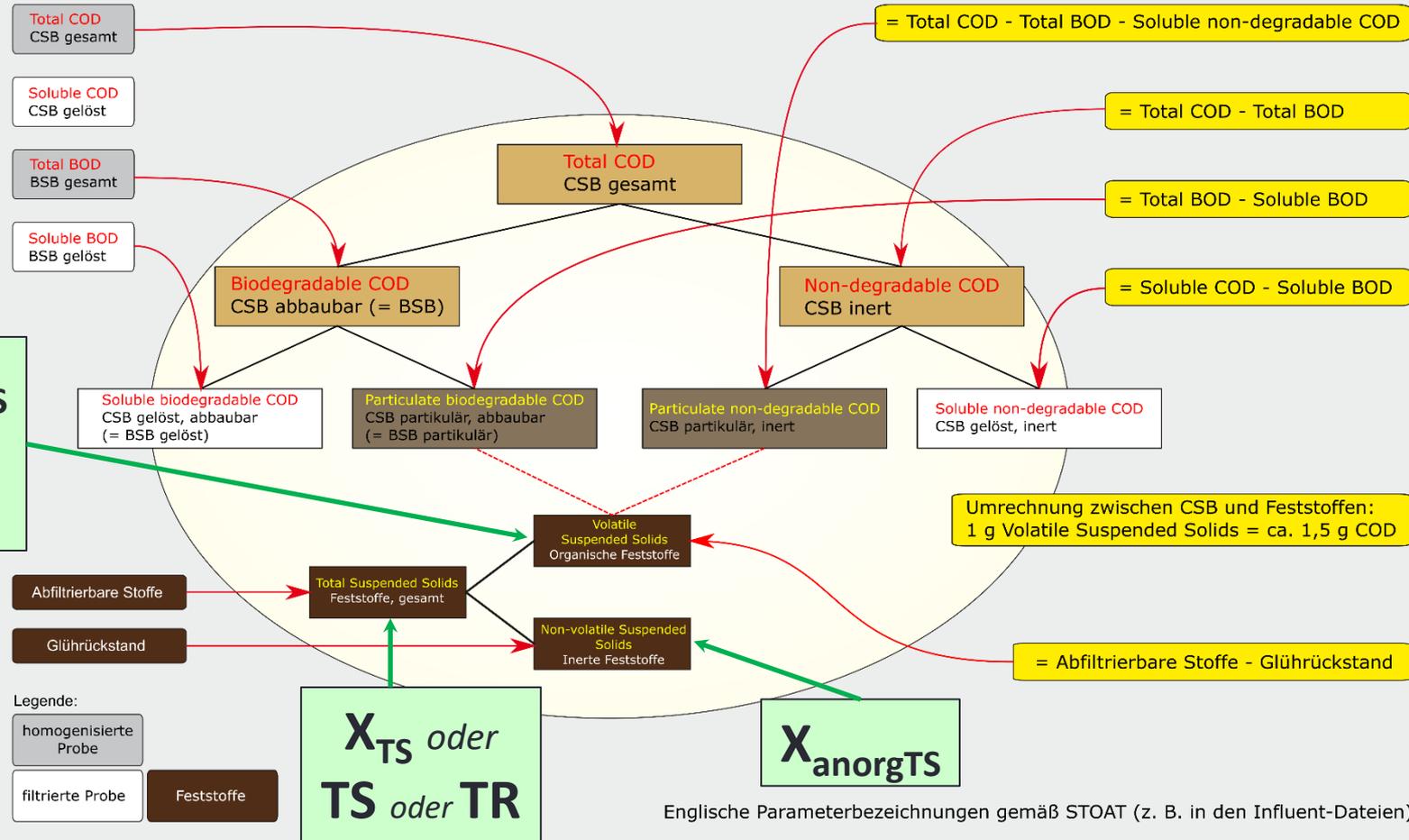
vgl. DWA-A 131, 2016

Für die Fraktionen im Zulauf (und auch im Ablauf) einer Belebungsanlage sind im Schrifttum zahlreiche Abbildungen und Erläuterungen verfügbar.

# CSB- und Feststoff-Fraktionierung

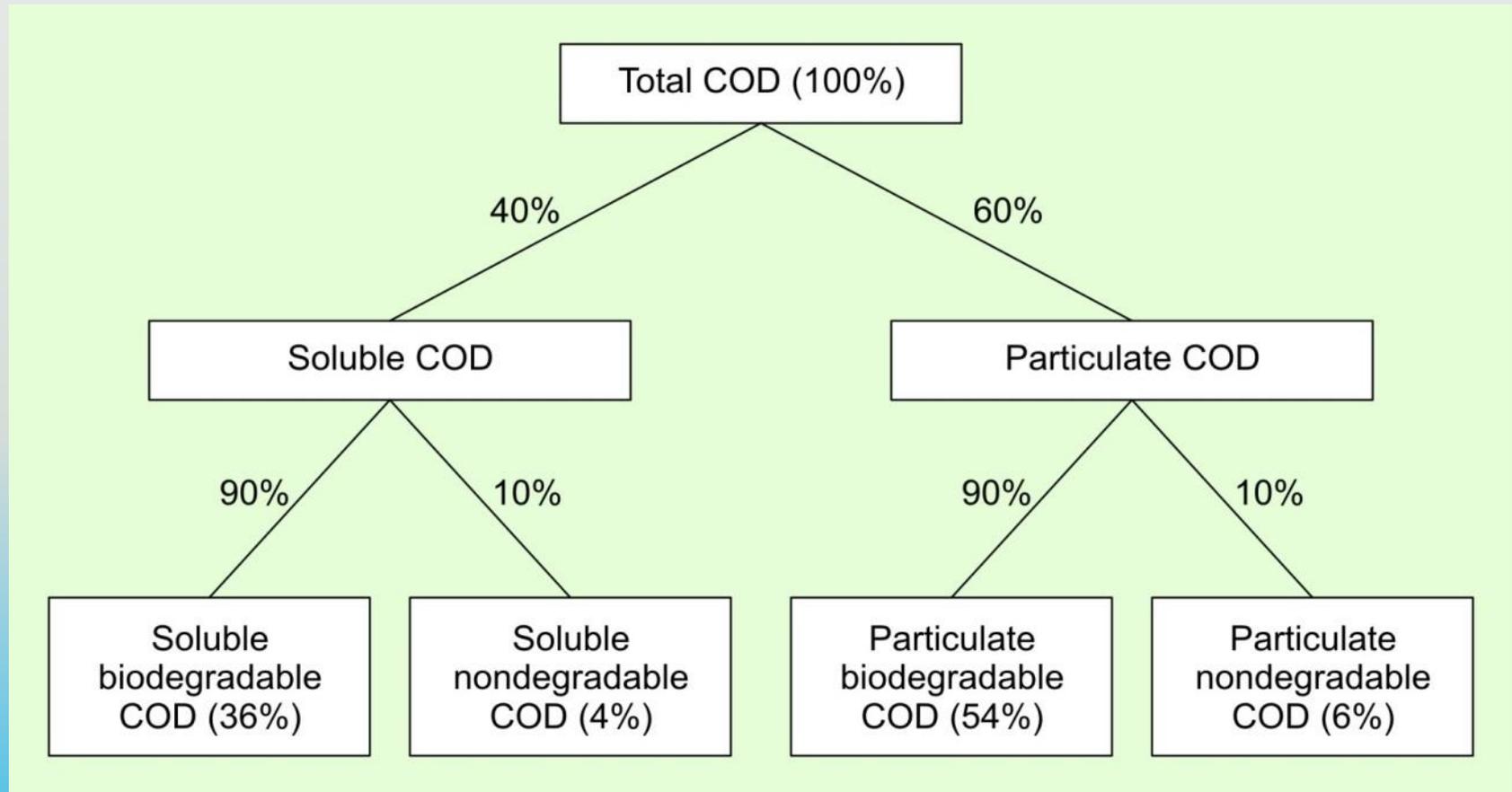
Messung

Berechnung



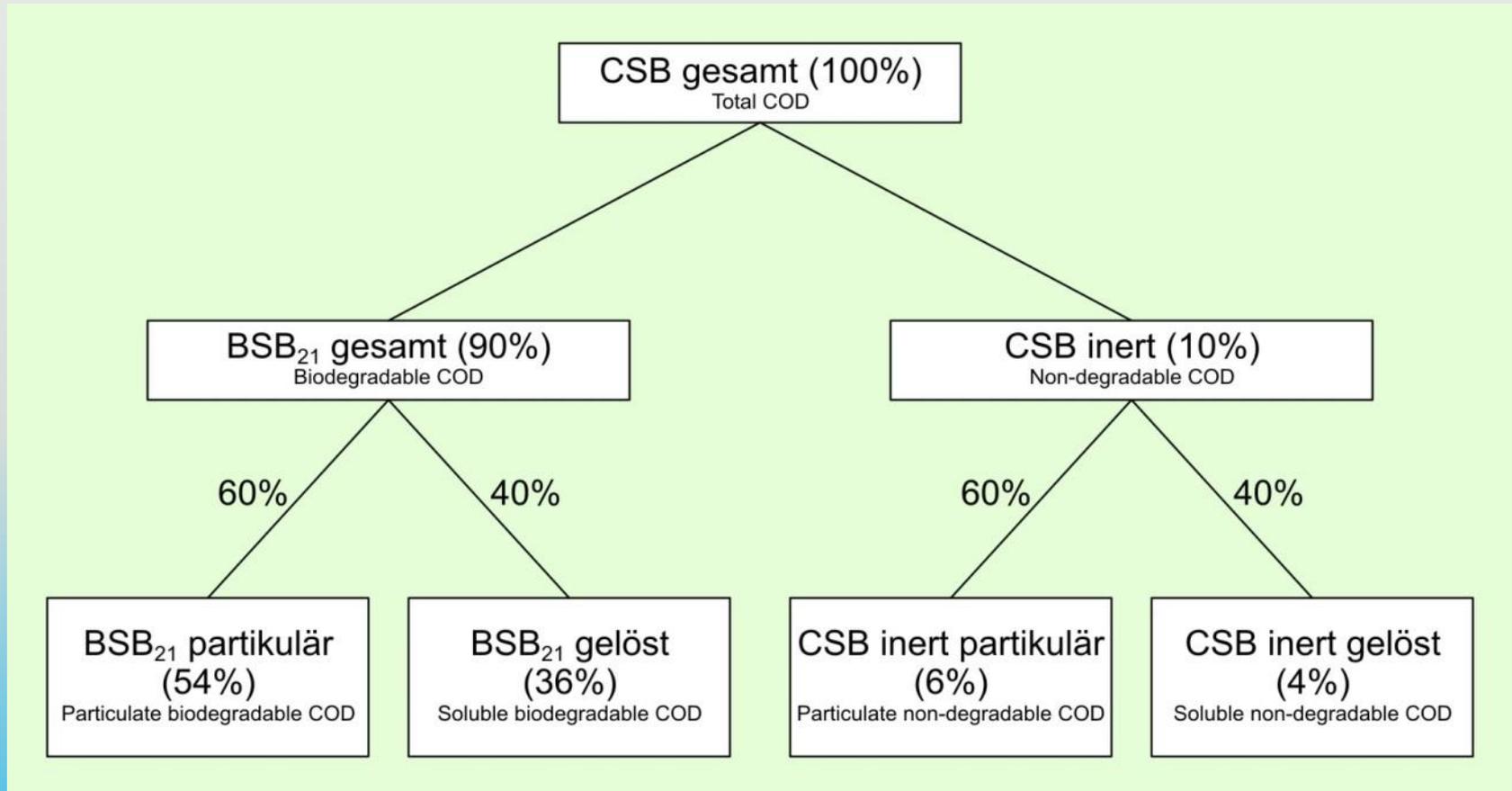
International übliche Bezeichnung der Fraktionen des CSB und der Feststoffe im Zulauf einer Belebungsanlage und deren Ermittlung auf der Grundlage von Messungen

# CSB-Fraktionierung



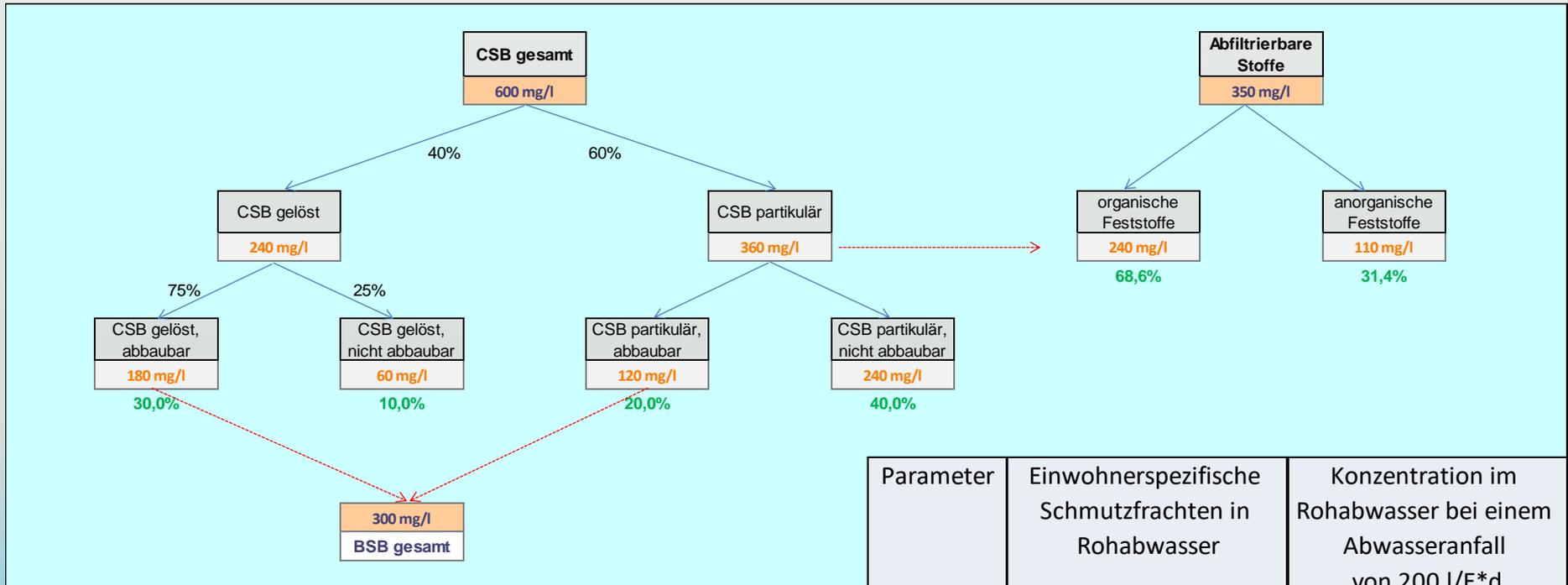
International übliche Standardfraktionierung des CSB im Zulauf einer Belebungsanlage  
(Variante I, englisch)

# CSB-Fraktionierung



International übliche Standardfraktionierung des CSB im Zulauf einer Belebungsanlage  
(Variante II, deutsch + englisch)

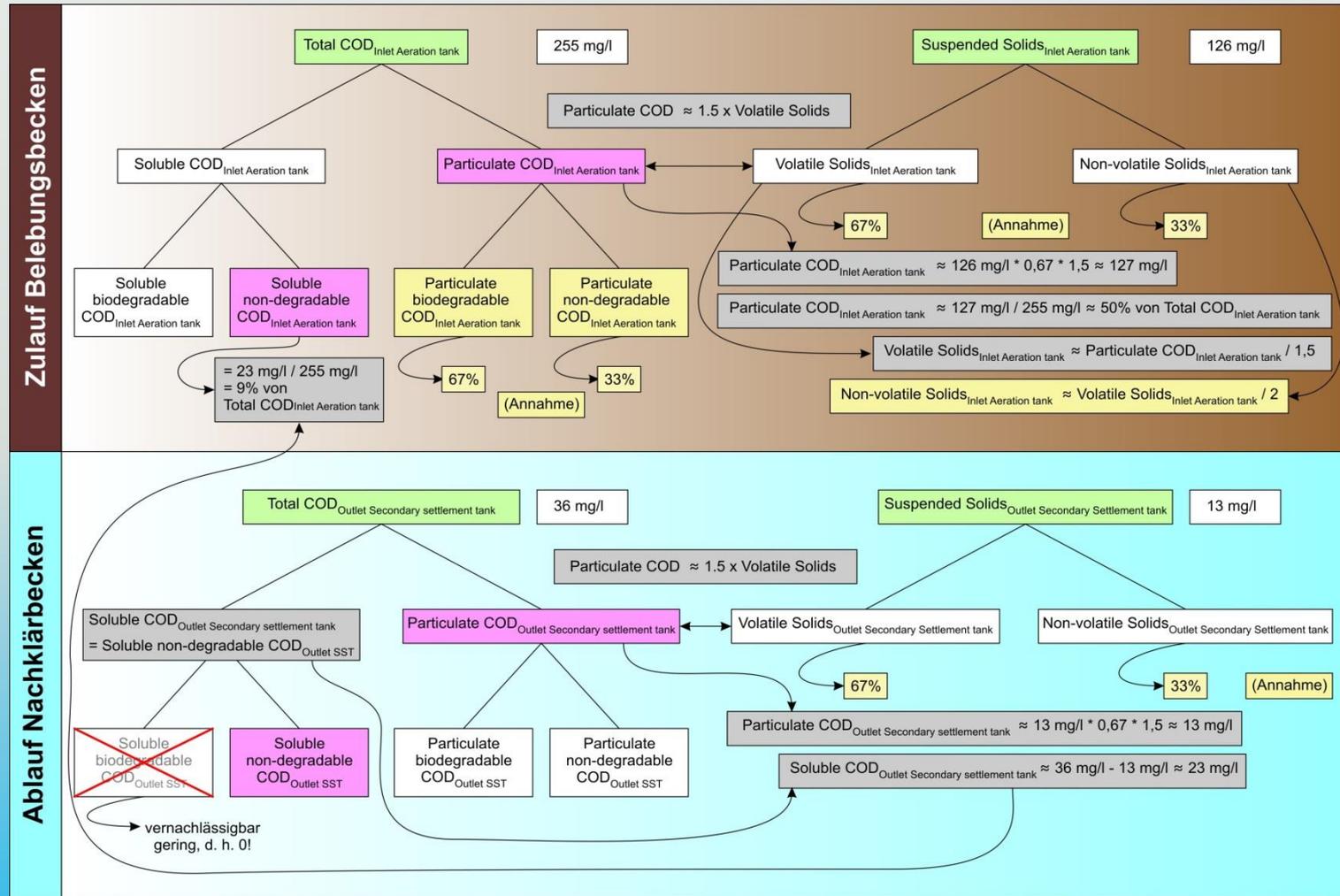
# CSB-Fraktionierung



Parameter	Einwohnerspezifische Schmutzfrachten in Rohabwasser	Konzentration im Rohabwasser bei einem Abwasseranfall von 200 l/E*d
BSB <sub>5</sub>	60 g/E*d	300 mg/l
CSB	120 g/E*d	600 mg/l
TOC	40 g/E*d	200 mg/l
AFS	70 g/E*d	350 mg/l
TKN	11 g/E*d	55 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	8 g/E*d	40 mg/l
P	2 g/E*d	10 mg/l

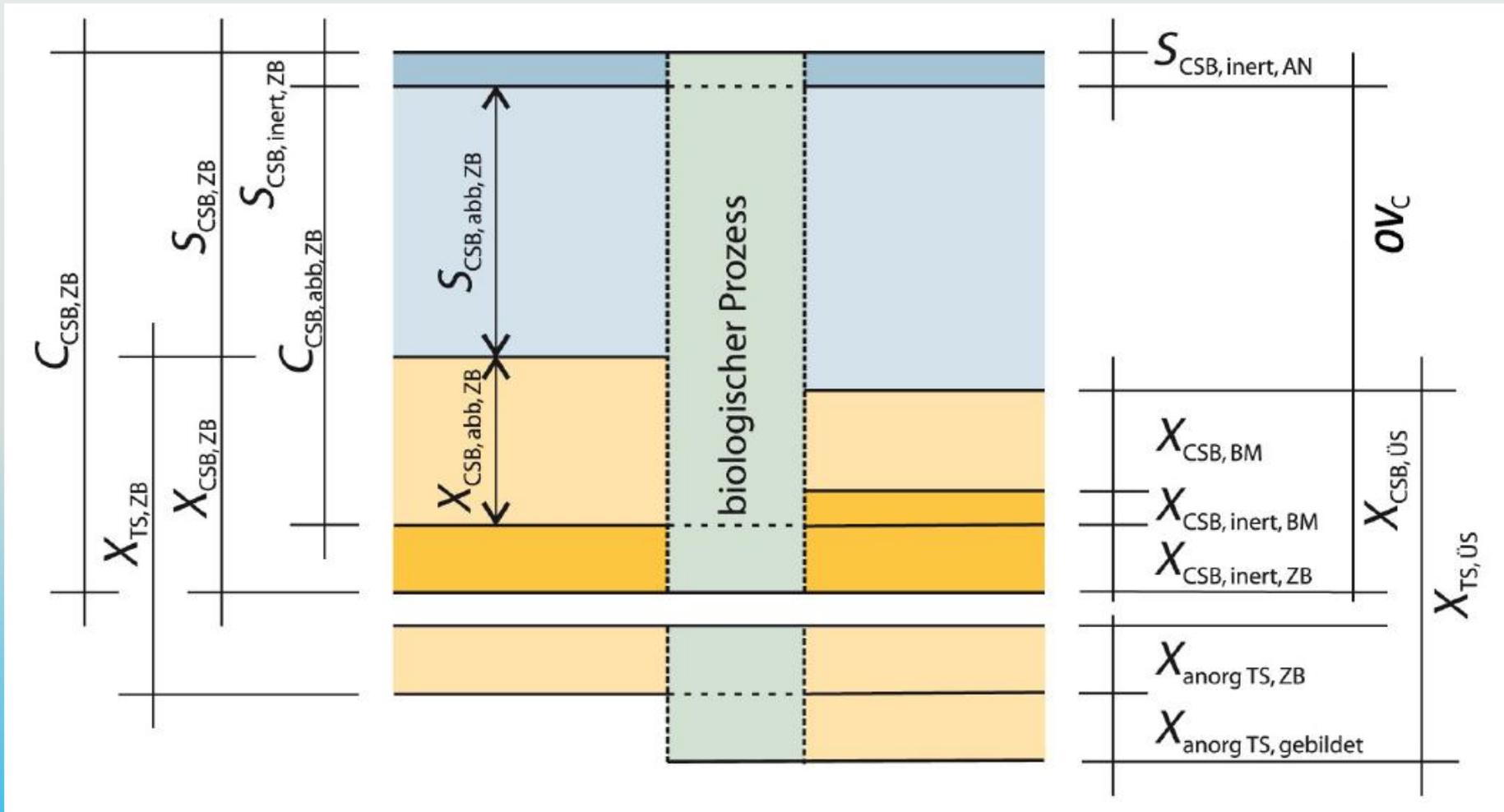
Fraktionierung des CSB im Zulauf einer Belebungsanlage anhand der Belastungsaustwerte

# CSB- und Feststoff-Fraktionierung



Beispiel zur Fraktionierung des CSB und der Feststoffe im Zu- und Ablauf einer Belebungsanlage

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren



Veränderung des CSB und der partikulären Stoffe bei der biologischen Behandlung

aus DWA-A 131, 2016

# Grundlegende Begriffe u. a. nach DWA-A 131, 2016 / KAINZ & GRUBER, 2011

- $V_{BB}$  **Volumen des Belebungsbeckens in  $m^3$**   
Die erforderliche Größe des Belebungsbeckens hängt ab vom Abwasserzufluss ( $m^3/h$ ), von den Abwassereigenschaften ( $BSB_5$ , Abbaubarkeit, Nährstoffe), vom geforderten Reinigungseffekt, von der im Belebungsbecken vorhandenen Belebtschlammmenge. Die Form des Beckens und das Belüftungssystem haben unter normalen Verhältnissen keinen Einfluss auf die Größe des Belebungsbeckens.
- $V_N$  **Volumen des zur Nitrifikation verfügbaren Anteils des Belebungsbeckens in  $m^3$**   
Beckenvolumen, in dem aerobe Verhältnisse herrschen
- $V_D$  **Volumen des zur Denitrifikation verfügbaren Anteils des Belebungsbeckens in  $m^3$**   
Beckenvolumen, in dem anoxische Verhältnisse herrschen
- $TS_{BB}$  **Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken in  $g/l$  bzw.  $kg/m^3$**   
Ein Maß für die im Belebungsbecken vorhandene Belebtschlammmenge (biologisch aktive Bakterienmasse) ist der Schlammgehalt, gemessen als Trockenmasse (g), der in 1 l Schlamm-Wasser-Gemisch enthaltenen Feststoffe. Die Bestimmung erfolgt analog den "abfiltrierbaren Stoffen" im Rohabwasser durch Filtrieren und nachfolgendes Trocknen und Wiegen des Filtrerrückstandes. Die damit ermittelte Trockensubstanz  $TS_{BB}$  erfasst jedoch nicht nur die biologisch aktive Bakterienmasse, sondern die gesamten im Schlamm-Wasser-Gemisch enthaltenen Feststoffe; sie ist somit nur ein Näherungswert für die vorhandene aktive Bakterienmasse.
- $M_{TS, BB}$  **Masse der Trockensubstanz (Feststoffe) des gesamten im Belebungsbecken vorhandenen Belebtschlammes in kg**
- $$M_{TS, BB} = V_{BB} * TS_{BB}$$

# Grundlegende Begriffe u. a. nach DWA-A 131, 2016 / KAINZ & GRUBER, 2011

$B_R$

Raumbelastung in  $\text{kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

Nachdem man erkannt hatte, dass die Reinigungswirkung einer Belebungsanlage nicht von der zugeführten Wassermenge, sondern von der zugeführten, als  $BSB_5$ -Fracht gemessenen Schmutzfracht abhängt, führte man den Begriff Raumbelastung  $B_R$  ein; sie ist definiert als die pro Tag und pro  $\text{m}^3$  Beckenvolumen eingeleitete  $BSB_5$ -Fracht. Die Raumbelastung berücksichtigt somit den Abwasserzulauf  $Q$  und die Verschmutzung  $BSB_5$  des Abwassers, nicht aber den Schlammgehalt  $TS_{BB}$  im Belebungsbecken.

$$B_R = \frac{BSB_5 - \text{Fracht in kg/d}}{\text{Beckenvolumen in m}^3} = \frac{B_{d,BSB5}}{V_{BB}}$$

$B_{TS}$

Schlammbelastung in  $\text{kg}/(\text{kg} \cdot \text{d})$

Der Reinigungseffekt einer Belebungsanlage bzw. die Restverschmutzung im Ablauf hängt davon ab, welche Menge biologisch abbaubarer Stoffe pro Tag der vorhandenen Belebtschlammmasse zugeführt wird. Man drückt dies durch den Begriff Schlammbelastung  $B_{TS}$  aus.

$$B_{TS} = \frac{BSB_5 - \text{Fracht in kg/d}}{\text{Masse der Trockensubstanz im Belebungsbecken}} = \frac{B_{d,BSB5}}{M_{TS,BB}}$$

# Grundlegende Begriffe

u. a. nach DWA-A 131, 2016 / KAINZ & GRUBER, 2011

Zusammenhang zwischen Raumbelastung  $B_R$  und Schlammbelastung  $B_{TS}$ :

Wegen  $V_{BB} = \frac{M_{TS, BB}}{TS_{BB}}$  und  $B_{TS} = \frac{B_{d, BSB_5}}{M_{TS, BB}}$  gilt

$$B_R = B_{TS} * TS_{BB} \quad \text{bzw.} \quad B_{TS} = \frac{B_R}{TS_{BB}}$$

Vor Veröffentlichung des derzeit gültigen A 131 waren die folgenden drei Größen die Grundlage für die Bemessung eines Belebungsbeckens für eine kommunale Kläranlage:

$$\begin{aligned} B_R &= && \leq 0,8 \text{ kg BSB}_5/\text{m}^3 \cdot \text{d} \\ B_{TS} &= && \leq 0,25 \text{ kg BSB}_5/\text{kg TS} \cdot \text{d} \\ TS_{BB} &= && 3,0 \dots 4,0 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ bzw. g/l} \end{aligned}$$

# Grundlegende Begriffe u. a. nach DWA-A 131, 2016 / KAINZ & GRUBER, 2011

**t** Aufenthaltszeit des Abwassers in h (engl.: HRT - Hydraulic Retention Time)

Die Bemessung des Belebungsbeckens erfolgte früher nur nach der Aufenthaltszeit  $t$  (= Durchflusszeit) und berücksichtigte somit lediglich den Abwasservolumenstrom im Zulauf  $Q$ , nicht aber die Abwassereigenschaften (Abwasserlast/-fracht) und die vorhandene Belebtschlammmenge.

$$t = \frac{\text{Beckenvolumen in } m^3}{\text{Abwasservolumenstrom in } m^3/h} = \frac{V_{BB}}{Q_h}$$

**$t_{TS}$**  Schlammalter in d (engl.: SRT - Sludge Retention Time)

Das Schlammalter  $t_{TS}$  ist die rechnerische mittlere Verweilzeit des Belebtschlamms im Belebungsbecken und ist durch den Quotienten aus der im Belebungsbecken vorhandenen Schlamm-trockenmasse  $M_{TS, BB}$  (kg) und der durchschnittlichen täglichen Überschussschlamm-entnahme  $\dot{U}S_d$  (kg/d) (= Überschussschlamm-anfall) definiert.

Bei dieser Definition wird vernachlässigt, dass sich auch im Nachklärbecken stets eine gewisse Schlamm-menge befindet, und dass geringe Schlamm-mengen auch mit dem Ablauf der Abwasser-reinigungs-anlage ausgetragen werden.

$$t_{TS} = \frac{V_{BB} * TS_{BB}}{\dot{U}S_d}$$

**$\dot{U}S_d$**  Überschussschlamm-anfall in kg/d

setzt sich zusammen aus dem Zuwachs an Biomasse und darin eingelagerten Primärfeststoffen  $\dot{U}S_{d,C}$  sowie ggf. dem Schlamm-anfall aus der Phosphat-fällung  $\dot{U}S_{d,P}$

$$\dot{U}S_d = \dot{U}S_{d,C} + \dot{U}S_{d,P}$$

# Grundlegende Begriffe u. a. nach DWA-A 131, 2016 / KAINZ & GRUBER, 2011

„Maßgebend für die Bemessung des Belebungsbeckens ist das Schlammalter ( $t_{TS}$ ), das in etwa der mittleren Aufenthaltszeit einer Schlammflocke im Belebungsbecken entspricht. Es ist definiert als der Quotient aus der Trockenmasse des Schlamms im Belebungsbecken ( $V_{BB} \cdot TS_{BB}$ ) und der im Mittel täglich produzierten (und abgezogenen bzw. abgetriebenen) Trockenmasse an Schlamm. Wenn das Belebungsbecken anoxische Zonen zur Denitrifikation aufweist ( $V_D$ ), ist das aerobe Schlammalter ( $t_{TS,aerob}$ ) als Quotient der Trockenmasse des Schlamms im aeroben Teil des Belebungsbeckens ( $V_N = V_{BB} - V_D$ ) und der im Mittel täglich produzierten Masse an Schlamm definiert.“

aus DWA-A 131, 2016

# Autotrophe und Heterotrophe

Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen bei mittleren Temperaturverhältnissen:

	$\mu_{\max}$
<b>Heterotrophe</b>	<b>ca. 6,00 /d</b>
<b>Autotrophe</b>	<b>ca. 0,58 /d</b>

Ergo: Heterotrophe haben eine rund 10-fach höhere Wachstumsgeschwindigkeit als Autotrophe! Das für die Bemessung einer Belebungsanlage ausschlaggebende Problemfeld ist demzufolge die Nitrifikation.

# Autotrophe und Heterotrophe

Wachstumsgeschwindigkeit der nitrifizierenden Bakterien nach GUJER, 2007:

$$\mu_{\max} = 0.29 \text{ d}^{-1} \cdot \exp(0.11 \cdot (T - 10^\circ\text{C}))$$

in üblicher mathematischer Schreibweise heißt das:

$$\mu_{\max} = 0,29 * e^{(0,11 * (T - 10))}$$

wobei  $e$  Eulersche Zahl (2,71828182845904...)  
 $T$  Temperatur im Belebungsbecken in °C

		$\mu_{\max, \text{Autotrophe}}$
$T_{\max.}$	18 °C	0,70 /d
$T_{\min.}$	12 °C	0,36 /d

Unter den in D üblichen Temperaturen halbiert sich die Wachstumsgeschwindigkeit im Winter im Vergleich zum Sommerbetrieb! Um die gleiche Masse an Nitrifikanten im System zu halten, müsste der Reaktorraum (= Beckenvolumen) entsprechend vergrößert – d.h. in etwa verdoppelt – werden!

# Gesetzl. Mindestanforderungen

## C Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle

(1) An das Abwasser für die Einleitungsstelle in das Gewässer werden folgende Anforderungen gestellt:

Proben nach Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> )	Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N <sub>ges</sub> )	Phosphor gesamt (P <sub>ges</sub> )
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
	Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe				
Größenklasse 1 kleiner als 60 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	150	40	-	-	-
Größenklasse 2 60 bis 300 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	110	25	-	-	-
Größenklasse 3 größer als 300 bis 600 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	-	-
Größenklasse 4 größer als 600 bis 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	18	2
Größenklasse 5 größer als 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	75	15	10	13	1

**Auszug aus Abwasserverordnung, Anhang 1 „Häusliches und kommunales Abwasser“**

# Gesetzl. Mindestanforderungen

## C Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle

(1) An das Abwasser für die Einleitungsstelle in das Gewässer werden folgende Anforderungen gestellt:

Proben nach Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen	Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N)	Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N <sub>ges</sub> )	Phosphor gesamt (P <sub>ges</sub> )
			mg/l	mg/l	mg/l
<p>„...Die Anforderungen gelten für Ammoniumstickstoff und Stickstoff, gesamt, bei einer Abwassertemperatur von 12 °C und größer im Ablauf des biologischen Reaktors der Abwasserbehandlungsanlage. An die Stelle von 12 °C kann auch die zeitliche Begrenzung vom 1. Mai bis 31. Oktober treten...“</p>					
Größenklasse 1 kleiner als 60 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	150	40	-	-	-
Größenklasse 2 60 bis 300 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	110	25	-	-	-
Größenklasse 3 größer als 300 bis 600 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	-	-
Größenklasse 4 größer als 600 bis 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	18	2
Größenklasse 5 größer als 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	75	15	10	13	1

Auszug aus Abwasserverordnung, Anhang 1 „Häusliches und kommunales Abwasser“

# Literaturverzeichnis

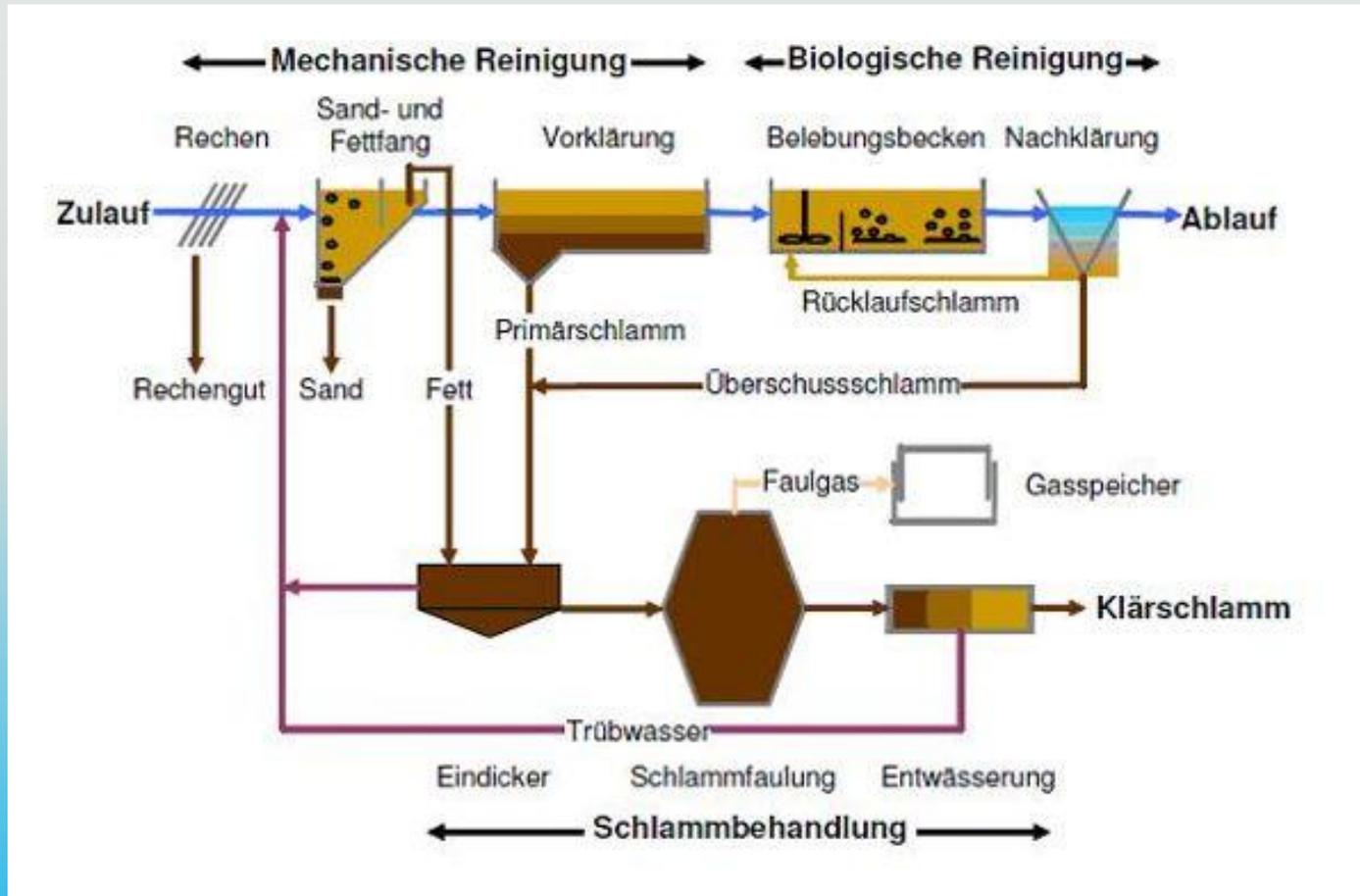
ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
DWA-A 131, 2016	Arbeitsblatt DWA-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, Juni 2016
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft
LONDONG et al., 2009	Abwasserbehandlung Gewässerbelastung, Bemessungsgrundlagen, Mechanische Verfahren, Biologische Verfahren, Reststoffe aus der Abwasserbehandlung, Kleinkläranlagen Bauhaus-Universität Weimar, September 2009

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

## Bemessung Klärwerk Stahnsdorf nach DWA-A 131 – Teil 1

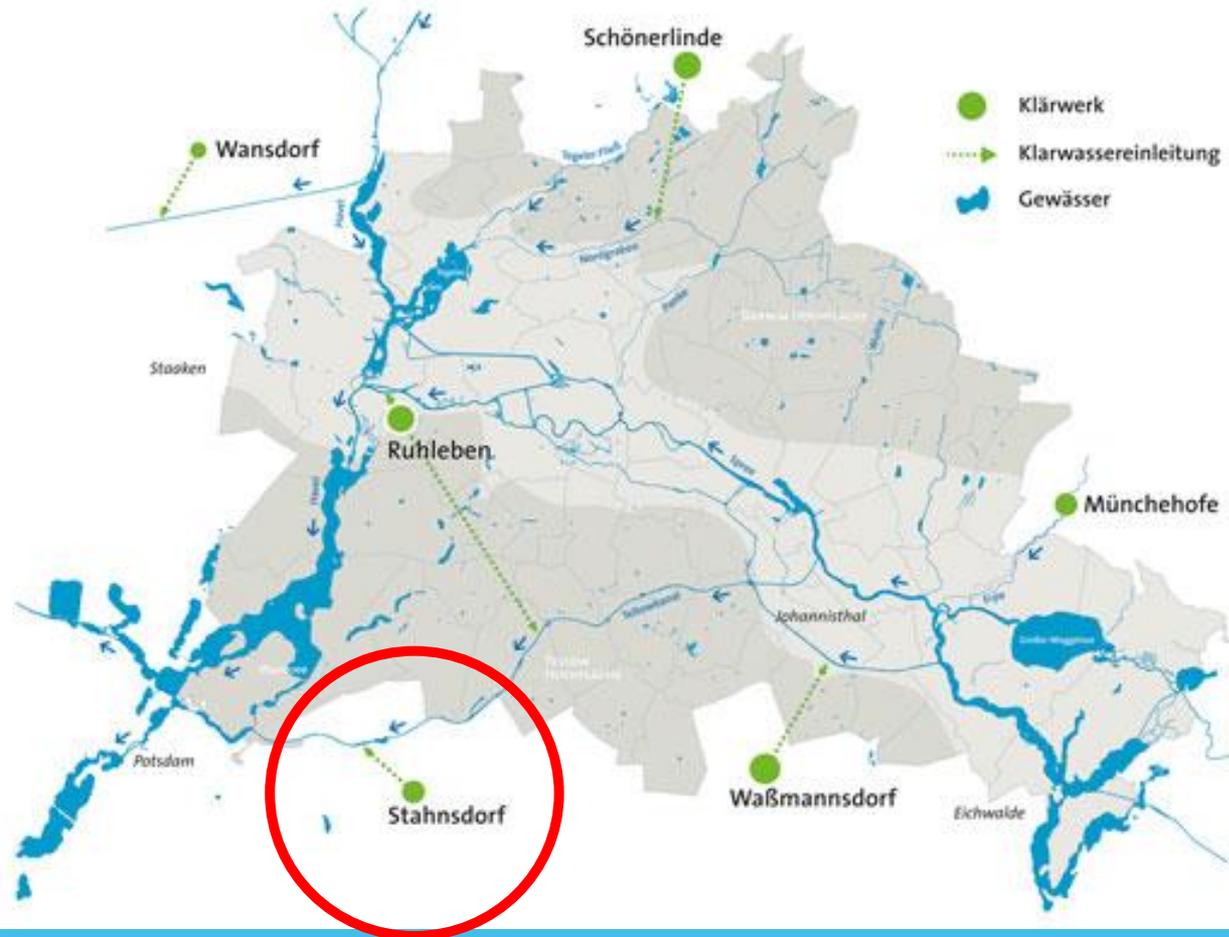
(Zulaufwerte, CSB- und Feststoffbilanz sowie  
Fraktionierung, Schlammalter, Schlammmanfall,  
VKB)

# Übliches Design einer kommunalen Kläranlage mit vorgeschalteter Denitrifikation



Bildquelle: <https://info.bmlrt.gv.at/themen/wasser/wasserqualitaet/abwasserreinigung/klaeranlage.html>

# Klärwerk Stahnsdorf

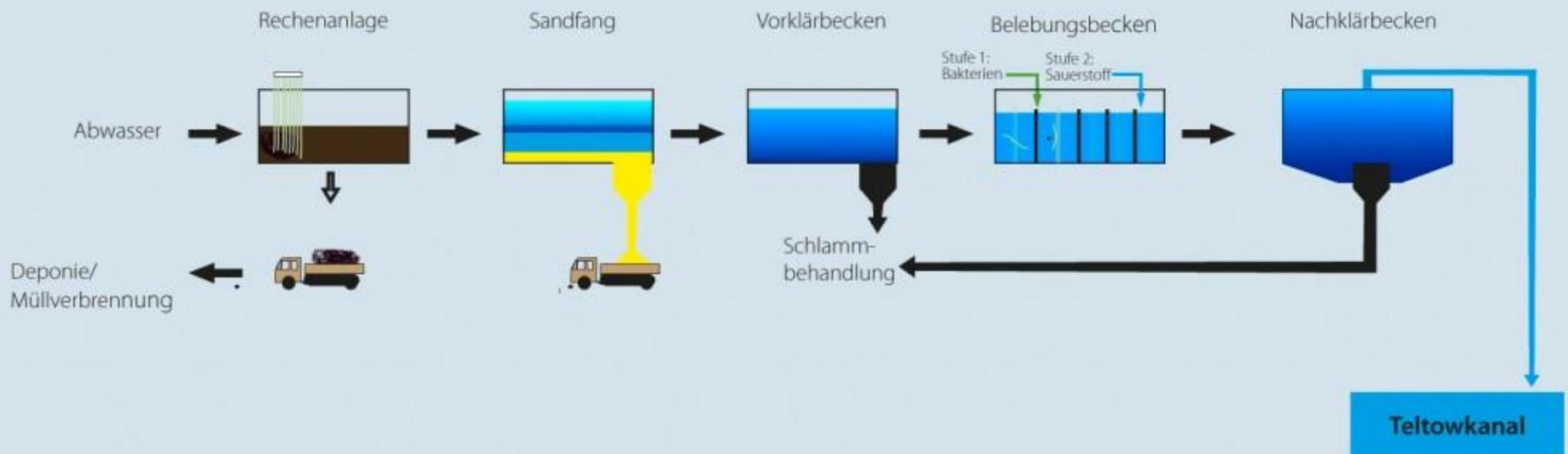


# Klärwerk Stahnsdorf

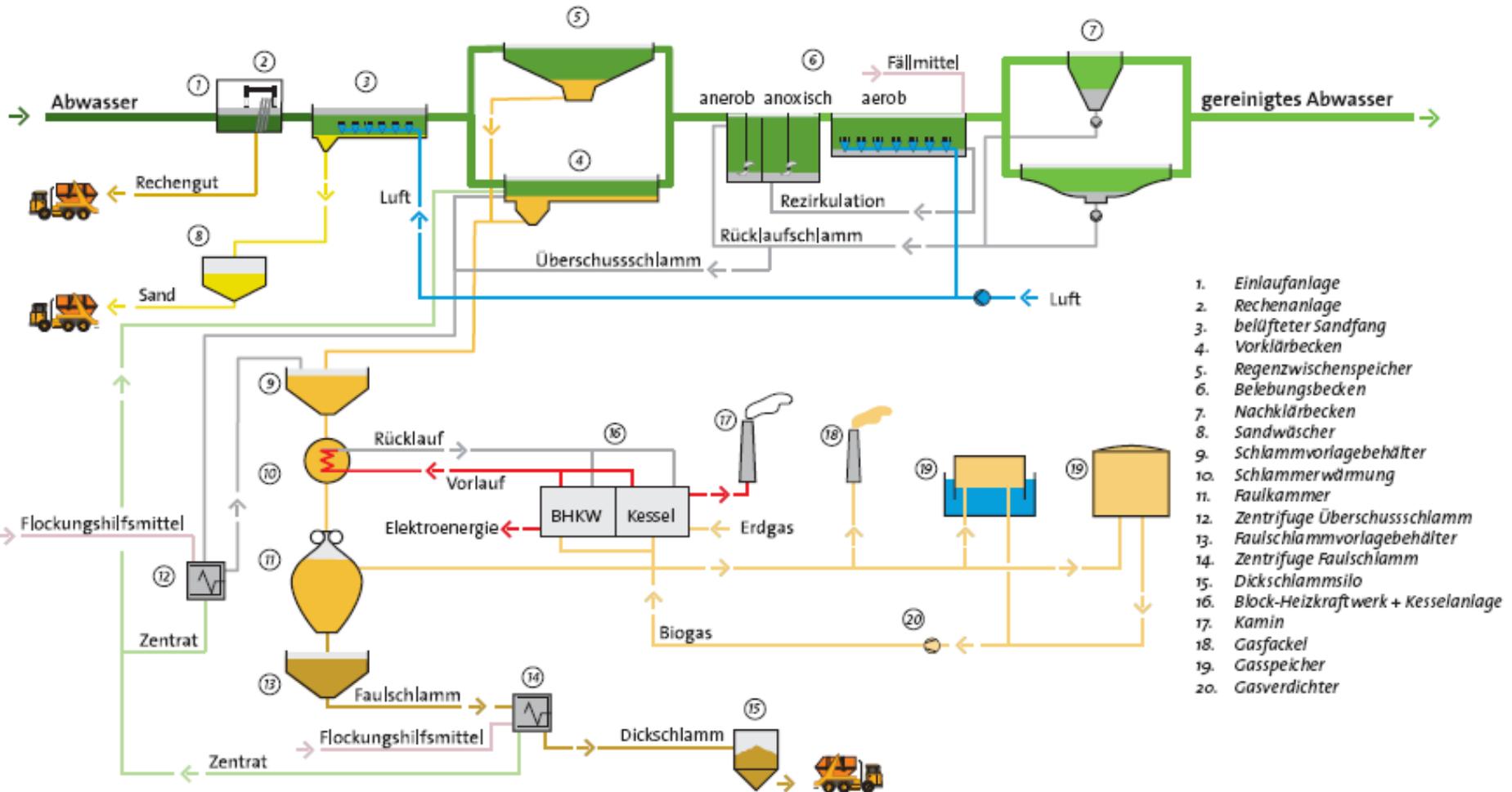


# Verfahrensfließbild Klärwerk Stahnsdorf

Verfahrensfließbild – Klärwerk Stahnsdorf



# Verfahrensfließbild Klärwerk Stahnsdorf



1. Einlaufanlage
2. Rechenanlage
3. belüfteter Sandfang
4. Vorklärbecken
5. Regenwischenspeicher
6. Belebungsbecken
7. Nachklärbecken
8. Sandwäscher
9. Schlammvorlagebehälter
10. Schlammwärmer
11. Faulkammer
12. Zentrifuge Überschussschlamm
13. Faulschlammvorlagebehälter
14. Zentrifuge Faulschlamm
15. Dickschlammstilo
16. Block-Heizkraftwerk + Kesselanlage
17. Kamin
18. Gasfackel
19. Gasspeicher
20. Gasverdichter

# Aufgabe: Bemessungsgrundlagen nach A 131

Arbeiten Sie das Kapitel „4. Bemessungsgrundlagen, 4.1 Ermittlung der Belastungsdaten“ des DWA-A 131 durch! Fassen Sie kurz zusammen, welche Ausgangsinformationen benötigt werden, um eine Kläranlage nach A 131 zu bemessen!

In Präsenz-LV  
5 Minuten  
Selbststudium

DWA-A  
131

# Bemessungsgrundlagen nach A 131

<b>Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter</b>	<b><math>Q_d</math></b>
<b>Tägliche CSB-Fracht im Zulauf zur KA</b>	<b><math>B_{d,CSB}</math></b>
<b>Tägliche Feststofffracht im Zulauf zur KA</b>	<b><math>B_{d,X,TS}</math></b>
<b>Tägliche N-Fracht im Zulauf zur KA</b>	<b><math>B_{d,N}</math></b>
<b>Tägliche P-Fracht im Zulauf zur KA</b>	<b><math>B_{d,P}</math></b>
<b>Maßgebende Konzentration des CSB</b>	<b><math>C_{CSB}</math></b>
<b>Maßgebende N-Konzentration</b>	<b><math>C_N</math></b>
<b>Maßgebende Konzentration des Phosphors</b>	<b><math>C_P</math></b>

# Bemessungsgrundlagen nach A 131

<b>behördlicher Überwachungswert, CSB</b>	<b><math>C_{CSB,ÜW}</math></b>
<b>behördlicher Überwachungswert, <math>N_{anorg.}</math></b>	<b><math>S_{anorgN,ÜW}</math></b>
<b>behördlicher Überwachungswert, <math>P_{ges.}</math></b>	<b><math>C_{P,ÜW}</math></b>
<b>Maßgebende tiefste Abwassertemperatur</b>	<b><math>T_{Bem., tief}</math></b>
<b>Maßgebende höchste Abwassertemperatur</b>	<b><math>T_{Bem., hoch}</math></b>

[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

Wir erinnern uns:

$C$  - Konzentration eines Stoffes in der homogenisierten Probe (z.B. Total COD)

$S$  - Konzentration eines Stoffes in der filtrierten Probe (z.B. COD soluble)

$X$  - Feststoffkonzentration (aus der homogenisierten Probe z.B. COD particulate)

$Q$  - Abwasservolumenstrom

$B$  - Last (oder Fracht) eines Stoffes in einem Abwasserstrom oder Fließgewässer  
(Produkt aus  $C$  und  $Q$ )

# Aufgabe: Größenklasse und Mindestanforderungen für KA Stahnsdorf

Studieren Sie die auf Moodle eingestellten Dokumente

In Präsenz-LV  
5 Minuten  
Selbststudium

**Kurzbeschreibung und Verfahrensfließbild der KA Stahnsdorf**

und

**Datenblatt sowie Zulauf- und Ablaufwerte der KA Stahnsdorf**

Nach Anhang 1 (Häusliches und kommunales Abwasser) der Abwasserverordnung werden die Mindestanforderungen an die Beschaffenheit des Ablaufs in ein Gewässer nach Größenklassen gestaffelt.

**Welche Größenklasse gilt für KA Stahnsdorf?**

**Welche Mindestanforderungen gelten demzufolge für diese KA?**

# Bemessung KA Stahnsdorf nach A 131

Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Bemessung siehe Moodle, DWA-Regelwerk & Sonstige Unterlagen:

DWA-A  
131

## DWA-A 131 –

### Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen.pdf

Praktische Übung anhand der Excel-Tabelle (ebenfalls auf Moodle eingestellt)

[Bemessung KA Stahnsdorf nach A 131.xlsx](#)

# Ausgangsdaten zur Bemessung der KA Stahnsdorf

Symbol in A 131	Bedeutung	Meaning (engl.)	Wert
$EW$	Einwohnerwert	Population equivalent (PE)	420.000 EW
$Q_d$	Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	Daily wastewater inflow in dry weather	52.000 m <sup>3</sup> /d
$Q_m$	Bemessungszufluss bei Regenwetter	Design wastewater inflow in stormy weather	156.000 m <sup>3</sup> /d
$B_{d,CSB,Z}$	Tägliche CSB-Fracht im Zulauf zur KA	Daily COD load	54,68 t/d
$B_{d,BSB,Z}$	Tägliche BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur KA	Daily BOD load	22,8 t/d
$B_{d,TKN,Z}$	Tägliche TKN-Fracht im Zulauf zur KA	Daily TKN load	4,7 t/d
$B_{d,NO_3-N,Z}$	Tägliche NO <sub>3</sub> -N-Fracht im Zulauf zur KA	Daily nitrate load	0 t/d
$B_{d,P,Z}$	Tägliche P-Fracht im Zulauf zur KA	Daily phosphorus load	0,6 t/d
$B_{d,AFS,Z}$	Tägliche Feststofffracht im Zulauf zur KA	Daily total solids load	23,9 t/d

Zulaufwerte

$$Q_m = Q_d * (1 + 2)$$

22,8 t/d

Maßgeblich für Einstufung der Kläranlage in Größenklasse gemäß Anhang 1 der Abwasserverordnung

[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

# Ausgangsdaten zur Bemessung der KA Stahnsdorf

## Techn. Daten

Symbol in A 131	Bedeutung	Meaning (engl.)	Wert
	Stababstand Rechen	Bar distance of the screen	8 cm
	Volumen Sandfang (belüftet)	Volume of grit trap	2 x 920 m <sup>3</sup>
$Q_{ZB}$	Abwasserzulauf zum BB	Influent flow to activated sludge aeration tank	52.000 m <sup>3</sup> /d
$Q_{RS}$	Rücklaufschlammförderung	Recycled activated sludge (RAS) flow	70% von $Q_{ZB}$
$Q_{ÜS}$	Überschussschlamm-entnahme	Wasted activated sludge (WAS) flow	1.900 m <sup>3</sup> /d
$TS_{BB}$	Feststoffgehalt im BB	Mixed Liquor Suspended Solids	3,5 - 5,0 g/l
$TS_{RS}$	Feststoffgehalt im Rücklaufschlamm	RAS solids	8 g/l
$X_{TS,AN}$	Feststoffgehalt im Ablauf des NKB	Effluent solids	11,6 mg/l
$T_{Bem.,tief}$	Maßgebende tiefste Abwassertemperatur	Lowest dimensioning temperature	12°C
$T_{Bem.,hoch}$	... höchste ...	Highest ...	keine Angabe

# Ausgangsdaten zur Bemessung der KA Stahnsdorf

## Techn. Daten

Symbol in A 131	Bedeutung	Meaning (engl.)	Wert
	Volumen Vorklärung	Volume of Primary sedimentation tank	2.500 m <sup>3</sup>
	Volumen fakultativ Vorklärung oder Zwischenspeicherbecken bei Regenwetter	Volume optional pre-treatment or storage tank in stormy weather	7.800 m <sup>3</sup>
	Gesamtvolumen Belebung darunter	Total volume of activated sludge tanks	66.200 m <sup>3</sup>
	anaerob	anaerobic	6.000 m <sup>3</sup>
	anoxisch	anoxic	23.000 m <sup>3</sup>
	aerob	aerobic	37.200 m <sup>3</sup>
	Volumen Nachklärung	Volume of secondary sedimentation tank	17.600 m <sup>3</sup>
$V_{Luft,OC}$	Luftzufuhr	Aeration	keine Angabe
$erf. \alpha * OC$	maximale Sauerstoffzufuhr	Oxygen transfer, maximum	keine Angabe

# Ausgangsdaten zur Bemessung der KA Stahnsdorf

Symbol in A 131	Bedeutung	Meaning (engl.)	Wert
$C_{CSB,ÜW}$	behördlicher Überwachungswert, CSB	Limit value COD	68 mg/l
$S_{Nanorg.,ÜW}$	behördlicher Überwachungswert, Nanorg.	Limit value nitrogen	13 mg/l
$C_{P,ÜW}$	behördlicher Überwachungswert, Pges.	Limit value phosphorus	1 mg/l

Überwachungswerte

[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

# Wiederholung: Mindestanforderungen

## C Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle

(1) An das Abwasser für die Einleitungsstelle in das Gewässer werden folgende Anforderungen gestellt:

Proben nach Größenklassen der Abwasserbehandlungsanlagen	Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)  mg/l	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB <sub>5</sub> )  mg/l	Ammoniumstickstoff (NH <sub>4</sub> -N)  mg/l	Stickstoff, gesamt, als Summe von Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff (N <sub>ges</sub> )  mg/l	Phosphor gesamt (P <sub>ges</sub> )  mg/l
Qualifizierte Stichprobe oder 2-Stunden-Mischprobe					
Größenklasse 1 kleiner als 60 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	150	40	-	-	-
Größenklasse 2 60 bis 300 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	110	25	-	-	-
Größenklasse 3 größer als 300 bis 600 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	-	-
Größenklasse 4 größer als 600 bis 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	90	20	10	18	2
Größenklasse 5 größer als 6 000 kg/d BSB <sub>5</sub> (roh)	75	15	10	13	1

**Auszug aus Abwasserverordnung, Anhang 1 „Häusliches und kommunales Abwasser“**

# Überwachungswerte KA Stahnsdorf

Parameter	Kürzel	MA	Ü-Wert
behördlicher Überwachungswert, CSB	$C_{CSB,ÜW}$	75 mg/l	68 mg/l
behördlicher Überwachungswert, $N_{anorg.}$	$S_{anorgN,ÜW}$	13 mg/l	13 mg/l
behördlicher Überwachungswert, $P_{ges.}$	$C_{P,ÜW}$	1 mg/l	1,0 mg/l

Die Berliner Wasserbehörde hielt es offenbar aus Gründen des Immissionsschutzes für geboten, für CSB einen Überwachungswert (Spalte Ü-Wert) festzulegen, der „schärfer“ als die Mindestanforderungen (Spalte MA) gemäß Anhang 1 „Häusliches und kommunales Abwasser“ der Abwasserverordnung ist.

# Zulauf- und Ablaufwerte der KA Stahnsdorf

Parameter	Zulaufmengen	Resultierende Zulaufkonzentration bei 52 000 m <sup>3</sup> /d	Ablaufwerte gerundet	Eliminierung
BSB	22,80 t/d	438 mg/l	5 mg/l	98,9%
CSB	54,68 t/d	1052 mg/l	41 mg/l	96,1%
TKN	4,70 t/d	90 mg/l		
NH <sub>4</sub> -N	3,42 t/d	66 mg/l	0,2 mg/l	99,7%
TIN	3,42 t/d	66 mg/l	11,3 mg/l	82,9%
P gesamt	0,60 t/d	12 mg/l	0,6 mg/l	95,0%
AFS	23,90 t/d	460 mg/l	7 mg/l	98,5%

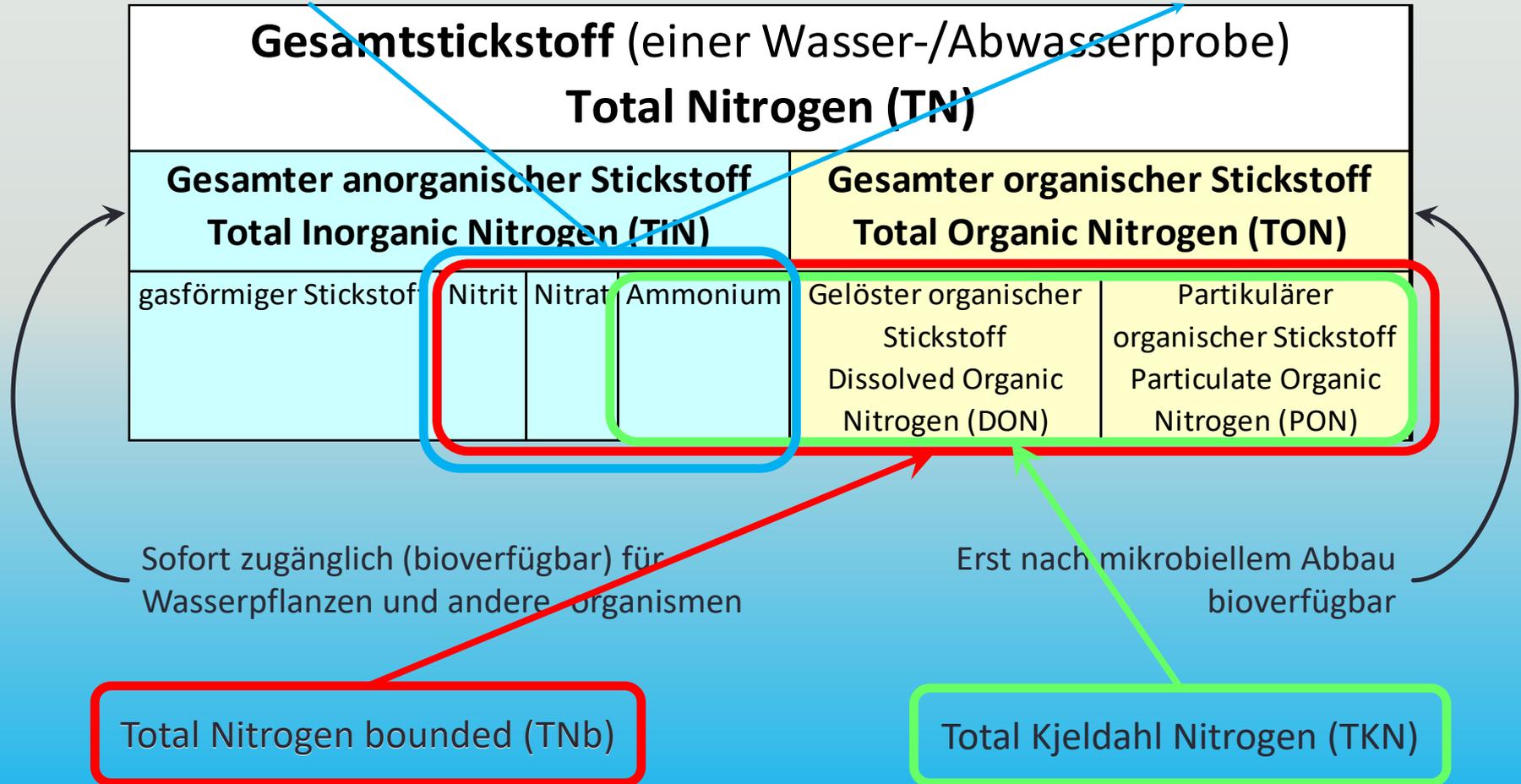
[Excel-Tabelle, Register  
„1 Zulaufwerte“](#)

(nach Angaben der BWB)

# N-Bilanz und Fraktionierung

$\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  kommen ausschließlich in gelöster Form vor!

Summe aus  $\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  ist in D i.a.R auch Überwachungswert ( $\text{N}_{\text{ges.anorg.}}$ )!



# Aufgabe: CSB-Fraktionierung KA Stahnsdorf

Arbeiten Sie das Kapitel

## **4.2 Fraktionierung des chemischen Sauerstoffbedarfs**

des DWA-A 131 durch!

In der letzten LV hatten wir die CSB-Fraktionen und deren Bedeutung bereits besprochen. Studieren Sie, was dazu in DWA-A 131 steht!

Aus den vorhandenen Zulaufwerten für Klärwerk Stahnsdorf sollen die maßgeblichen Fraktionen des CSB und der Feststoffe im Zulauf zum Belebungsbecken ermittelt werden. Soweit keine Angaben vorliegen, sind diese unter Verwendung der in DWA-A 131 aufgeführten Faustwerte zu schätzen.

In Präsenz-LV  
15 Minuten  
Selbststudium

DWA-A  
131

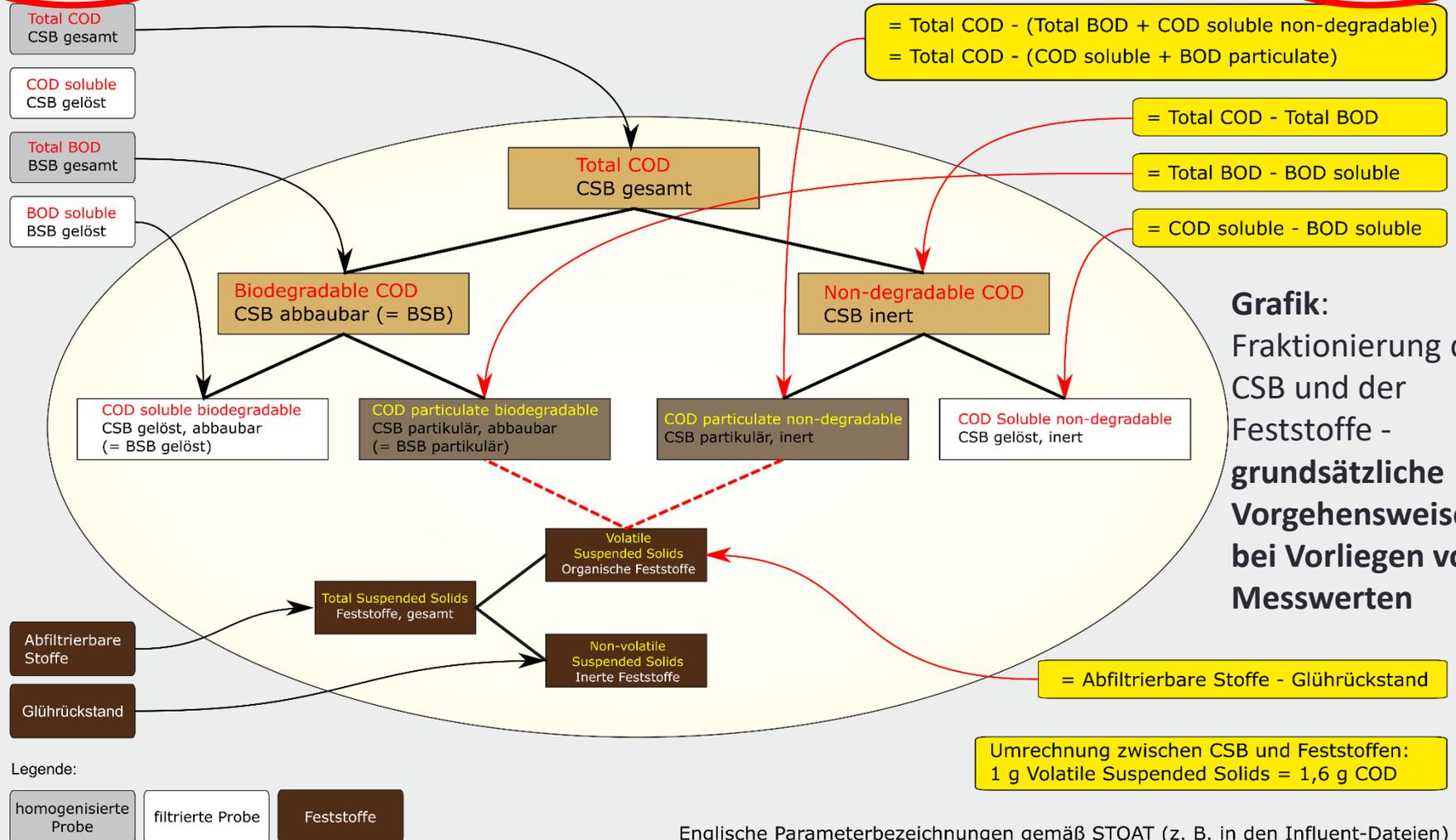
[Excel-Tabelle, Register  
„2 CSB-Bilanz“](#)

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

(Bei Vorliegen der links aufgeführten Messwerte für CSB, BSB und Feststoffe)

Messung

Berechnung



= Total COD - (Total BOD + COD soluble non-degradable)  
= Total COD - (COD soluble + BOD particulate)

= Total COD - Total BOD

= Total BOD - BOD soluble

= COD soluble - BOD soluble

= Abfiltrierbare Stoffe - Glührückstand

**Grafik:**  
Fraktionierung des CSB und der Feststoffe - grundsätzliche Vorgehensweise bei Vorliegen von Messwerten

Englische Parameterbezeichnungen gemäß STOAT (z. B. in den Influent-Dateien)

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

(Mittelwerte für normal verschmutztes häusliches Abwasser)

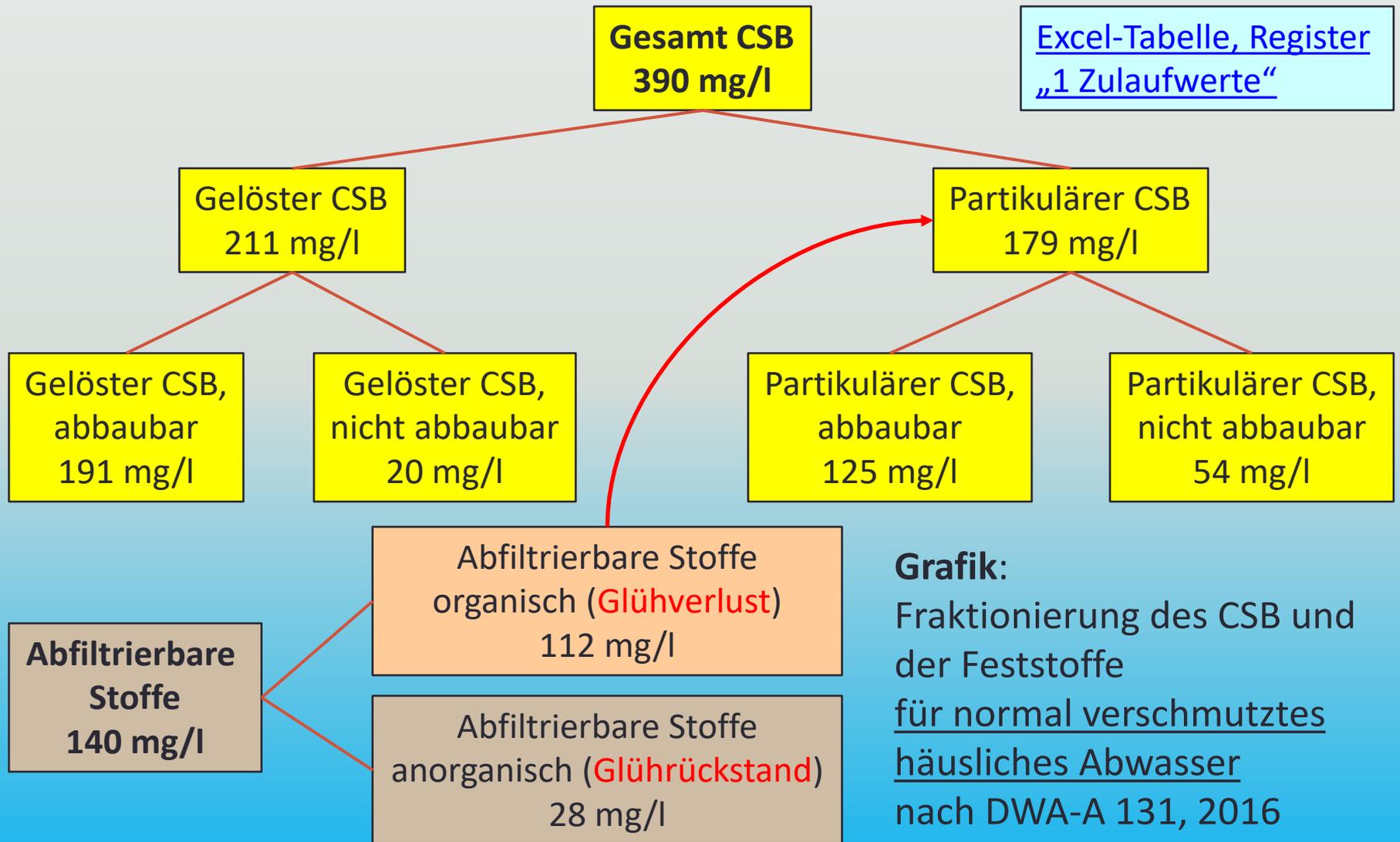
DWA-A 131		engl. Bezeichnung	Zulauf Kläranlage			$\eta_{\text{VKB}}$	Zulauf Belebung nach 1,5...2 h VKB		Rechenschritt
Symbol	Erläuterung		Konzentration (zurück gerechnet aus ZB)	Anteil an Total COD	Konzentration		Anteil an Total COD		
$C_{\text{CSB}}$	Konzentration des CSB in der homogenisierten Probe	Total COD	600 mg CSB/l	600 mg CSB/l	100%	35,0%	390 mg CSB/l	100%	1
$X_{\text{TS}}$	Konzentration der mit 0,45 $\mu\text{m}$ Membranfilter abfiltrierbaren Stoffe nach Trocknung bei 105 °C	Total SS	350 mg TS/l	350 mg TS/l	100%	60,0%	140 mg TS/l	100%	2
$X_{\text{anorgTS}}$	Konzentration der abfiltrierbaren anorganischen Stoffe	Nonvolatile SS	105 mg TS/l	70 mg TS/l	20%	60,0%	28 mg TS/l	20%	3
$X_{\text{orgTS}}$	Konzentration der abfiltrierbaren organischen Stoffe	Volatile SS	245 mg TS/l	280 mg TS/l	80%	60,0%	112 mg TS/l	80%	4
$X_{\text{CSB}}$	Konzentration des partikulären CSB (Filterrückstand)	COD particulate		400 mg CSB/l	67%	55,0%	180 mg CSB/l	46%	5
$S_{\text{CSB}}$	Konzentration des gelösten CSB in der mit 0,45 $\mu\text{m}$ filtrierten Probe	COD soluble		210 mg CSB/l	35%	0,0%	210 mg CSB/l	54%	6
$S_{\text{CSB}^{\text{inert}}}$	Konzentration des gelösten, inerten CSB	COD soluble, nondegradable		20 mg CSB/l	3%	0,0%	20 mg CSB/l	5%	7
$X_{\text{CSB}^{\text{inert}}}$	Konzentration des inerten, partikulären CSB	COD particulate, nondegradable		120 mg CSB/l	20%	55,0%	54 mg CSB/l	14%	8
$C_{\text{CSB}^{\text{abb}}}$	Konzentration des abbaubaren CSB in der homogenisierten Probe	COD biodegradable (= Total BOD)		486 mg CSB/l	81%	35,0%	316 mg CSB/l	81%	9
$X_{\text{CSB}^{\text{abb}}}$	Konzentration des abbaubaren, partikulären CSB	COD particulate, biodegradable (= Particulate BOD)		280 mg CSB/l	47%	55,0%	126 mg CSB/l	32%	10
$S_{\text{CSB}^{\text{abb}}}$	Konzentration des gelösten, abbaubaren CSB	COD soluble biodegradable (= Soluble BOD)	☐	190 mg CSB/l	32%	0,0%	190 mg CSB/l	49%	11
$C_{\text{CSB}^{\text{inert}}}$	Konzentration des inerten CSB in der homogenisierten Probe	COD nondegradable		114 mg CSB/l	19%	35,0%	74 mg CSB/l	19%	12

**Tabelle:**  
 Fraktionierung des CSB und der Feststoffe nach **DWA-A 131, 2016** für normal verschmutztes häusliches Abwasser

[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

(Mittelwerte für normal verschmutztes häusliches Abwasser)



## Grafik:

Fraktionierung des CSB und der Feststoffe für normal verschmutztes häusliches Abwasser nach DWA-A 131, 2016

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

Vorgehensweise, wenn nur der  $CSB_{\text{gesamt}}$  und die abfiltrierbaren Stoffe bekannt sind  
(unter Verwendung der Faustwerte gemäß DWA-A 131, 2016)

## 1. Fraktionierung der Feststoffe (abf. Stoffe)

### 1a) Bestimmung der anorganischen Fraktion Feststoffe ( $X_{\text{anorgTS,ZB}}$ )

= abfiltr. Stoffe \* Faustwert  $f_B$

(gemäß DWA-A 161:  $f_B = 0,3$  für Rohabwasser

bzw.  $f_B = 0,2$  für vorgeklärtes Abwasser)

### 1b) Berechnung der organischen Fraktion der Feststoffe ( $X_{\text{orgTS,ZB}}$ )

= abfiltr. Stoffe - anorganische Feststofffraktion

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

## 2. Ermittlung der partikulären CSB-Fraktion ( $X_{\text{CSB,ZB}}$ )

= org. Feststofffraktion \* Faustwert  
(gemäß DWA-A 161: 1,6 g CSB/g org. TS)

## 3. Berechnung der gelösten CSB-Fraktion ( $S_{\text{CSB,ZB}}$ )

=  $\text{CSB}_{\text{gesamt}}$  - partikuläre CSB-Fraktion

## 4. Ermittlung der schwer abbaubaren gelösten CSB-Fraktion ( $S_{\text{CSB,inert,ZB}}$ )

=  $\text{CSB}_{\text{gesamt}}$  \* Faustwert  $f_s$   
(gemäß DWA-A 161:  $f_s = 0,05$ )

## 5. Berechnung der gelösten abbaubaren CSB-Fraktion ( $S_{\text{CSB,abb,ZB}}$ )

= gelöste CSB-Fraktion - schwer abbaubare gelöste CSB-Fraktion

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung

6. Ermittlung der schwer abbaubaren partikulären CSB-Fraktion ( $X_{\text{CSB, inert, ZB}}$ )

= partikuläre CSB-Fraktion \* Faustwert  $f_A$   
(gemäß DWA-A 161:  $f_A = 0,3$ )

7. Berechnung der partikulären abbaubaren CSB-Fraktion ( $X_{\text{CSB abb, ZB}}$ )

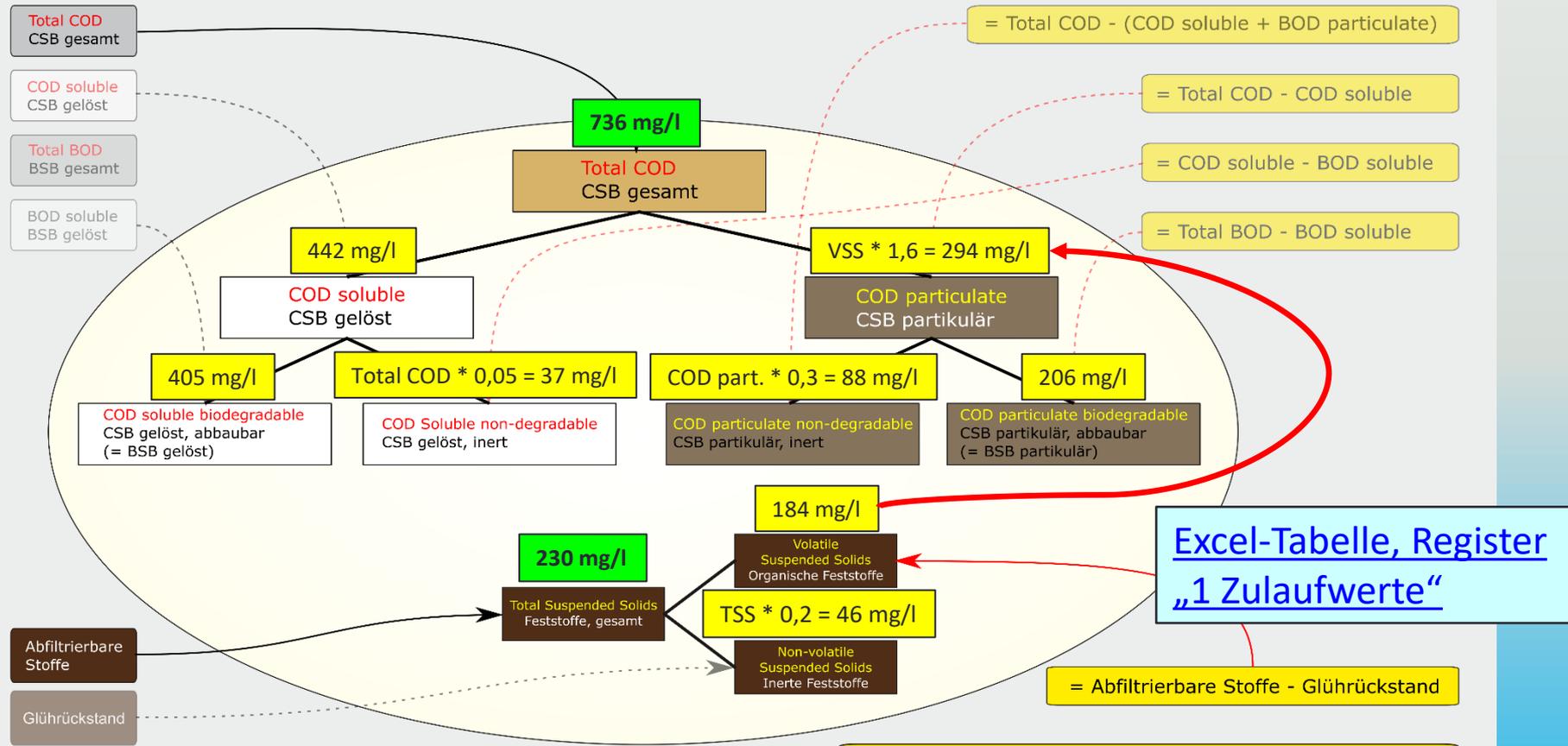
= partikuläre CSB-Fraktion - schwer abbaubare partikuläre CSB-Fraktion

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung KA Stahnsdorf Version A

Bei der hier – und in der Excel-Tabelle - zur Anwendung gebrachten Fraktionierung wird lediglich auf zwei Messwerte zurückgegriffen (Total COD und Total Suspended Solids). Daraus werden alle erforderlichen Kompartimente mit Hilfe der in DWA-A 131 angegebenen Formeln errechnet.

## Messung

## Berechnung



[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

- Legende:
- homogenisierte Probe
  - filtrierte Probe
  - Feststoffe

Umrechnung zwischen CSB und Feststoffen nach DWA-A 131:  
1 g Volatile Suspended Solids = 1,6 g COD

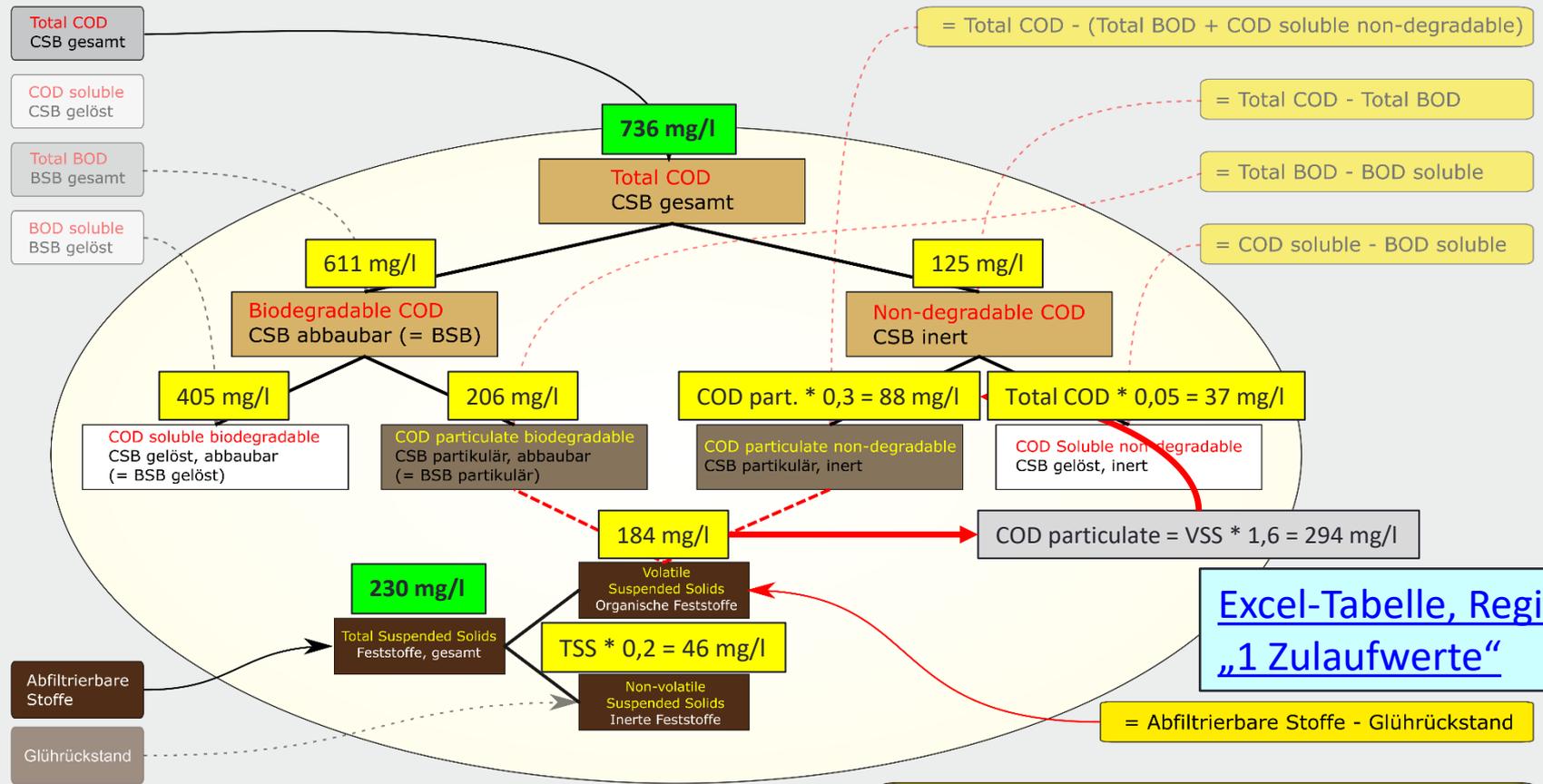
Englische Parameterbezeichnungen gemäß STOAT (z.B. in den Influent-Dateien)

# CSB-/Feststoff-Fraktionierung KA Stahnsdorf Version B

Bei der hier – und in der Excel-Tabelle - zur Anwendung gebrachten Fraktionierung wird lediglich auf zwei Messwerte zurückgegriffen (Total COD und Total Suspended Solids). Daraus werden alle erforderlichen Kompartimente mit Hilfe der in DWA-A 131 angegebenen Formeln errechnet.

## Messung

## Berechnung



[Excel-Tabelle, Register „1 Zulaufwerte“](#)

### Legende:

- homogenisierte Probe
- filtrierte Probe
- Feststoffe

Umrechnung zwischen CSB und Feststoffen nach DWA-A 131:  
1 g Volatile Suspended Solids = 1,6 g COD

Englische Parameterbezeichnungen gemäß STOAT (z. B. in den Influent-Dateien)

# Aufgabe: Beckenvolumina der biologischen Behandlung der KA Stahnsdorf

Die Volumina der biologischen Behandlungsstufen der Klärwerk Stahnsdorf gehen aus dem Dokument „Klärwerk Stahnsdorf“ hervor. Sie sollen aber nach dem A 131 überprüft werden. Dazu sollen zunächst die verschiedenen Volumina, die für die biologische Phosphateliminierung (anaerob), Nitrifikation (aerob) bzw. Denitrifikation (anoxisch) zur Verfügung stehen, in einer Skizze eingetragen werden.

In Präsenz-LV  
5 Minuten  
Selbststudium

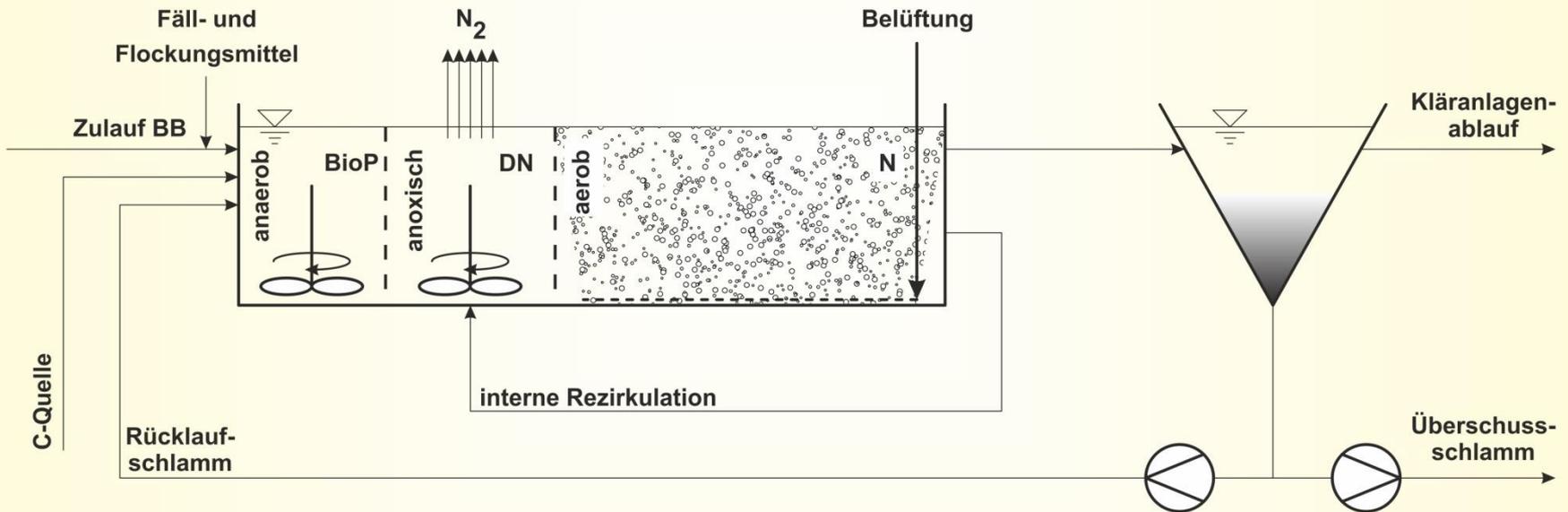
DWA-A  
131

# Skizze KA Stahnsdorf, maßgebliche Stufen

Stufe	VKB	BioP	DN	N	NKB
Volumen	2.500 m <sup>3</sup>	6.000 m <sup>3</sup>	23.000 m <sup>3</sup>	37.200 m <sup>3</sup>	17.600 m <sup>3</sup>
		66.200 m <sup>3</sup>			

## Belebungsbecken

## Nachklärbecken



# Aufgabe: Bemessungsschlammalter

Arbeiten Sie die Kapitel

## 5 Berechnung der Schlammmasse

### 5.1 Erforderliches Schlammalter

5.1.1 Allgemeines

5.1.3 Anlagen mit Nitrifikation

5.1.5 Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation

im DWA-A 131 durch!

Beschreiben Sie in groben Zügen, wie das Bemessungsschlammalter bestimmt wird!

In Präsenz-LV  
10 Minuten  
Selbststudium

DWA-A  
131

Anlagen mit Nitrifikation:

$$t_{TS,aerob,Bem} = PF \cdot \frac{1}{\mu_{A,max}} \cdot 1,6 \cdot 1,103^{(15-T)} \quad (d)$$

Anlagen mit Nitrifikation und Denitrifikation:

$$t_{TS,Bem} = PF \cdot 3,4 \cdot 1,103^{(15-T)} \cdot \frac{1}{1 - (V_D / V_{BB})} \quad (d)$$

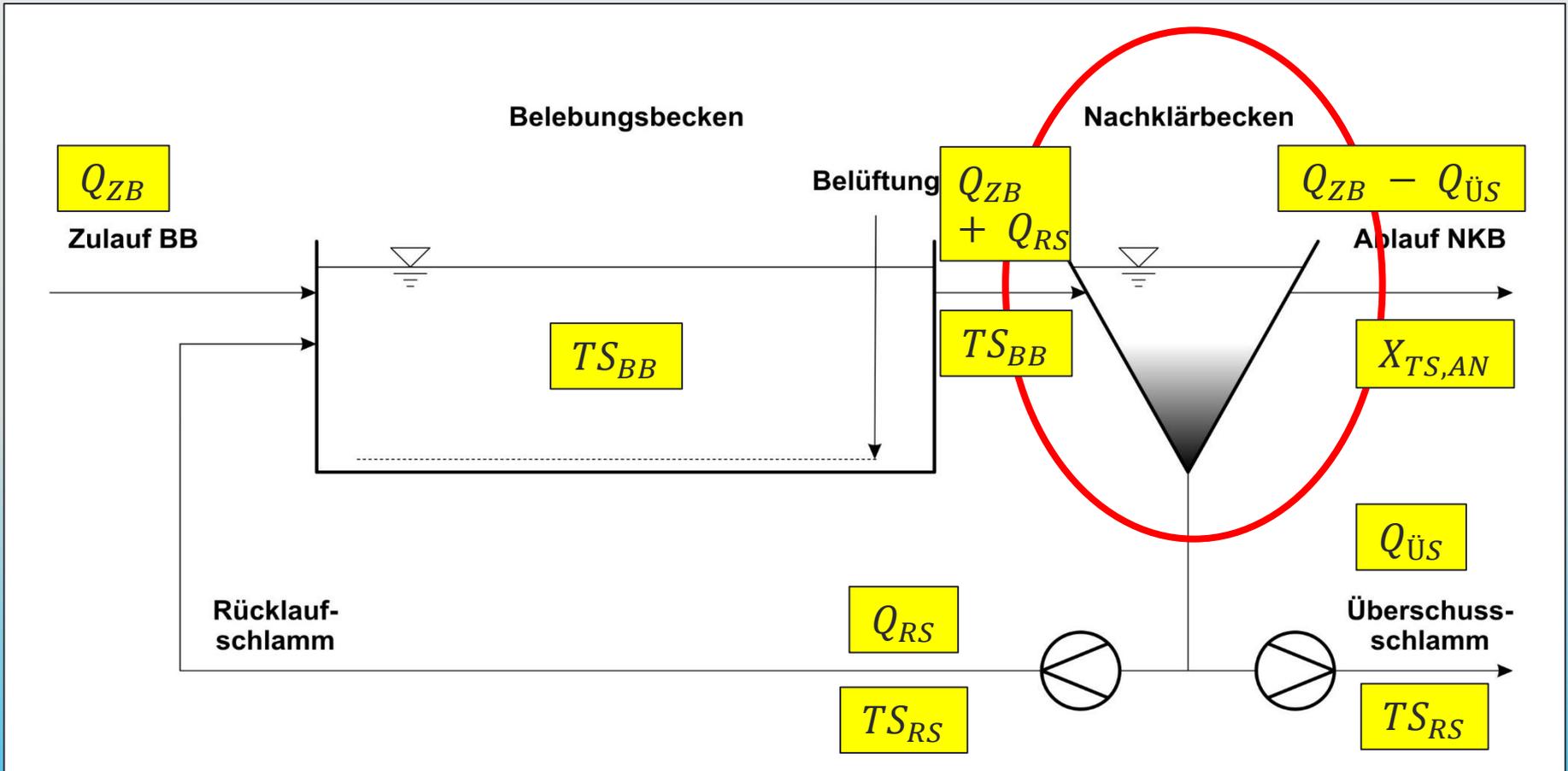
SF - Sicherheitsfaktor

PF - Prozessfaktor

Beide Formel wurden empirisch ermittelt!

$$3,4 = \frac{1,6}{0,47} \quad (\mu_{A,max} \text{ bei } 15^\circ\text{C} = 0,47)$$

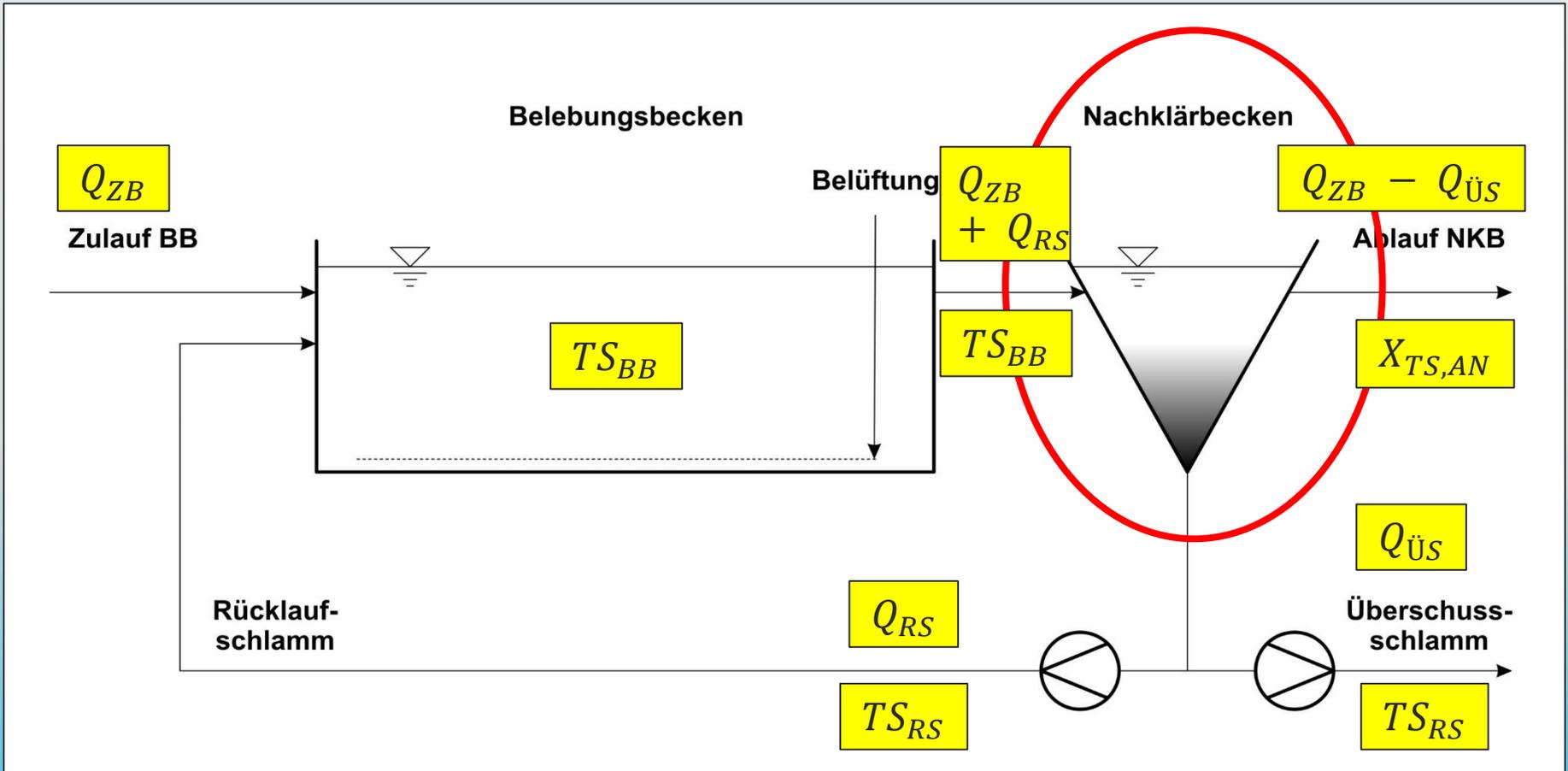
# Volumenstrom- und Feststoffbilanzen



Vollständige TS-Bilanz NKB:

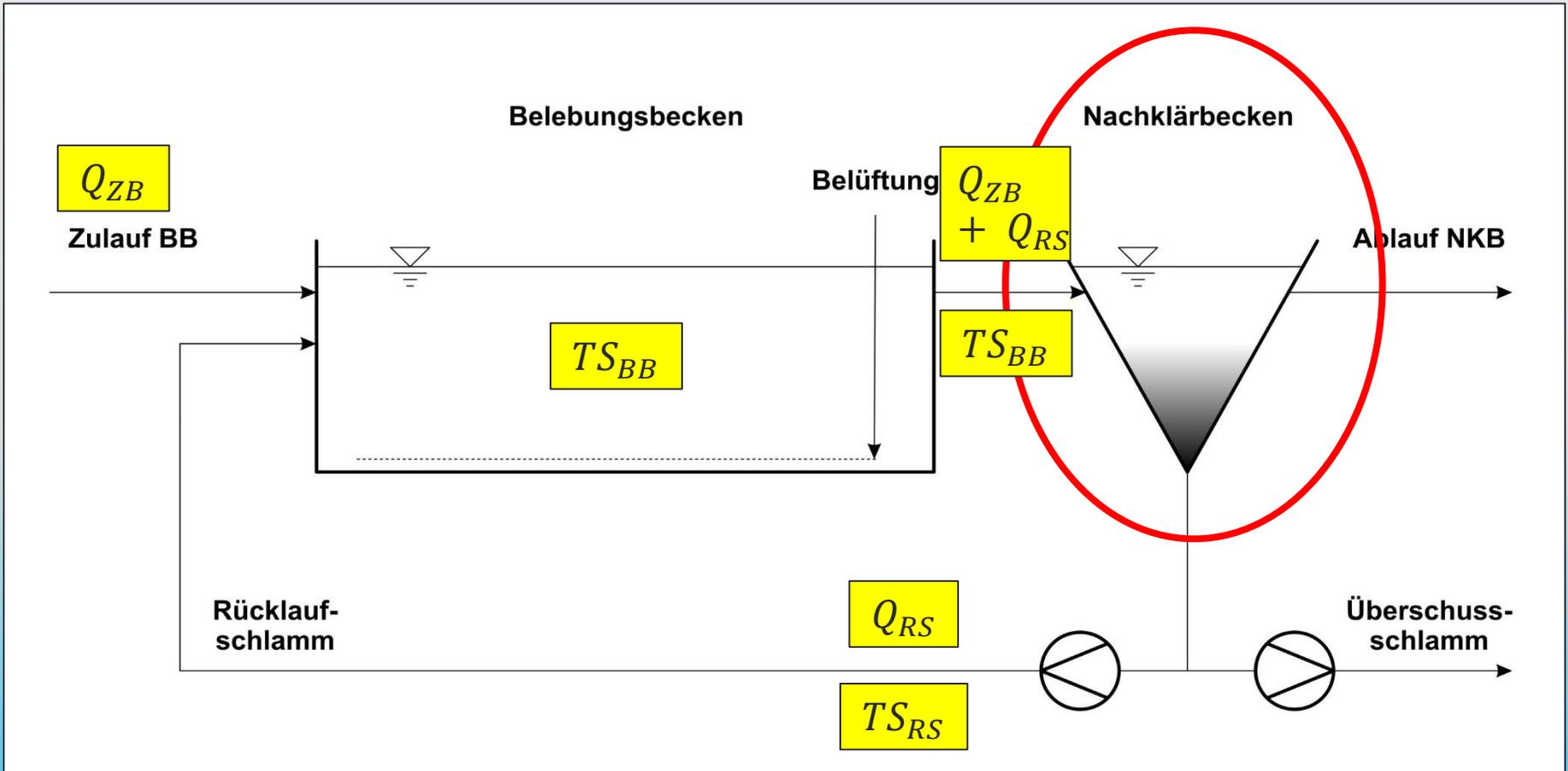
$$(Q_{ZB} + Q_{RS}) * TS_{BB} = (Q_{RS} + Q_{ÜS}) * TS_{RS} + (Q_{ZB} - Q_{ÜS}) * X_{TS,AN}$$

# Vereinfachte Feststoffbilanz NKB



Schlamm Bilanz für NKB ausgeglichen, wenn genau so viel Schlamm entnommen wie zugeführt wird. Wenn  $X_{TS,AN}$  = vernachlässigbar gering und die Entnahme von Überschussschlamm exakt den Schlammzuwachs im BB ausgleicht, können Ablauf NKB und  $Q_{ÜS}$  unberücksichtigt bleiben.

# Vereinfachte Feststoffbilanz NKB



Dann gilt...

$$(Q_{ZB} + Q_{RS}) * TS_{BB} = Q_{RS} * TS_{RS}$$

Mit

$$Q_{RS} = Q_{ZB} * RV$$

ergibt sich

$$(Q_{ZB} + Q_{ZB} * RV) * TS_{BB} = Q_{ZB} * RV * TS_{RS}$$

# Vereinfachte Feststoffbilanz NKB

$$(Q_{ZB} + Q_{ZB} * RV) * TS_{BB} = Q_{ZB} * RV * TS_{RS}$$

wird umgewandelt in

$$Q_{ZB} * (1 + RV) * TS_{BB} = Q_{ZB} * RV * TS_{RS}$$

nach Kürzen von  $Q_{ZB}$  ergibt sich

$$(1 + RV) * TS_{BB} = RV * TS_{RS}$$

Auflösen nach  $TS_{BB}$  führt zu der in A 131 (auf S. 41) aufgeführten Formel

$$TS_{BB} = \frac{RV * TS_{RS}}{1 + RV}$$

DWA-A  
131

# Vereinfachte Feststoffbilanz NKB

aus der vorletzten Gleichung

$$(1 + RV) * TS_{BB} = RV * TS_{RS}$$

erhält man durch Auflösen der Klammer:

$$TS_{BB} + RV * TS_{BB} = RV * TS_{RS}$$

Division durch  $RV$ ,  
Subtraktion von  $TS_{BB}$

$$\frac{TS_{BB}}{RV} = TS_{RS} - TS_{BB}$$

Auflösen nach  $RV$  führt zu:

$$RV = \frac{TS_{BB}}{TS_{RS} - TS_{BB}}$$

erhält man durch Auflösen nach  $TS_{RS}$ :

$$TS_{RS} = TS_{BB} * \frac{1 + RV}{RV}$$

# Berechnung von $TS_{BB}$ , $TS_{RS}$ und $RV$

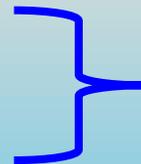
$$TS_{BB} = \frac{RV * TS_{RS}}{1 + RV}$$

$$RV = \frac{TS_{BB}}{TS_{RS} - TS_{BB}}$$

$$TS_{RS} = TS_{BB} * \frac{1 + RV}{RV}$$

$$TS_{BS} \approx 10 \text{ kg/m}^3 = 10 \text{ g/l}$$

$$TS_{RS} \approx 0,7 * TS_{BS} \approx 7 \text{ kg/m}^3 = 7 \text{ g/l}$$



Faustwerte, als erster Ansatz für die meisten KA gut geeignet

( $TS_{BS}$  - TS-Gehalt des Bodenschlammes im NKB)

Einer der beiden folgenden Werte muss zunächst (innerhalb des zulässigen bzw. üblichen Wertebereichs) gewählt werden:

$$RV = 0,7 \dots 1,5$$

$$TS_{BB} = 3.000 \dots 5.000 \text{ mg/l}$$

# Anwenden der Formeln auf KA Stahnsdorf

$$RV = 0,7$$

$$TS_{RS} = 8 \frac{g}{l}$$

Siehe „Kenndaten und Kurzbeschreibung KA Stahnsdorf“

$$TS_{BB} = \frac{RV * TS_{RS}}{1 + RV} = \frac{0,7 * 8 \text{ g/l}}{1 + 0,7} \approx 3,3 \frac{g}{l} = 3.300 \text{ mg/l}$$

Gegenprobe:

$$RV = \frac{TS_{BB}}{TS_{RS} - TS_{BB}} = \frac{3,3 \text{ g/l}}{8 \text{ g/l} - 3,3 \text{ g/l}} \approx 0,7$$

[Vgl. Excel-Tabelle, Register „9 ISV, tE, TSBB, RV“](#)

# Berechnung des aeroben Schlammalters

$$t_{TS,aerob,Bem} = PF * \frac{1}{\mu_{A,max}} * 1,6 * 1,103^{(15-T)} \text{ [d]}$$

$$t_{TS,aerob,Bem} = PF * 3,4 * 1,103^{(15-T)} \text{ [d]}$$

[Excel-Tabelle Register  
„5 tTS,aerob, Anteil VD“](#)

$t_{TS,aerob,Bem}$  Minimum des aeroben Schlammalters für die Bemessung [d]

Der hier berechnete Wert gilt für den aeroben Teil des Belebungsbeckens (weil sich nur hier die Autotrophen vermehren können)

$PF$  Prozessfaktor (dimensionslos)

$\mu_{A,max}$  maximale Wachstumsgeschwindigkeit der autotrophen (nitifizierenden) Mikroorganismen (in DWA-A 131 wird bei einer Temperatur von 15°C gerechnet mit einem Wert von  $0,47 \frac{1}{d}$ )

$T$  Temperatur des Abwassers [°C]

# Berechnung des Bemessungsschlammalters

$$t_{TS,Bem} = PF * 3,4 * 1,103^{(15-T)} \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{BB}}\right)} \text{ [d]}$$

$$t_{TS,Bem} = t_{TS,aerob,Bem} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{BB}}\right)} \text{ [d]}$$

[Excel-Tabelle Register  
„5 tTS,aerob, Anteil VD“](#)

$t_{TS,Bem}$	Bemessungsschlammalter bezogen auf $V_{BB}$ [d]
$t_{TS,aerob,Bem}$	Minimum des aeroben Schlammalters für die Bemessung [d]
$PF$	Prozessfaktor (dimensionslos)
$V_D$	Volumen des Belebungsbeckens für Denitrifikation [m <sup>3</sup> ]
$V_{BB}$	Volumen des Belebungsbeckens [m <sup>3</sup> ]
$T$	Temperatur des Abwassers [°C]

# Berechnung des Volumens der Belebung

$$M_{TS, BB} = t_{TS, Bem} * \dot{U}S_d \text{ [kg]}$$

$$V_{BB} \geq \frac{\dot{U}S_d * t_{TS, Bem}}{TS_{BB}} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{BB} \geq \frac{M_{TS, BB}}{TS_{BB}} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\dot{U}S_d = \dot{U}S_{d, C} + \dot{U}S_{d, P} \text{ [kg]}$$

[Excel-Tabelle Register  
„8 MTS, VBB, VN, VD“](#)

$M_{TS, BB}$	erforderliche Masse der Feststoffe im Belebungsbecken [kg TS]
$t_{TS, Bem}$	Bemessungsschlammalter bezogen auf $V_{BB}$ [d]
$\dot{U}S_d$	Tägliche Schlammproduktion (Feststoffe) [kg TS/d]
$V_{BB}$	Volumen des Belebungsbeckens [m <sup>3</sup> ]
$\dot{U}S_{d, C}$	Tägliche Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination [kg TS/d]
$\dot{U}S_{d, P}$	Tägliche Schlammproduktion aus der Phosphorelimination [kg TS/d]

# Berechnung der Volumenanteile des BB für N und DN

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 1 - \frac{PF * 3,4 * 1,103^{(15-T)}}{t_{TS,aerob,Bem}} \quad [d]$$

[Excel-Tabelle Register „5 tTS,aerob, Anteil VD“](#)

$$V_{BB} = V_N + V_D \quad [m^3]$$

$$V_N = \frac{V_{BB}}{1 - \frac{V_D}{V_{BB}}} \quad [m^3]$$

[Excel-Tabelle Register „8 MTS, VBB, VN, VD“](#)

$$V_D = V_{BB} * \frac{V_D}{V_{BB}} \quad [m^3]$$

$V_D$                       Volumen des Belebungsbeckens für Denitrifikation [m<sup>3</sup>]

$V_{BB}$                       Volumen des Belebungsbeckens [m<sup>3</sup>]

$PF$                         Prozessfaktor (dimensionslos)

$T$                           Temperatur des Abwassers [°C]

$t_{TS,aerob,Bem}$         Minimum des aeroben Schlammalters für die Bemessung [d]

$V_N$                       Volumen des Belebungsbeckens für Nitrifikation [m<sup>3</sup>]

# Anwenden der Formeln auf KA Stahnsdorf

$$t_{TS,aerob,Bem} = 1,4 * \frac{1}{0,47} * 1,6 * 1,103^{(15-12)} = 6,39 \approx 7 \text{ d}$$

$$t_{TS,aerob,Bem} = 1,4 * 3,4 * 1,103^{(15-12)} \approx 7 \text{ d}$$

Gewählt: 10 d

$$t_{TS,Bem} = 10 * \frac{1}{1 - (0,35)} \approx 16 \text{ d}$$

Excel-Tabelle Register „5 tTS,aerob, Anteil VD“

$$\ddot{U}S_d = 12.768 + 1.191 \approx 14.000 \text{ kg TS/d}$$

Vgl. Excel-Tabelle, Register „7  $\ddot{U}S_d$ ,  $F_T$ ,  $t_{TS}$ “

# Anwenden der Formeln auf KA Stahnsdorf

$$M_{TS, BB} = 16 d * 14.000 \text{ kg} \frac{TS}{d} = 224.000 \text{ kg } TS$$

$$V_{BB} \geq \frac{14.000 \frac{\text{kg}}{d} * 16d}{3,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \approx 68.000 \text{ m}^3$$

[Excel-Tabelle Register „8 MTS, VBB, VN, VD“](#)

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 1 - \frac{1,4 * 3,4 * 1,103^{(15-8)}}{16} \approx 0,41$$

[Excel-Tabelle Register „5 tTS,aerob, Anteil VD“](#)

$$V_N = \frac{68.000}{1 - 0,41} \approx 40.300 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_D = 68.000 * 0,41 \approx 27.700 \text{ m}^3$$

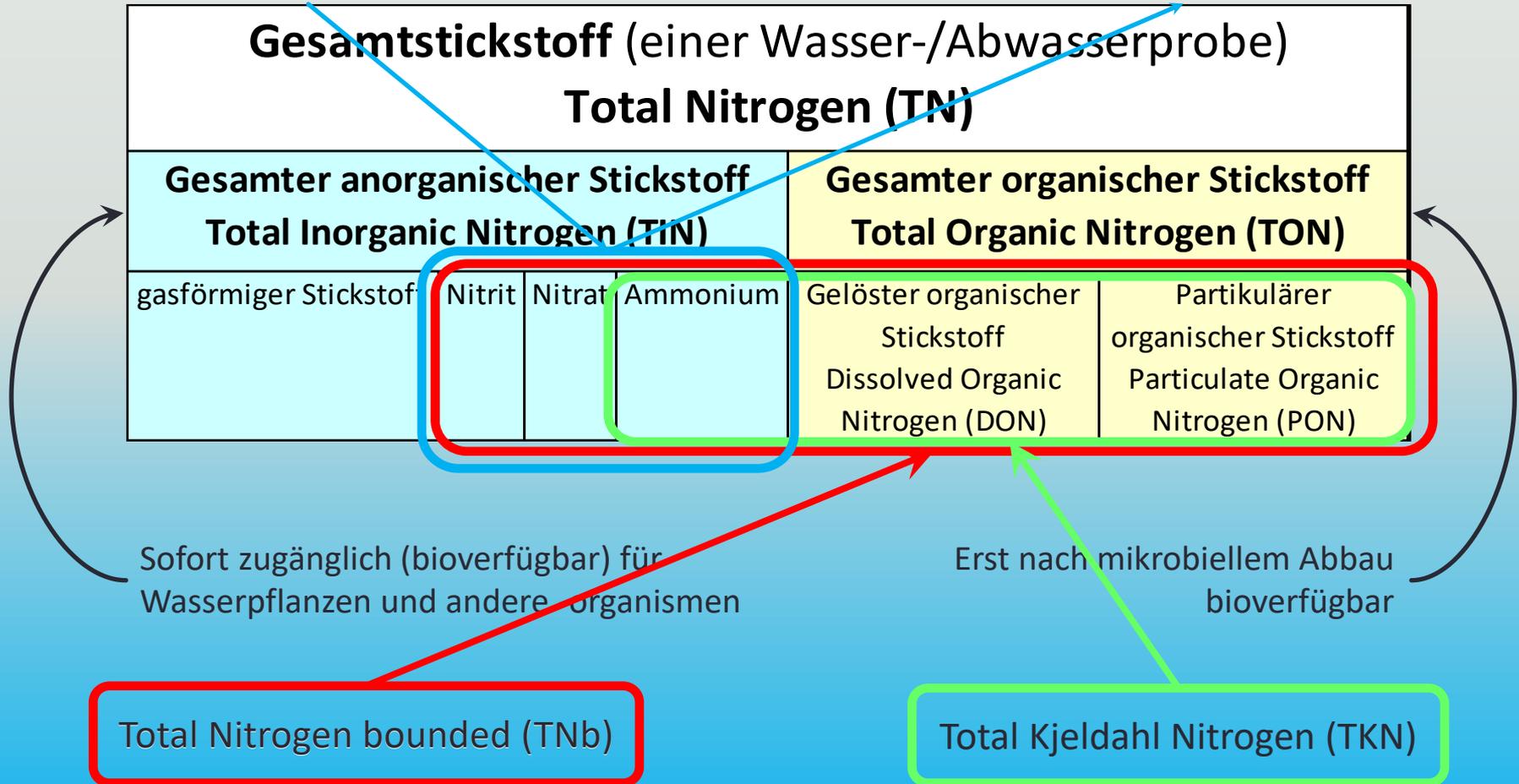
Stufe	VKB	BioP	DN	N	NKB
Volumen	2.500 m <sup>3</sup>	6.000 m <sup>3</sup>	23.000 m <sup>3</sup>	37.200 m <sup>3</sup>	17.600 m <sup>3</sup>
			66.200 m <sup>3</sup>		

**Ergo: Hinreichend gute Übereinstimmung!**

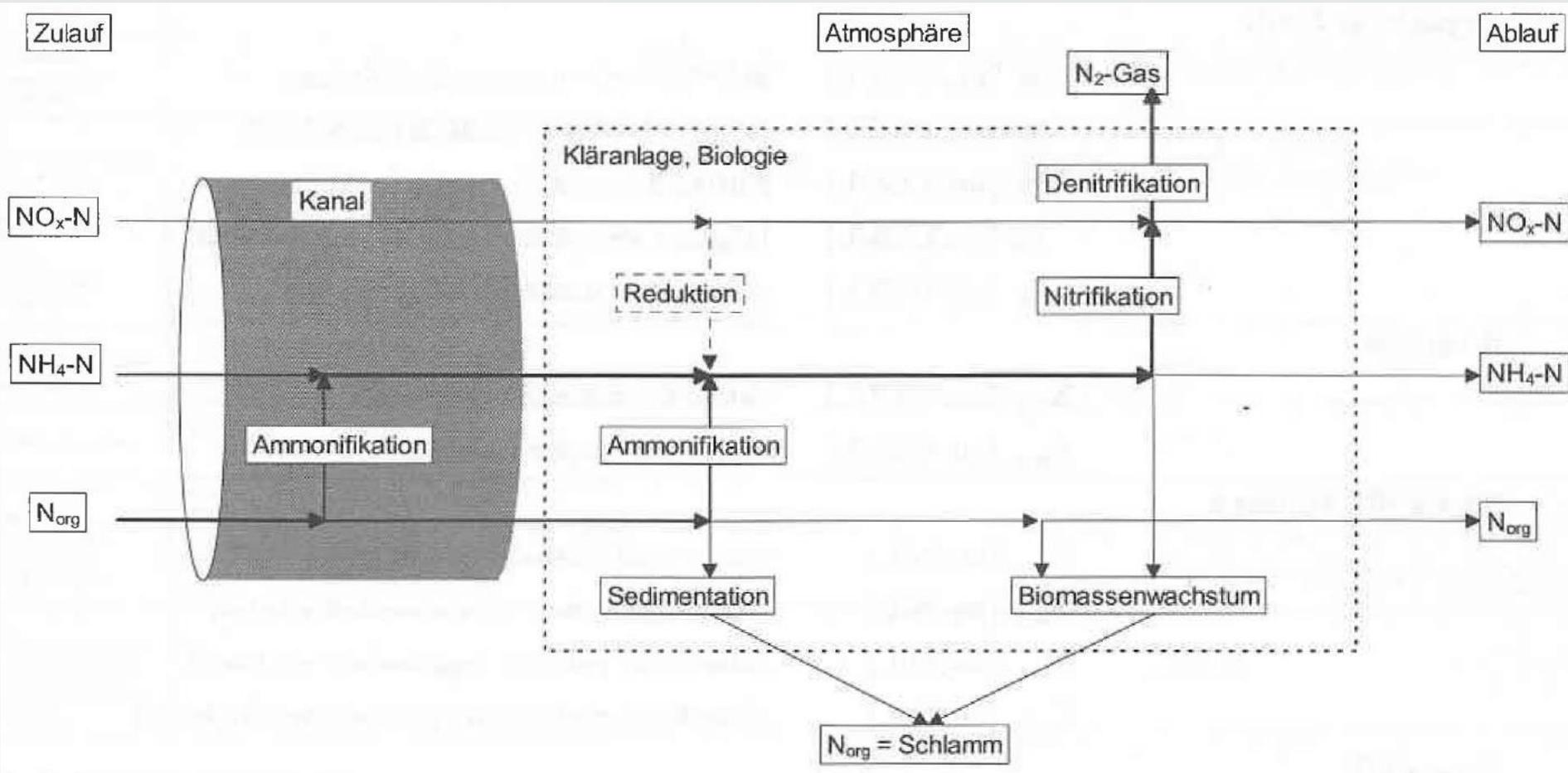
# N-Bilanz und Fraktionierung

$\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  kommen ausschließlich in gelöster Form vor!

Summe aus  $\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  ist in D i.a.R auch Überwachungswert ( $\text{N}_{\text{ges.anorg.}}$ )!



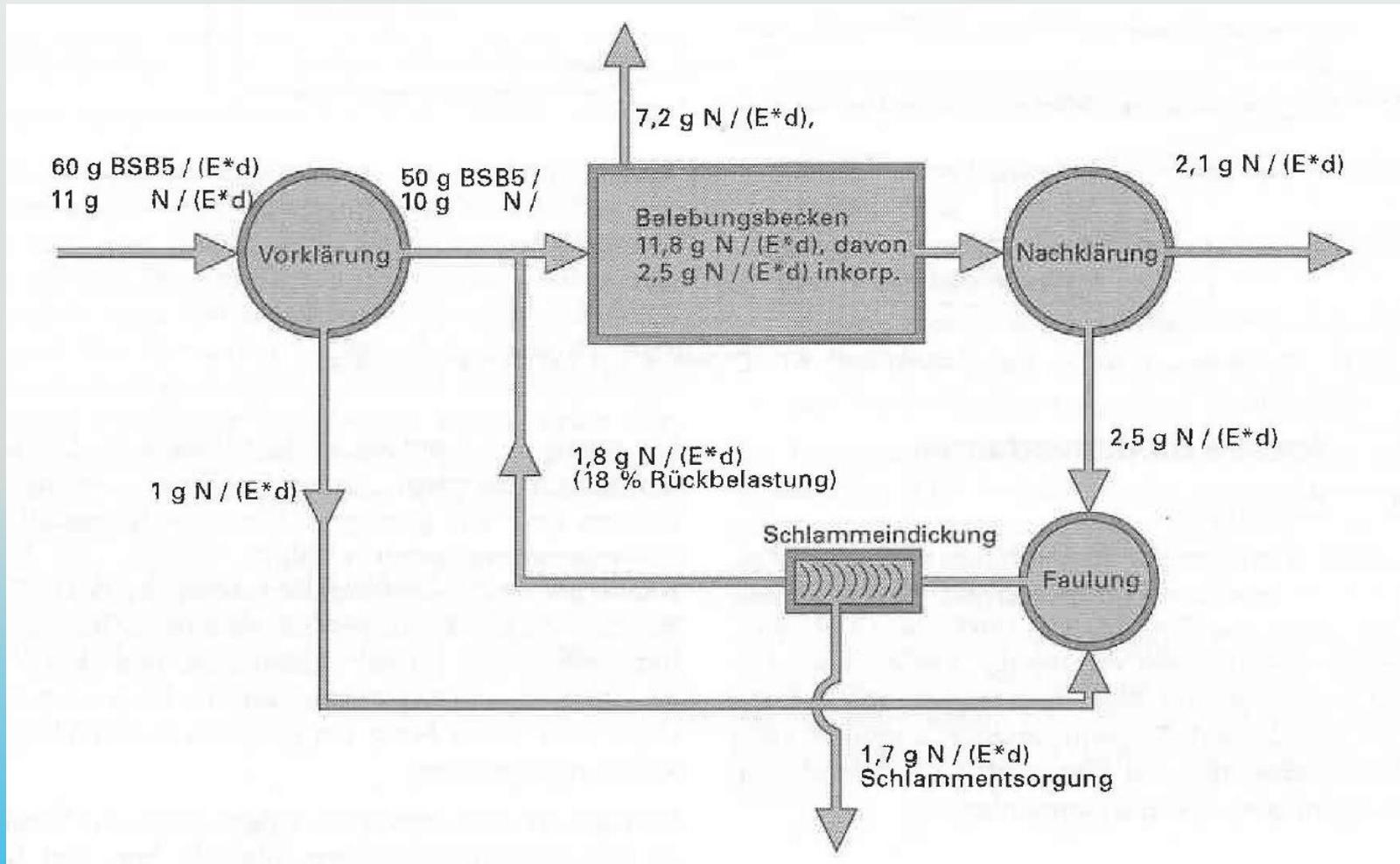
# N-Bilanz



Metabolisierung der Stickstoffkompartimente bei der Abwasserbehandlung

aus LONDONG, 2009

# N-Bilanz



Grobbilanz der Stickstoffkompartimente in Kläranlagen mit Denitrifikation

aus LONDONG, 2009

# Berechnung von $RF$

$$RF = \frac{S_{NH_4,N}}{S_{NO_3,AN}} - 1 = \frac{Q_{RS}}{Q_{T,max}} + \frac{Q_{RZ}}{Q_{T,max}}$$

[Vgl. Excel-Tabelle, Register „10 int. Rezi“](#)

$RF$	Rückführverhältnis, für das die Pumpen auszulegen sind
$S_{NH_4,N}$	Zu nitrifizierender Ammoniumstickstoff
$S_{NO_3,AN}$	Konzentration an Nitratstickstoff, die im Ablauf der Nachklärung einzuhalten ist (ergibt sich aus den Überwachungswerten)
$Q_{RS}$	Rücklaufschlammstrom
$Q_{RZ}$	Interne Rezirkulation bei vorgeschalteter Denitrifikation
$Q_{T,max}$	Maximaler Trockenwetterzufluss



# Wirkungsgrad der Denitrifikation

Theoretisch berechnet sich der Wirkungsgrad der Denitrifikation nach folgender Gleichung:

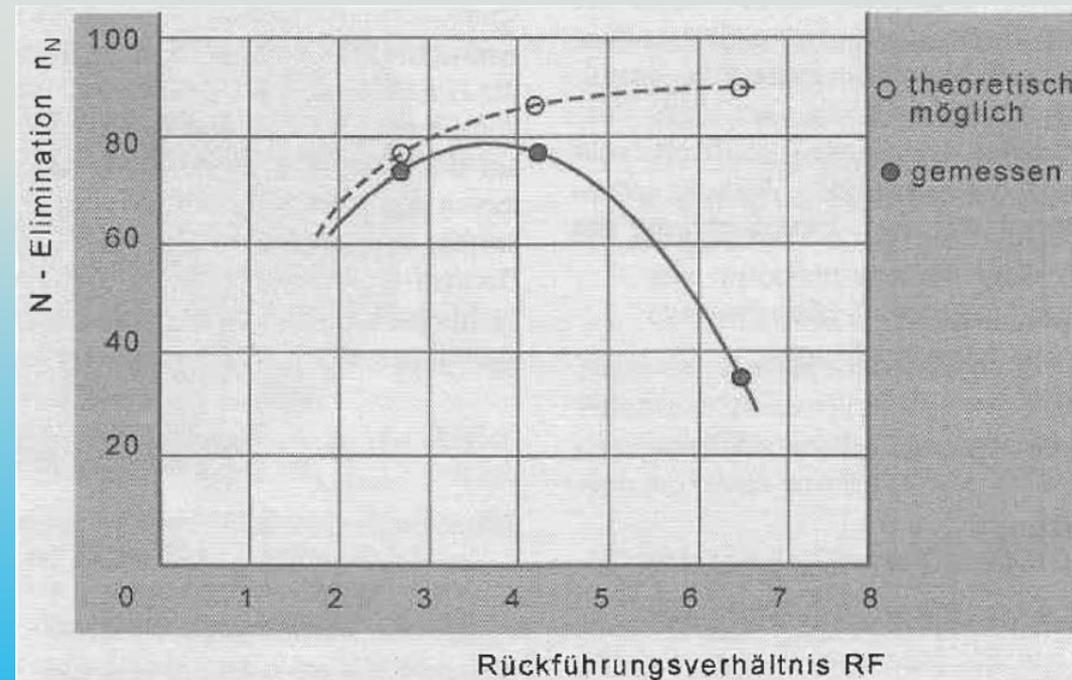
$$\eta_D \leq 1 - \frac{1}{1 + RF}$$

$\eta_D$  Maximal möglicher Wirkungsgrad der Denitrifikation

$RF$  Rückführverhältnis, für das die Pumpen auszulegen sind

Die Berechnungsergebnisse stimmen jedoch mit den Praxiswerten i.d.R. nicht überein, da infolge des Sauerstofftransportes in die Denitrifikationsstufe, der Verdünnung und der abnehmenden Kontaktzeit negative Wirkungen eintreten – das ist abgebildet in der nebenstehenden Grafik!

In praxi wird deshalb  $RF \leq 4$  gesetzt.



aus LONDONG, 2009

# $RF$ und $Q_{RZ}$ berechnen für KA Stahnsdorf

Warum darf hier TKN anstelle von Ammonium gesetzt werden?

$$RF = \frac{81,3 \text{ mg N/l}}{9,1 \text{ mg N/l}} - 1 = 7,9$$

TKN-Konzentration im Zulauf zur Belebung  $C_{TKN,ZB}$

[Siehe Excel-Tabelle, Register „3 N-Bilanz“](#)

Nitratstickstoff im Ablauf  $S_{NO3,AN}$

[Siehe Excel-Tabelle, Register „10 int. Rezi“](#)

Der errechnete Wert überschreitet das Optimum (siehe vorhergehende Folie). Deshalb wird  $RF$  gewählt zu 3.

$$Q_{RZ} = RF * Q_{ZB} - RV * Q_{ZB} = (RF - RV) * Q_{ZB}$$

$$Q_{RZ} = (3 - 0,7) * 2.170 \text{ m}^3/\text{h} \approx 5.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Warum ist der Volumenstrom der Rücklaufschlammförderung auf den für die Denitrifikation zu rezirkulierenden Volumenstrom an nitratreichem Abwasser aus der Nitrifikation anzurechnen?

# Volumenstrombilanz KA Stahnsdorf für $Q_t$

(Trockenwetterfall)

$$Q_{ZB} = Q_t = 2.167 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RF = 3$$

$$RV = 0,7$$

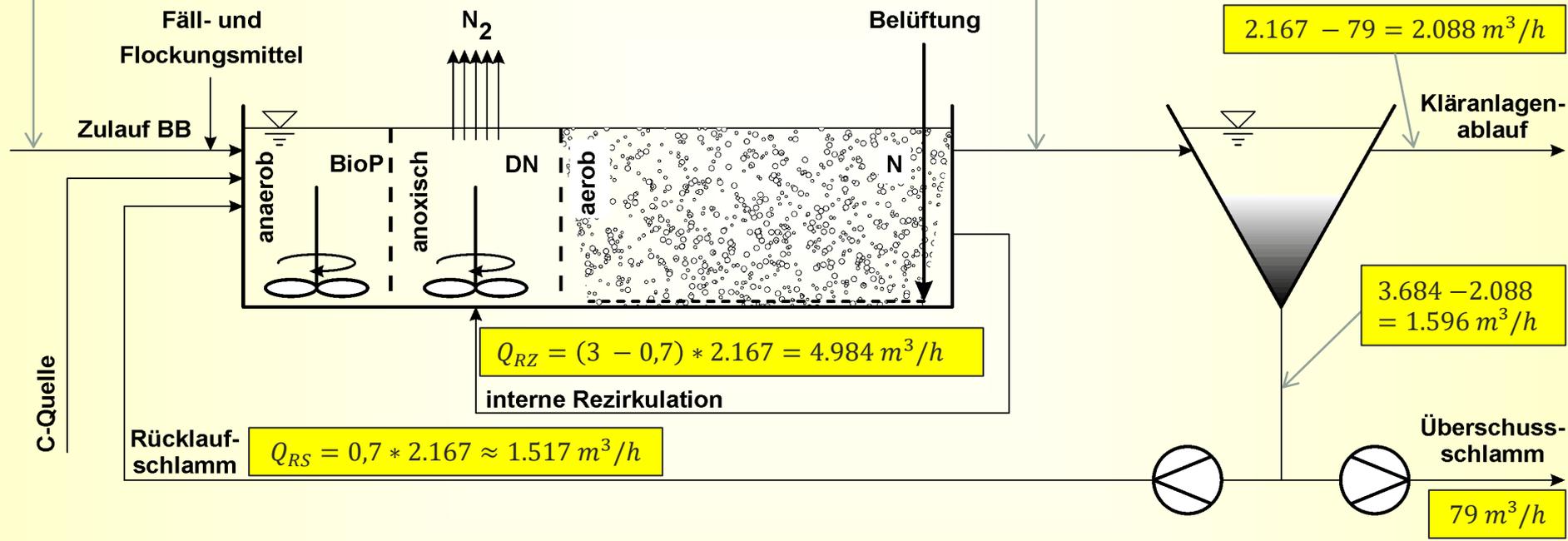
$$Q_{\text{ÜS,d}} = 1.900 \text{ m}^3/\text{d} \approx 79 \text{ m}^3/\text{h}$$

**BB**  
66.200 m<sup>3</sup>

$$2.167 + 1.517 = 3.684 \text{ m}^3/\text{h}$$

**NKB**  
17.600 m<sup>3</sup>

$$2.167 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$RF = \frac{Q_{RS} + Q_{RZ}}{Q_{ZB}}$$

$$Q_{RS} = RV * Q_{ZB}$$

$$Q_{RZ} = (RF - RV) * Q_{ZB}$$

# Feststoffbilanz KA Stahnsdorf für $Q_t$

(Trockenwetterfall)

$$Q_{ZB} = Q_t = 2.167 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RF = 3$$

$$RV = 0,7$$

$$Q_{\text{ÜS,d}} = 1.900 \text{ m}^3/\text{d} \approx 79 \text{ m}^3/\text{h}$$

**BB**

$$66.200 \text{ m}^3$$

$$3.684 \text{ m}^3/\text{h}$$

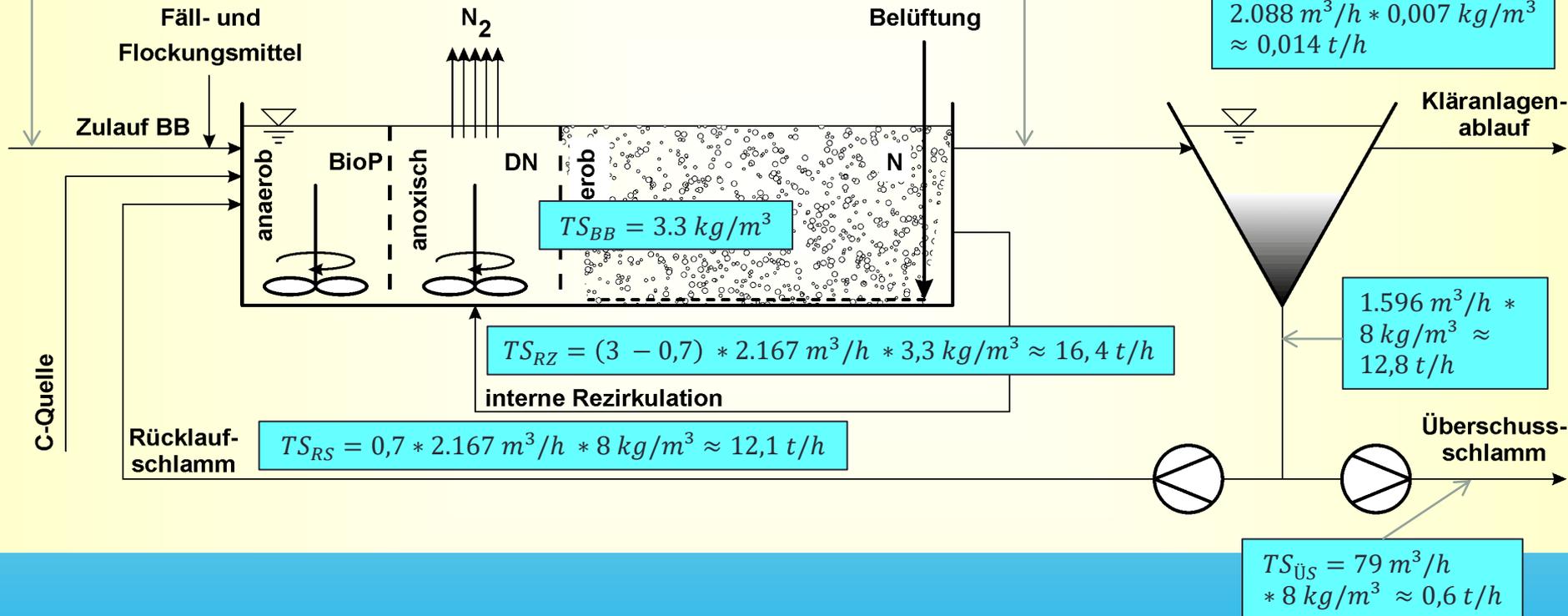
$$\cdot 3,3 \text{ kg/m}^3 \approx 12,2 \text{ t/h}$$

**NKB**

$$17.600 \text{ m}^3$$

$$2.167 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,3 \text{ kg/m}^3 \approx 0,65 \text{ t/h}$$

$$2.088 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,007 \text{ kg/m}^3 \approx 0,014 \text{ t/h}$$



# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $t_{TS}$ , $M_{TS}$ und $B_{TS}$

Feststoffmasse im BB

$$M_{TS, BB} = V_{BB} * TS_{BB} \text{ [kg TS]}$$

Schlammalter

$$t_{TS} = \frac{M_{TS, BB}}{\ddot{U}S_d} = \frac{V_{BB} * TS_{BB}}{\ddot{U}S_d} \text{ [d]}$$

Diese Gleichung umgestellt nach  $V_{BB}$

Volumen des Belebungsbeckens

$$V_{BB} \geq \frac{M_{TS, BB}}{TS_{BB}} = \frac{\ddot{U}S_d * t_{TS}}{TS_{BB}} \text{ [m}^3\text{]}$$

BSB<sub>5</sub>-Tagesfracht

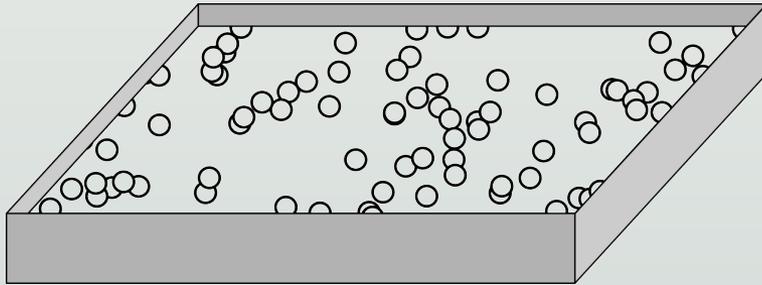
$$B_{d, BSB} \left[ \frac{\text{kg BSB}_5}{\text{d}} \right]$$

BSB<sub>5</sub>-Schlammbelastung

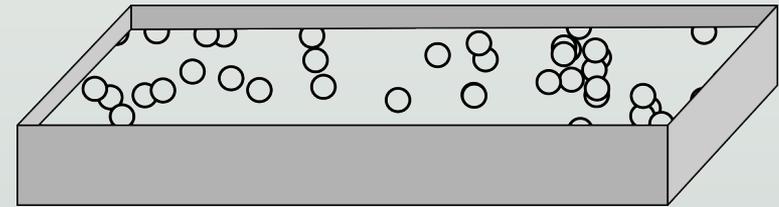
$$B_{TS} = \frac{B_{d, BSB}}{M_{TS, BB}} = \frac{B_{d, BSB}}{V_{BB} * TS_{BB}} \leq 0,15 \frac{\text{kg BSB}_5}{(\text{kg TS} * \text{d})}$$

# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $M_{TS}$ und $B_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel):



$$\begin{aligned}V_{BB,L\ddot{a}nge} &= 80 \text{ m} \\V_{BB,Breite} &= 25 \text{ m} \\V_{BB,Tiefe} &= 5 \text{ m} \\V_{BB} &= 10.000 \text{ m}^3\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}V_{BB,L\ddot{a}nge} &= 80 \text{ m} \\V_{BB,Breite} &= 12,5 \text{ m} \\V_{BB,Tiefe} &= 5 \text{ m} \\V_{BB} &= 5.000 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Für beide BB's gilt:

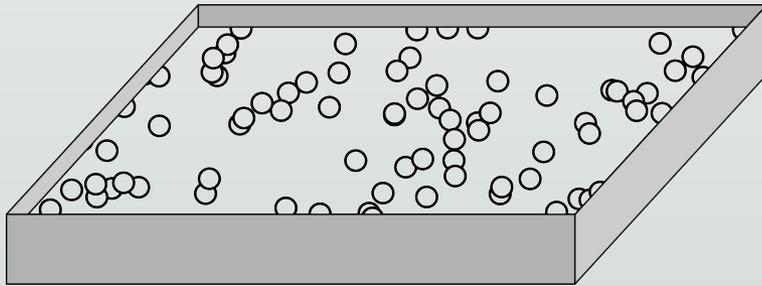
$$\begin{aligned}TS_{BB} &= 3.500 \text{ g TS/m}^3 \\B_{d,BSB} &= 5.000 \text{ kg O}_2/d\end{aligned}$$

Bemessungsvorgabe:

$$B_{TS} \leq 0,15 \frac{\text{kg BSB}_5}{\text{m}^3 * d}$$

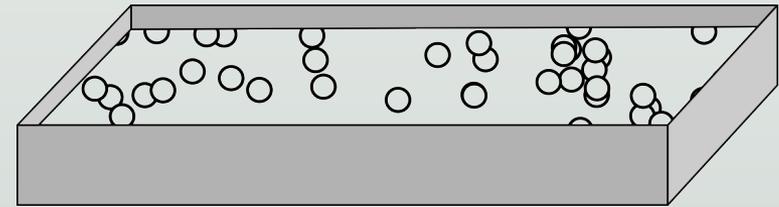
# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $M_{TS}$ und $B_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel):



$$M_{TS} = 10.000 \text{ m}^3 * 3,5 \text{ kg TS/m}^3$$
$$= 35.000 \text{ kg TS}$$

$$B_{TS} = \frac{5.000 \text{ kg BSB}_5/d}{35.000 \text{ kg TS}} = 0,14$$

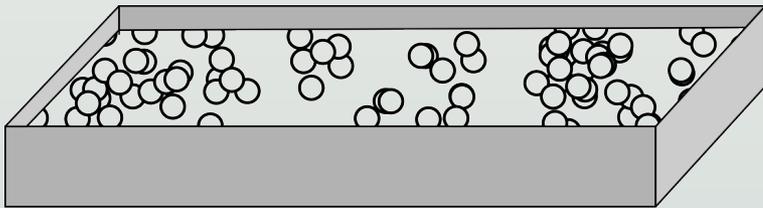


$$M_{TS} = 5.000 \text{ m}^3 * 3,5 \text{ kg TS/m}^3$$
$$= 17.500 \text{ kg TS}$$

$$B_{TS} = \frac{5.000 \text{ kg BSB}_5/d}{17.500 \text{ kg TS}} = 0,29$$

# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $M_{TS}$ und $B_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel):



Ergo:

Bemessung des kleinen BB muss geändert werden!

- $TS_{BB}$  erhöhen  
(TS-Gehalt im BB, sollte aber nicht höher sein als 5.000 mg/l)

und, sofern das allein nicht ausreicht, um  $B_{TS}$  im zulässigen Bereich zu halten

- $V_{BB}$  erhöhen

$$M_{TS} = 5.000 \text{ m}^3 * 5,0 \text{ kg TS/m}^3 = 25.000 \text{ kg TS}$$

$$B_{TS} = \frac{5.000 \text{ kg BSB}_5/d}{25.000 \text{ kg TS}} = 0,20$$

$$M_{TS,min.} = \frac{B_{d,BSB}}{B_{TS,max.}} = \frac{5.000 \text{ kg BSB}_5/d}{0,15} = 33.333 \text{ kg TS}$$

$$V_{BB min.} = \frac{M_{TS,min.}}{TS_{BB,max.}} = \frac{33.333 \text{ kg TS}}{5 \text{ kg TS/m}^3} = 6.667 \text{ m}^3$$

gewählt:  $V_{BB,Breite} = 17,0 \text{ m}$

$$17 \text{ m} * 80 \text{ m} * 5 \text{ m} = 6.800 \text{ m}^3$$

$$B_{TS} = \frac{5.000 \text{ kg BSB}_5/d}{6.800 \text{ m}^3 * 5 \text{ kg TS/m}^3} \approx 0,15$$

# Aufgabe: Schlammproduktion und Überschussschlammanfall

Arbeiten Sie die Kapitel

5.4 Zusammenstellung der Schlammmasse

5.2.2 Berechnung der Schlammproduktion aus dem  
CSB-Abbau

5.3.2 Berechnung der Schlammproduktion aus der  
Phosphorelimination

im DWA-A 131 durch (bitte auch in der o.g. Reihenfolge)!

Welche Einflussgrößen bestimmen den Überschuss-  
schlammanfall?

DWA-A  
131

5 Minuten

# Überschussschlammfall $\dot{U}S_d$

Aus welchen Teilmengen setzt sich der in einer Belebungsanlage täglich produzierte Überschussschlamm  $\dot{U}S_d$  zusammen?

tägliche Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination

$\dot{U}S_{d,C}$

tägliche Schlammproduktion aus der Phosphorelimination

$\dot{U}S_{d,P}$

Welche Einflussgrößen bestimmen nach DWA-A 131 die tägliche Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination  $\dot{U}S_{d,C}$ ?

Maßgebender täglicher Abwasserzufluss zur Kläranlage

$Q_{d,Konz}$

Feststoffe im Zulauf zur Belebung

$X_{TS,ZB}$

Abbaubare organische Stoffe im Zulauf zur Belebung

$C_{CSB,abb,ZB}$

Bemessungsschlammalter

$t_{TS,Bem}$

Abwassertemperatur

$T$

Ertragskoeffizient (Yield) des mikrobiologischen Wachstums

$Y$  (0,67 g/g)

Zerfallskoeffizient der gebildeten Biomasse

$b$  (0,17 d<sup>-1</sup>)

# Überschussschlammanfall $\ddot{U}S_d$

Welche Einflussgrößen bestimmen nach DWA-A 131 die Schlammproduktion aus der Phosphorelimination  $\ddot{U}S_{d,P}$ ?

Konzentration des Gesamtphosphors im Zulauf zur Belebungsanlage  $C_{P,ZB}$

Organische Stoffe im Zulauf zur Belebung  $C_{CSB,ZB}$

Warum das??? Das hat doch nichts mit dem Phosphor zu tun – oder???

Verfahrensweise der Phosphatelimination (BioP und/oder P-Fällung)

Ertrag der biologischen Phosphorelimination  $X_{P,BioP}$

Eingesetztes Fällmittel bei P-Fällung (Fe oder Al, Kalk)

Wirken sich die o. g. Einflussgrößen – z.B.  $C_{P,ZB}$  - proportional oder umgekehrt proportional auf den Überschussschlammanfall aus?

# Überschussschlammfall $\ddot{U}S_d / Q_{\ddot{U}S,d}$

$$\ddot{U}S_d = \ddot{U}S_{d,C} + \ddot{U}S_{d,P}$$

Masse des insgesamt anfallenden Überschussschlammes in kg  $\ddot{U}S_d$

Masse des anfallenden Schlammes aus Biomassenentwicklung durch Abbau der Organik (C-Substrat) in kg  $\ddot{U}S_{d,C}$

Masse des anfallenden Schlammes aus der Phosphatfällung in kg  $\ddot{U}S_{d,P}$

$$Q_{\ddot{U}S,d} = \frac{\ddot{U}S_d}{TS_{\ddot{U}S}}$$

$$\ddot{U}S_{d} = Q_{\ddot{U}S,d} * TS_{\ddot{U}S}$$

$$TS_{\ddot{U}S} = TS_{RS}$$

Täglicher Überschussschlammabzug in  $m^3$   $Q_{\ddot{U}S,d}$

Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes in  $kg/m^3$   $TS_{\ddot{U}S}$

Trockensubstanzgehalt des Rücklaufschlammes in  $kg/m^3$   $TS_{RS}$

# Überschussschlammfall KA Stahnsdorf

$$Q_{\ddot{U}S,d} = 1.900 \frac{m^3}{d} \approx 79,2 \frac{m^3}{h}$$

$$TS_{RS} = 8 \text{ kg TS}/m^3$$

$$\ddot{U}S_d = 1.900 \frac{m^3}{d} * 8 \frac{kg}{m^3} = 15.200 \frac{kg}{d} = 15,2 \text{ t}/d$$

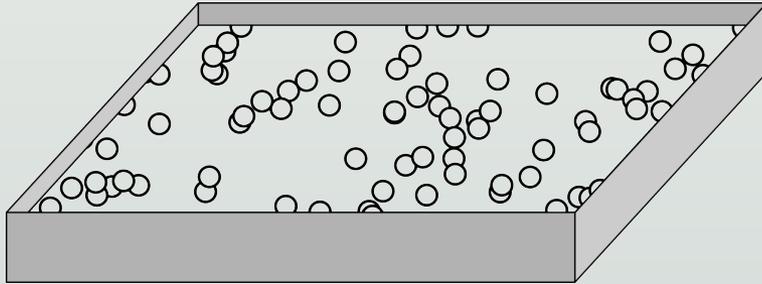
Der obige Wert errechnet sich aus den übermittelten langjährigen Mittelwerten der BWB zur KA Stahnsdorf. Nach unserer Bemessung ergibt sich ein etwas geringerer Wert, das ist aber durchaus noch im Rahmen der hier zulässigen Abweichungen):

$$\ddot{U}S_d = \ddot{U}S_{d,C} + \ddot{U}S_{d,P} \approx 12,8 + 1,2 = 14,0 \text{ t}/d$$

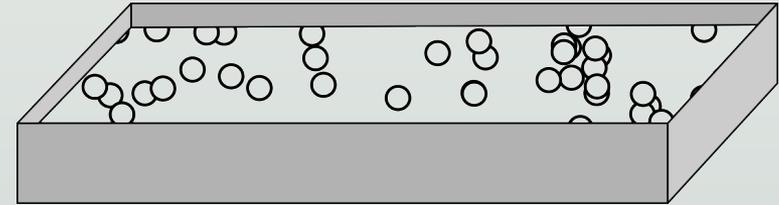
Vgl. Excel-Tabelle, Register „7  $\ddot{U}S_d$ ,  $F_T$ ,  $t_{TS}$ “

# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $\ddot{U}S_d$ und $t_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel, wie gehabt):



$$\begin{aligned}V_{BB,L\ddot{a}nge} &= 80 \text{ m} \\V_{BB,Breite} &= 25 \text{ m} \\V_{BB,Tiefe} &= 5 \text{ m} \\V_{BB} &= 10.000 \text{ m}^3\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}V_{BB,L\ddot{a}nge} &= 80 \text{ m} \\V_{BB,Breite} &= 12,5 \text{ m} \\V_{BB,Tiefe} &= 5 \text{ m} \\V_{BB} &= 5.000 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Für beide BB's gilt:

$$\begin{aligned}TS_{BB} &= 3.500 \text{ g TS/m}^3 \\B_{d,BSB} &= 5.000 \text{ kg O}_2/d \\ \ddot{U}S_d &= 2.800 \text{ kg TS/d}\end{aligned}$$

Bemessungsvorgabe:

$$t_{TS} \geq 12 \text{ d}$$

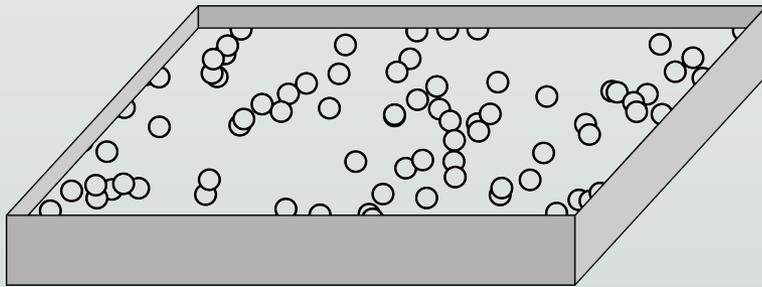
Wovon hängt  $\ddot{U}S_d$  ab?

Oder, anders gefragt:

Kann  $\ddot{U}S_d$  im kleinen BB  
genau so hoch sein wie  
im großen BB?

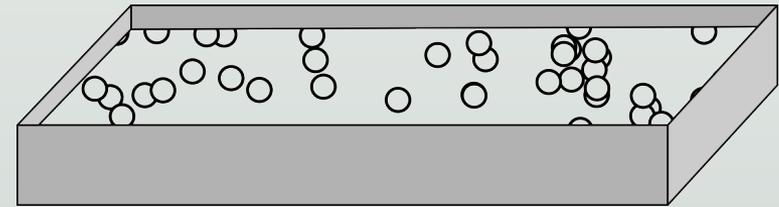
# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $\ddot{U}S_d$ und $t_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel):



$$M_{TS} = 10.000 \text{ m}^3 * 3,5 \text{ kg TS/m}^3$$
$$= 35.000 \text{ kg TS}$$

$$t_{TS} = \frac{35.000 \text{ kg TS}}{2.800 \text{ kg TS/d}} = 12,5 \text{ d}$$



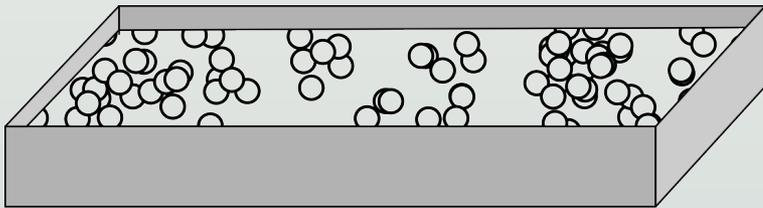
$$M_{TS} = 5.000 \text{ m}^3 * 3,5 \text{ kg TS/m}^3$$
$$= 17.500 \text{ kg TS}$$

$$t_{TS} = \frac{17.500 \text{ kg TS}}{2.800 \text{ kg TS/d}} = 6,25 \text{ d}$$

Kann  $\ddot{U}S_d$  im kleinen Belebungsbecken für die weitere Berechnung einfach verringert werden, um  $t_{TS}$  von 12 d einzuhalten? Wenn „nein“, warum nicht? Begründen Sie Ihre Antwort!

# Zusammenhang zwischen $V_{BB}$ , $TS_{BB}$ , $\ddot{U}S_d$ und $t_{TS}$

Gegenüberstellung zweier Belebungsbecken mit unterschiedlichen Volumina  
(konstruiertes Beispiel):



Ergo, auch bei dieser Betrachtungsweise:  
Bemessung des kleinen BB muss geändert werden!

- $TS_{BB}$  erhöhen  
(TS-Gehalt im BB, sollte aber nicht höher sein als 5.000 mg/l)

und, sofern das allein nicht ausreicht, um  $t_{TS}$  im zulässigen Bereich zu halten

- $V_{BB}$  erhöhen

$$M_{TS} = 5.000 \text{ m}^3 * 5,0 \text{ kg TS/m}^3 \\ = 25.000 \text{ kg TS}$$

$$t_{TS} = \frac{25.000 \text{ kg TS}}{2.800 \text{ kg TS/d}} = 8,9 \text{ d}$$

$$M_{TS,min.} = t_{TS} * \ddot{U}S_d \\ = 12 \text{ d} * 2.800 \text{ kg TS/d} = 33.600 \text{ kg TS}$$

$$V_{BB \text{ min.}} = \frac{M_{TS,min.}}{TS_{BB,max.}} = \frac{33.600 \text{ kg TS}}{5 \text{ kg TS/m}^3} \\ = 6.720 \text{ m}^3$$

gewählt:  $V_{BB,Breite} = 17,0 \text{ m}$

$$17 \text{ m} * 80 \text{ m} * 5 \text{ m} = 6.800 \text{ m}^3$$

$$t_{TS} = \frac{6.800 \text{ m}^3 * 5 \text{ kg TS/m}^3}{2.800 \text{ kg TS/d}} = 12,1 \text{ d}$$

# „Stellschrauben“ beim Betrieb einer KA

**Sauerstoffeintrag**

**Rücklaufschlammförderung**

**Überschussschlammmentnahme**

**Volumenstrom interne Rezirkulation (bei Anlagen mit vorgeschalteter oder Kaskaden-Denitrifikation)**

**Volumenaufteilung im Belebungsbecken**

# Aufgabe: Bemessung Vorklärbecken

Für das Klärwerk Stahnsdorf soll das **rechteckige Vorklärbecken** nachbemessen werden.

Der Zufluss zur KA beträgt bei Mischwasserzufluss  $Q_m = 1.800 \text{ l/s}$  und bei Trockenwetter  $Q_t = 600 \text{ l/s}$ .

Die Aufenthaltszeit im Becken soll mit  $t_R = 1,0 \text{ h}$  und die Oberflächenbeschickung bei Trockenwetter mit  $q_a = 2,5 \text{ m/h}$  angesetzt werden.

DWA-A  
131

## ***Selbststudium zu Hause***

Vorgehensweise bei der Bemessung siehe Excel-Tabelle [Bemessung KA Stahnsdorf nach A 131 - Aufgabenstellung.xlsx](#), Register [Bemessung VKB](#)

# Sedimentation

Sedimentation ist die physikalische Abtrennung suspendierten Materials aus dem Wasser durch Gravitationskräfte. Sedimentation ist ein gut untersuchter und allgemein angewandter Prozess der Wasser- und Abwasserbehandlung, der in nahezu allen Anlagen zum Einsatz kommt. Sedimentation ist darüber hinaus ein Prozess, der nur geringe Kosten bzw. Aufwand erfordert.

## Typ I Sedimentation

Typ I Sedimentation bezieht sich auf das diskrete Absetzen von Partikeln (ohne Berücksichtigung der Agglomeration und ohne Hilfsmittel).

## Typ II Sedimentation

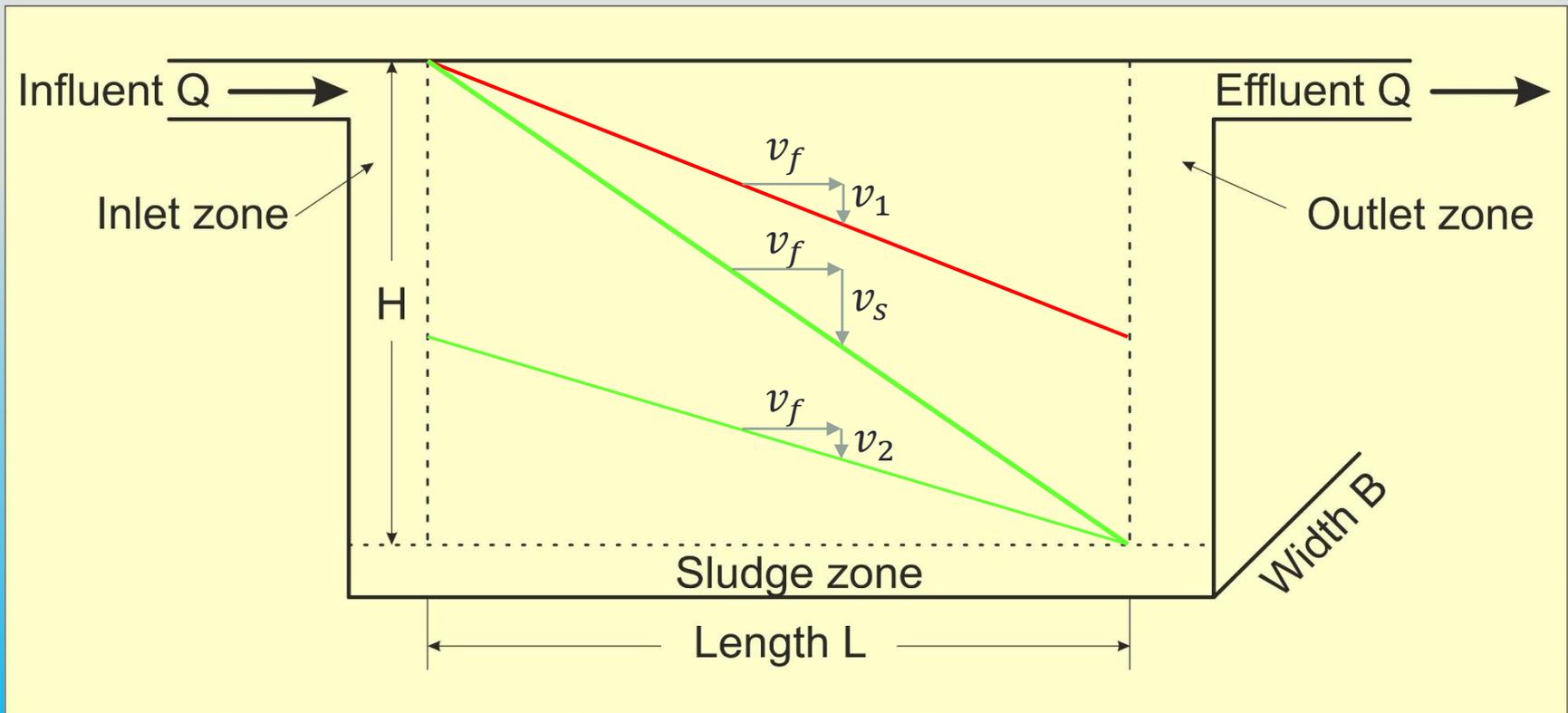
Unter bestimmten Bedingungen zeigen suspendierte Partikel eine natürliche Tendenz zur Agglomeration (Zusammenballung). Die Zugabe chemischer Hilfsmittel unterstützt diesen Vorgang. Dieses Phänomen wird als Flockung oder Typ II Sedimentation bezeichnet. Sie leitet sich ab von den Prinzipien der Typ I Sedimentation.

# Sedimentation

Das Bemessungsvolumen eines Absetzbeckens richtet sich nach dem zulaufenden Volumenstrom und der Absetzgeschwindigkeit der Partikel. Partikel, die nahe der Oberfläche in den Absetzbereich eintreten, benötigen die längste Zeit zu ihrer Entfernung.

$v_s$  - Absetzgeschwindigkeit eines Partikels (in vertikaler Richtung),

$v_f$  - Durchflussgeschwindigkeit (in horizontaler Richtung).



# Sedimentation

## Durchflussgeschwindigkeit

$$v_f = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{H * B}$$

$Q$  – Abwasservolumenstrom in  $\frac{m^3}{h}$

$A$  – Querschnittsfläche in  $m^2$

## Theoretische Aufenthaltszeit

$$t_d = \frac{V}{Q}$$

$V$  – Volumen des Absetzbereiches im Reaktor in  $m^3$

$Q$  – Abwasservolumenstrom in  $\frac{m^3}{h}$

Soll sich ein Partikel auf dem Boden absetzen, muss er innerhalb der Aufenthaltszeit  $t_d$  das Becken sowohl in der Länge als auch in der Höhe passieren:

$$v_f * t_d = L$$

$$v_s * t_d = H$$

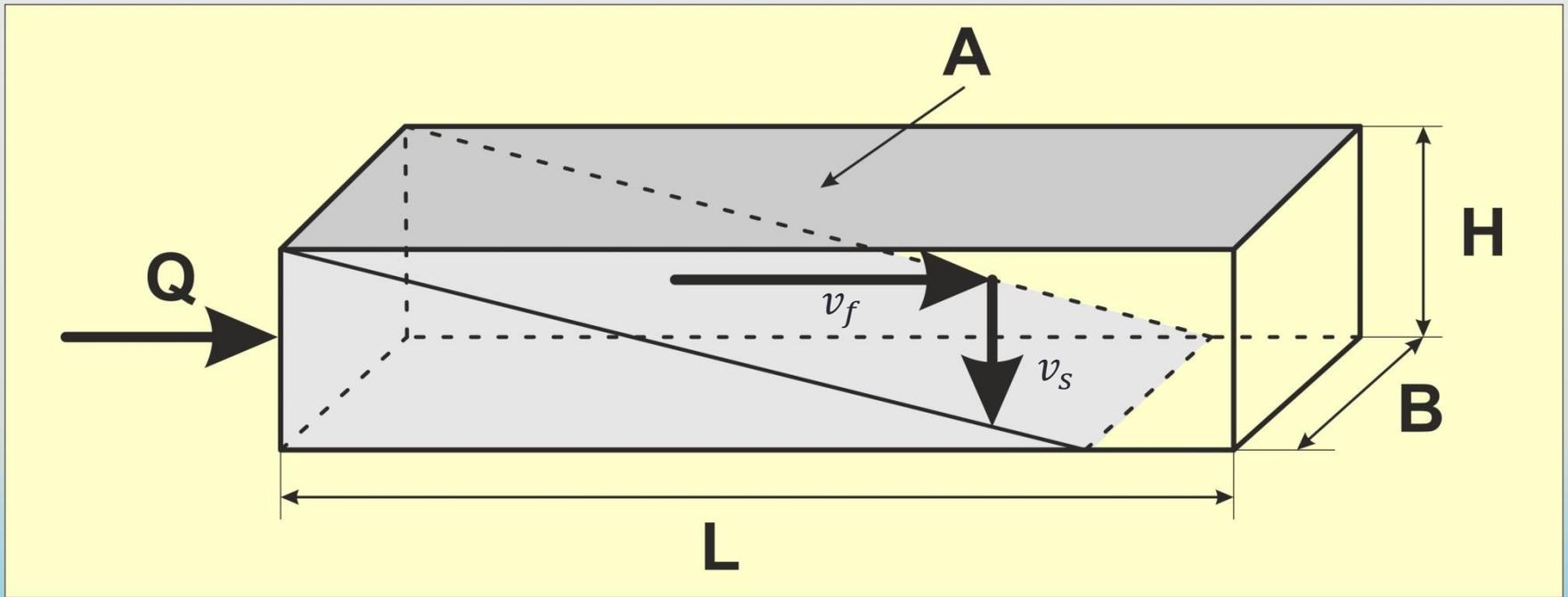
$$v_f = \frac{L}{t_d}$$

$$t_d = \frac{L}{v_f}$$

$$v_s = \frac{H}{t_d}$$

$$v_s = \frac{H * v_f}{L} = \frac{H * Q}{L * H * B} = \frac{Q}{L * B}$$

# Sedimentation



$$\frac{Q}{L * B} \leq v_s$$

Zusammengefasst gilt für ein ideales Absetzbecken, dass die Partikel zu 100% entfernt werden, wenn die hydraulische Last pro Fläche kleiner oder gleich der Absetzgeschwindigkeit  $v_s$  ist.

# Sedimentation

Absetzgeschwindigkeit  $v_s$  hängt u. a. ab von der Partikeldichte, der Dichte des Fluids, Volumen der Partikel, Querschnittsfläche und Form der Partikel.

Absetzgeschwindigkeit  $v_s$

- kann aus Absetztests abgeleitet werden (das ist zu bevorzugen!),
- oder berechnet werden nach folgender Formel

$$v_s = \frac{Re_T * \eta_F}{\emptyset * \rho_F}$$

wobei

$Re_T$  - Reynolds Zahl (dimensionslos)

$\eta_F$  - Dynamische Viskosität des Fluids in  $\frac{kg}{m * s}$

$\emptyset$  - Durchmesser der Partikel in m

$\rho_F$  - Dichte des Fluids in  $\frac{kg}{m^3}$

Darüber hinaus gibt es einige Faustwerte zur Bemessung der Sedimentation (vgl. Excel-Tabelle).

# Sedimentation

Als Faustwert für die Absetzgeschwindigkeit  $v_s$  kann herangezogen werden:

$$v_s \approx 0.01 \dots 0.03 \frac{m}{s}$$

(niedrigere Werte für kleine und leichte Partikel)

Als Faustwerte für die Bemessung von Absetzbecken können herangezogen werden:

Aufenthaltszeit bei Trockenwetter  $\geq 1$  h

Aufenthaltszeit bei Regenwetter  $\geq 0.3$  h

Absetzgeschwindigkeit bei Trockenwetter  $\leq 0.01 \frac{m}{s}$

Absetzgeschwindigkeit bei Regenwetter  $\leq 0.03 \frac{m}{s}$

Hydraulische Belastung  $\approx 2 \dots 4 \frac{m}{h}$

Becken Tiefe  $\geq 3$  m

Becken Breite  $\geq 8$  m

Becken Länge = 3 ... 6 \* Becken Breite

Becken Länge = 10 ... 25 \* Becken Tiefe

[Vgl. Excel-Tabelle,  
Register „0 Bemessung VKB“](#)

LONDONG et al., 2009

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lützner, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

Bemessung der Kläranlage Stahnsdorf  
nach ATV-DVWK-A 131 - Teil 2

(„Nachlese“ zur Besichtigung des Klärwerks,  
N-Bilanz, Nitrifikation und Denitrifikation)

# Klärwerk Stahnsdorf

Unser Weg bei der Führung durch das Klärwerk am 25.10.2022



# Klärwerk Stahnsdorf



Zulaufgerinne  
(vor dem  
Rechen-  
gebäude)

# Klärwerk Stahnsdorf

Rechenhaus



# Klärwerk Stahnsdorf



Links: Rechengutcontainer

Unten: Kuriositäten aus dem Rechengut  
(KA Fürstenwalde)



# Klärwerk Stahnsdorf



Belüfteter  
Sandfang

# Klärwerk Stahnsdorf

Sandwäsche



# Klärwerk Stahnsdorf



Gerinne  
zwischen  
Sandfang und  
Vorklärbecken

# Klärwerk Stahnsdorf

Vorklärbecken



# Klärwerk Stahnsdorf

Vorklärbecken



# Klärwerk Stahnsdorf

Blockheiz-  
kraftwerk



# Klärwerk Stahnsdorf



Heizdampf-  
kessel

# Klärwerk Stahnsdorf

Gasometer



# Klärwerk Stahnsdorf



Belebungsbecken  
(Nitrifikation)

# Klärwerk Stahnsdorf



# Klärwerk Stahnsdorf



Belebungsbecken

(Foto von 2018, zeigt ein Nitrifikationsbecken nach der Erneuerung der Belüftungskerzen)

# Klärwerk Stahnsdorf



Hyperboloidförmiges Rührwerk aus dem Denitrifikationsbecken (Foto von 2018)

# Klärwerk Stahnsdorf

Nachklärbecken



# Klärwerk Stahnsdorf



Nachklärbecken  
(Detail:  
Tauchwand und  
Ablauf über  
Zahnkante)

# Kurzer Rückblick auf die bisherige Bemessung

Was haben wir bisher ermittelt bzw. berechnet?

- Fraktionierung des CSB und der Feststoffe im Zulauf zur Kläranlage und im Zulauf zur Belebung
- Erforderliches Schlammalter
- Überschussschlammanfall
- Volumen des Belebungsbeckens und dessen Aufteilung in einen aeroben und einen anoxischen Bereich
- Rücklaufschlammförderung (Massen- und Volumenstrom)
- Interne Rezirkulation (Massen- und Volumenstrom)

# Kurzer Rückblick auf die bisherige Bemessung

Erforderliches Schlammalter aerob:

$$t_{TS,aerob,Bem} = PF * \frac{1}{\mu_{A,max}} * 1,6 * 1,103^{(15-T)} [d]$$

Berechnet: 7 d, gewählt: 10 d

Erforderliches Bemessungsschlammalter:

$$t_{TS,Bem} = t_{TS,aerob,Bem} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{BB}}\right)} [d]$$

Berechnet: 16 d

Wie wird das Volumen des Belebungsbeckens berechnet?

Volumen des Belebungsbeckens

$$V_{BB} \geq \frac{\dot{U}S_d * t_{TS,Bem}}{TS_{BB}} [m^3]$$

Berechnet (mit  $TS_{BB} = 3.300 \text{ g/m}^3$ ):  $68.000 \text{ m}^3$

Überschussschlammanfall:

$$\dot{U}S_d = \dot{U}S_{d,C} + \dot{U}S_{d,P} [kg]$$

Berechnet:  $14.000 \text{ kg TS/d}$

# Kurzer Rückblick auf die bisherige Bemessung

Was hätte sich als Volumen des Belebungsbeckens nach der Berechnungsweise ergeben, die vor Veröffentlichung des neuen Arbeitsblatts A 131 üblich war?

Maßgebliche Bemessungsgröße war die Schlammbelastung:

$$B_{TS} \leq 0,15 \frac{\text{kg BSB}_5/\text{d}}{\text{kg TS}}$$

BSB<sub>5</sub>-Tagesfracht des Klärwerks Stahnsdorf: 15.960 kg BSB<sub>5</sub>/d

Mindestmenge an Trockensubstanz im Belebungsbecken:

$$TS_{min} = \frac{15\,960 \text{ kg BSB}_5/\text{d}}{0,15 \text{ kg BSB}_5/\text{d} / \text{kg TS}} = 106\,400 \text{ kg TS}$$

Becken volumen bei 5 g/l TS:

$$V_{BB} = \frac{106\,400 \text{ kg TS}}{5 \text{ g TS/l}} = 21\,280 \text{ m}^3$$

Becken volumen bei 3,3 g/l TS:

$$V_{BB} = \frac{106\,400 \text{ kg TS}}{3,3 \text{ g TS/l}} \approx 32\,250 \text{ m}^3$$

Ergebnis nicht überraschend, weil man das Problem mit der Wachstumsgeschwindigkeit der Nitrifikanten noch nicht erkannt hatte. Als Ergebnis dessen ließen die berechneten Beckenvolumina keine Nitrifikation zu!

# Kurzer Rückblick auf die bisherige Bemessung

Wie werden Rücklaufverhältnis (für Rücklaufschlamm) und Rückführverhältnis (für interne Rezirkulation) berechnet?

Rücklaufverhältnis:

$$RV = \frac{TS_{BB}}{TS_{RS} - TS_{BB}}$$

Berechnet: 0,7

Rückführverhältnis:

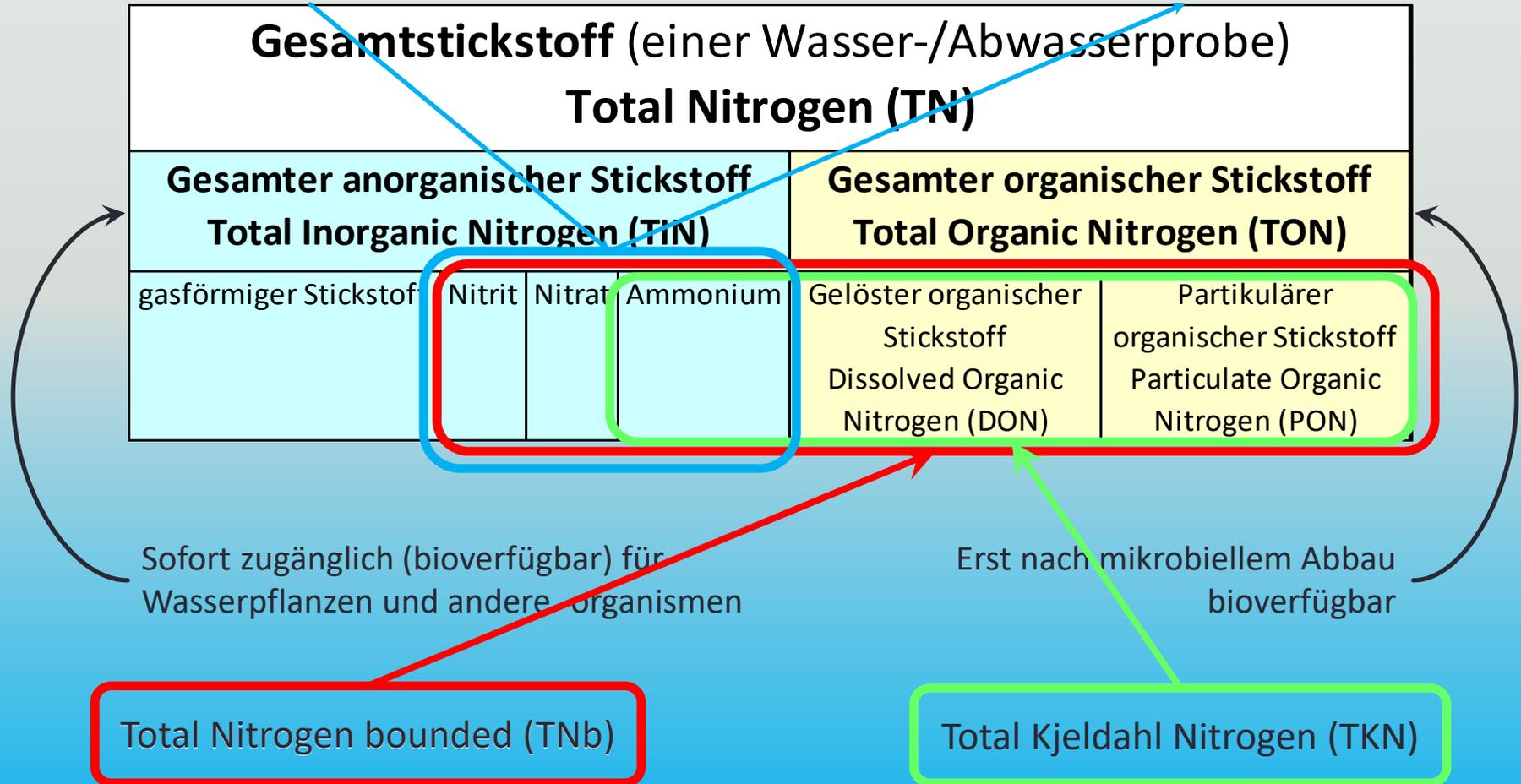
$$RF = \frac{S_{NH_4,N}}{S_{NO_3,AN}} - 1 = \frac{Q_{RS}}{Q_{T,max}} + \frac{Q_{RZ}}{Q_{T,max}}$$

Berechnet: 7,9 - gewählt: 3

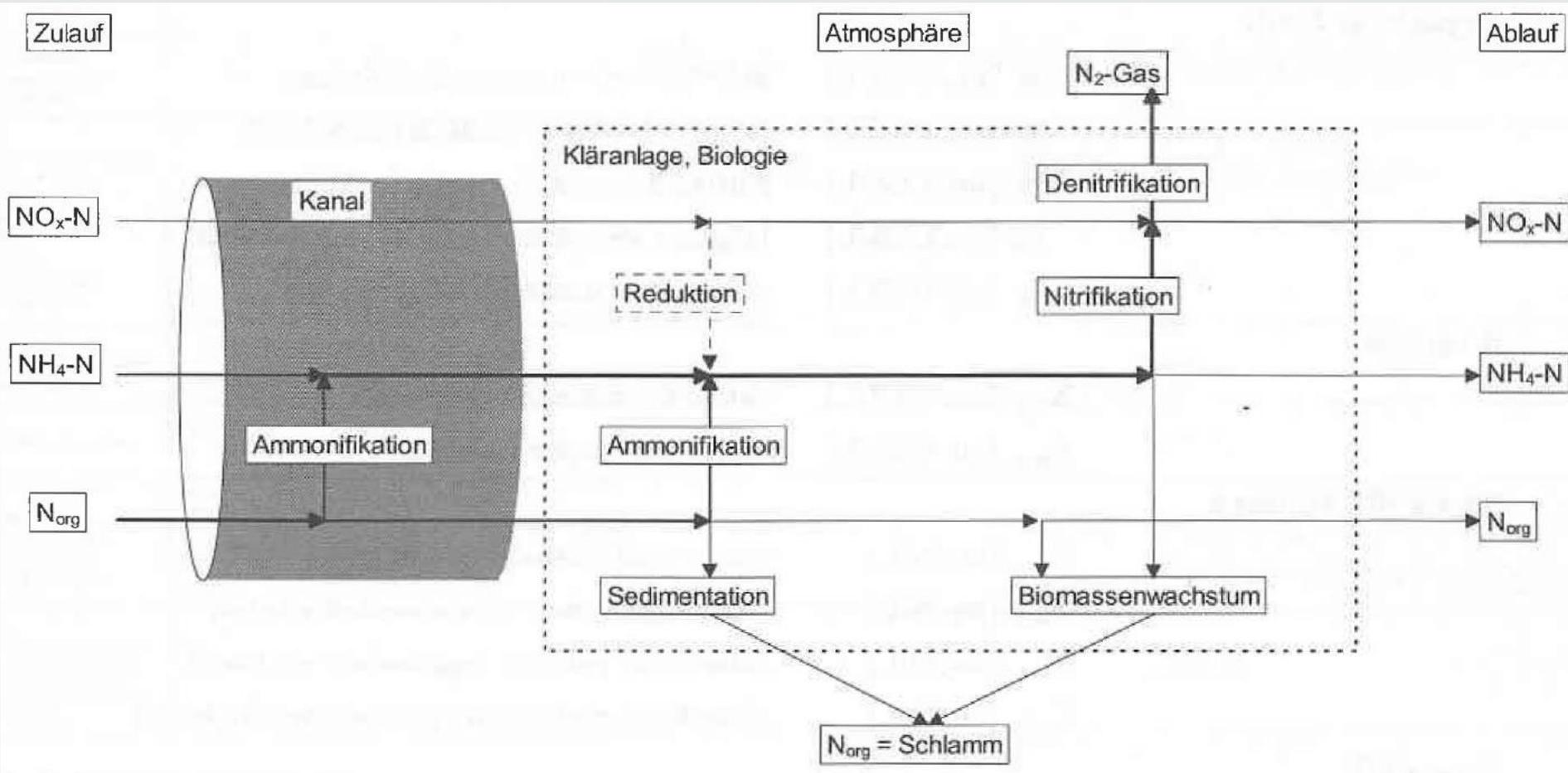
# N-Bilanz und Fraktionierung (Wiederholung)

$\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  kommen ausschließlich in gelöster Form vor!

Summe aus  $\text{NO}_x\text{-N}$  und  $\text{NH}_4\text{-N}$  ist in D i.a.R auch Überwachungswert ( $\text{N}_{\text{ges.anorg.}}$ )!



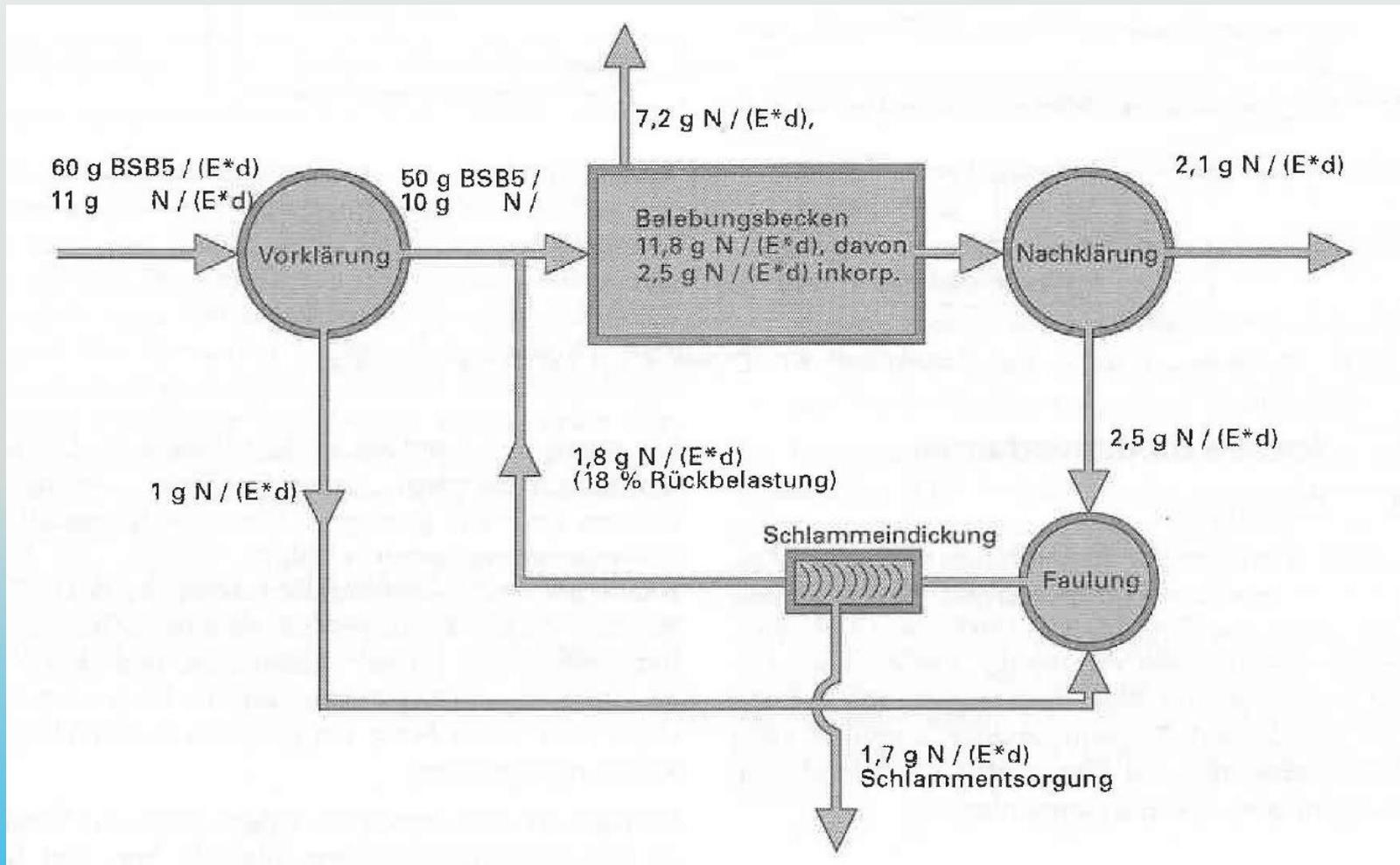
# N-Bilanz (Wiederholung)



Metabolisierung der Stickstoffkompartimente bei der Abwasserbehandlung

aus LONDONG, 2009

# N-Bilanz (Wiederholung)



Grobbilanz der Stickstoffkompartimente in Kläranlagen mit Denitrifikation

aus LONDONG, 2009

# Nitrifikation / Denitrifikation

Wie viel Sauerstoff wird verbraucht, um 1 g NH<sub>4</sub>-N vollständig zu oxidieren?

Reaktionsgleichung:



Atomgewichte: N=14, H = 1, O = 16

Molekulargewicht des Ammoniumstickstoffs:

14 g N

(1 Mol Ammoniumstickstoff wiegt 14 g)

Molekulargewicht des Sauerstoffs:

$$16 * 2 = \frac{32g}{\text{Mol O}_2}$$

Um 1 Mol NH<sub>4</sub>-N zu oxidieren, werden 2 Mol Sauerstoff verbraucht, d. h.: es sind 64 g Sauerstoff je 14 g NH<sub>4</sub>-N erforderlich. Danach ergibt sich:

$$\frac{64 \text{ g O}_2}{14 \text{ g NH}_4 - \text{N}} = \frac{4,57 \text{ g O}_2}{\text{g NH}_4 - \text{N}}$$

# Nitrifikation / Denitrifikation

**Aber:** Die Umwandlung des Ammoniumstickstoffs in der Nitrifikation erfolgt nicht als Oxidation im streng stöchiometrischen Verhältnis, denn es handelt sich um eine biologische Metabolisierung. Dabei wird ein Teil des Stickstoffs in die Zellen der Nitrifikanten eingebaut. Dieser Zellertrag vermindert den tatsächlich erforderlichen Sauerstoffbedarf.

Üblicherweise rechnet man deshalb mit:

$$\frac{4,3 \text{ g } O_2}{\text{g } NH_4 - N}$$

„Für die Nitrifikation wird der Sauerstoffverbrauch mit 4,3 kg O<sub>2</sub> pro kg oxidierten Stickstoff unter Berücksichtigung des Stoffwechsels der Nitrifikanten angenommen.“

aus DWA-A 131, 2016

# Nitrifikation / Denitrifikation

Wie viel Sauerstoff wird bei der Denitrifikation je g  $\text{NO}_3\text{-N}$  zurückgewonnen?

Reaktionsgleichung:



Molekulargewicht des Nitratstickstoffs:

14 g N

(auch 1 Mol Nitratstickstoff wiegt 14 g)

Sauerstoffgewinn:

$$\frac{5}{2} \cdot 16 = 40 \text{ g O}_2$$

$$\frac{40 \frac{\text{g O}_2}{\text{Mol NO}_3 - \text{N}}}{14 \frac{\text{g N}}{\text{Mol NO}_3 - \text{N}}} \approx 2,9 \frac{\text{g O}_2}{\text{g NO}_3 - \text{N}}$$

Mit anderen Worten: Der Sauerstoffgewinn beträgt 2,9 g je g Nitratstickstoff

# Nitrifikation / Denitrifikation

Wie stellt sich somit die Sauerstoffbilanz der Nitrifikation / Denitrifikation dar?

Sauerstoffverbrauch bei der Nitrifikation:

$$4,3 \frac{g O_2}{g NH_4 - N}$$

Sauerstoffrückgewinnung bei der Denitrifikation:

$$2,9 \frac{g O_2}{g NO_3 - N}$$

$$\frac{2,9 \frac{g O_2}{g NO_3 - N}}{4,3 \frac{g}{g NH_4 - N}} = 0,67$$

*Mit anderen Worten:*

*Bei der Denitrifikation werden ca. 2/3 des Sauerstoffverbrauchs aus der Nitrifikation wieder zurückgewonnen.*

# Aufgabe: Selbststudium A 131

Arbeiten Sie Kapitel **7.4 Säurekapazität**  
im DWA-A 131 durch!

Warum muss auf die Einhaltung einer Mindestgröße der Säurekapazität im Belebungsbecken geachtet werden?  
Was bedeutet eigentlich „Säurekapazität“?

5 Minuten

# Nitrifikation / Denitrifikation

Reaktionsgleichung Nitrifikation:



Wie verändert sich demzufolge der pH-Wert bei der Nitrifikation?

Die Nitrifikation ist gekennzeichnet durch einen hohen Sauerstoffverbrauch (1 g  $\text{NH}_4\text{-N}$  benötigt 4,3 g  $\text{O}_2$ ) und durch eine hohe Säureproduktion (1 Mol  $\text{NH}_4\text{-N}$  bildet 2 Mol  $\text{H}^+$ ).

Reaktionsgleichung Denitrifikation:



Wie verändert sich demzufolge der pH-Wert bei der Denitrifikation?

Die Denitrifikation ist gekennzeichnet durch einen Gewinn an Sauerstoff (1 g  $\text{NO}_3\text{-N}$  liefert 2,9 g  $\text{O}_2$ ) und durch eine Basenproduktion, die die in der Nitrifikation gebildete Säure zur Hälfte wieder neutralisiert (1 Mol  $\text{NO}_3\text{-N}$  bildet 1 Mol  $\text{OH}^-$ ).

# Aufgabe 8: Selbststudium A 131

Arbeiten Sie die Kapitel

## **5.2.4 Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau**

## **7.3 Sauerstoffbedarf**

im DWA-A 131 durch! Welche Einflussgrößen bestimmen den Sauerstoffbedarf der Belüftung? Beschreiben Sie, welchen Einfluss Nitrifikation und Denitrifikation auf den Sauerstoffbedarf der Belüftung haben!

10 Minuten

# Belüftung

Welche Einflussgrößen bestimmen den Sauerstoffbedarf der Belüftung?

Abbaubare organische Stoffe im Zulauf zur Belebung

$C_{\text{BSB,abb,ZB}}$

Mit dem Überschussschlamm eliminiertes CSB

$X_{\text{CSB,ÜS}}$

CSB gelöst, inert im Ablauf der Nachklärung

$S_{\text{CSB,inert,AN}}$

Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

$OV_{\text{d,N}}$

Sauerstoffgewinn aus der Denitrifikation

$OV_{\text{d,D}}$

Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Kohlenstoffelimination

$f_{\text{C}}$

Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Nitrifikation

$f_{\text{N}}$

Warum ist bei den Lastfällen zur Bemessung der Belüftung auch der minimale Sauerstoffbedarf zu berücksichtigen?

# Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

„Neue“ Formel nach DWA-A 131, 2016

$$OV_{d,c} = \frac{Q_d * (C_{CSB,abb,ZB} + C_{CSB,dos} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM})}{1.000} \left[ \text{in } \frac{\text{kg O}_2}{\text{d}} \right]$$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

$OV_{d,c}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des abbaubaren CSB im Zulauf zur Belebungsstufe

$C_{CSB,abb,ZB}$

Konzentration des CSB, der als zusätzliche C-Quelle für die Denitrifikation dosiert wird (nur sofern erforderlich)

$C_{CSB,dos}$

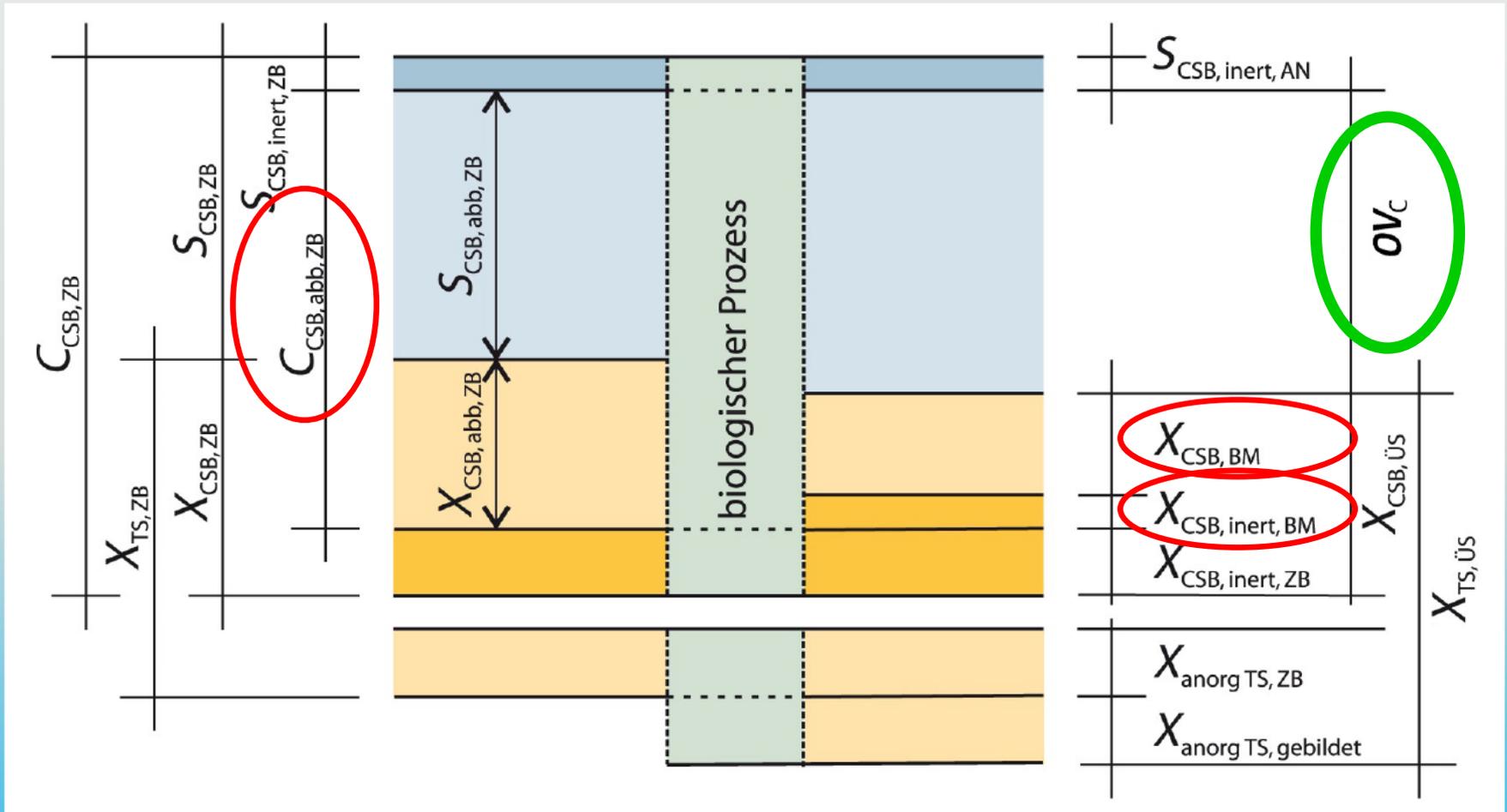
CSB der Biomasse

$X_{CSB,BM}$

Inerter Anteil des CSB der Biomasse

$X_{CSB,inert,BM}$

# Ermittlung Sauerstoffverbrauch („neu“)



$$OV_C = C_{CSB,abb,ZB} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM}$$

# Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

„Alte“ Formel nach ATV-DVWK-A 131, 2000

(nach dieser Formel erfolgt die Berechnung im Excel-Arbeitsblatt)

$$OV_{d,C} = \frac{Q_d * (C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,ÜS})}{1.000} \left[ \text{in } \frac{\text{kg } O_2}{\text{d}} \right]$$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

$OV_{d,C}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebungsstufe

$C_{CSB,ZB}$

Konzentration der gelösten inerten (nicht abbaubaren)

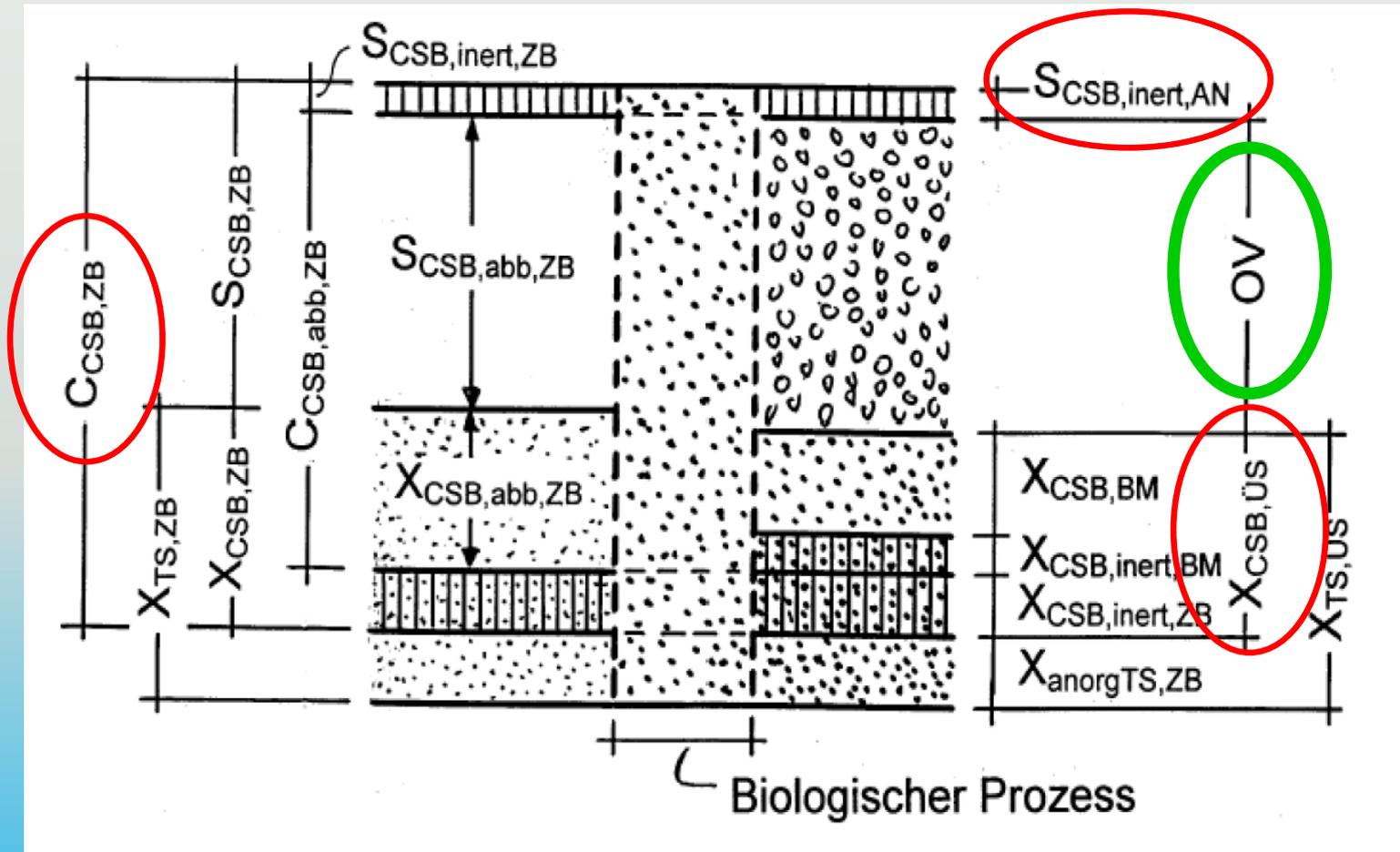
CSB-Fraktion im Ablauf der Nachklärung

$S_{CSB,inert,AN}$

Als CSB gemessener Überschussschlamm

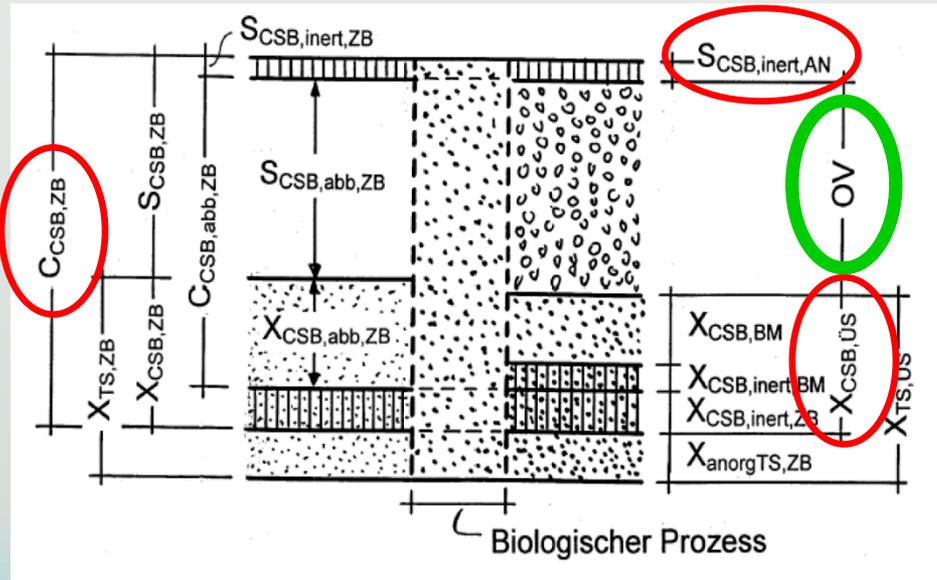
$X_{CSB,ÜS}$

# Ermittlung Sauerstoffverbrauch („alt“)

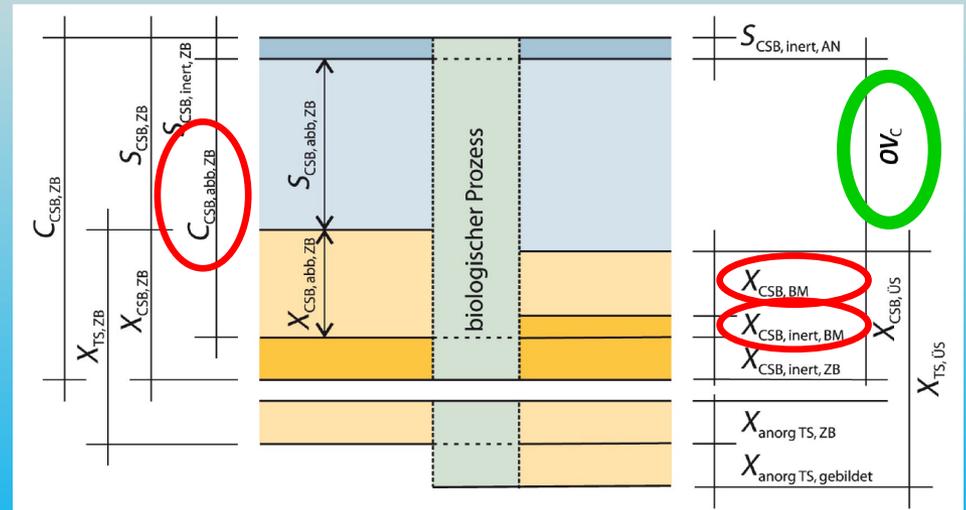


$$OV = C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,US}$$

# Vergleich Ermittlung Sauerstoffverbrauch „alt“/„neu“



Erläutern Sie die neue und die alte Berechnungsformel anhand der Grafik zur Veränderung des CSB und der abfiltrierbaren Stoffe bei der biologischen Behandlung in DWA-A 131!



# Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

Ermittlung über Nitratsauerstoffbilanz:

Der Faktor 4,3 ist der O<sub>2</sub>-Verbrauch bei der biochemischen Oxidation von Ammonium (liegt unter dem Ergebnis der stöchiometrischen Rechnung)!

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

Täglicher Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation

$OV_{d,N}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats

$S_{NO3,D}$

Nitratkonzentration im Zulauf zur Belebung

$S_{NO3,ZB}$

Nitratkonzentration im Ablauf des NKB

$S_{NO3,AN}$

# Sauerstoffgewinn bei der Denitrifikation

$$OV_{d,D} = \frac{Q_d * 2,9 * S_{NO3,D}}{1.000}$$

Der Faktor 2,9 resultiert aus der stöchiometrischen Rechnung!

Täglicher Sauerstoffgewinn bei der Denitrifikation  
(= Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination,  
der durch die Denitrifikation gedeckt wird)

$OV_{d,D}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats

$S_{NO3,D}$

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Der als Spitzenwert maßgebliche Sauerstoffverbrauch errechnet sich wie folgt:

$$OV_h = \frac{f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + f_N * OV_{d,N}}{24}$$

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert

$OV_h$

Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung

$f_C$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für C-Elimination

$OV_{d,C}$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination,  
der durch die Denitrifikation gedeckt wird

$OV_{d,D}$

Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation

$f_N$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

$OV_{d,N}$

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Weil die Sauerstoffverbrauchsspitze für die Nitrifikation in der Regel zeitlich nicht mit der Sauerstoffverbrauchsspitze für die Kohlenstoffelimination zusammenfällt, muss die Berechnung des Spitzenwerts des maßgeblichen Sauerstoffverbrauchs nach der Formel auf der vorherigen Folie zweimal erfolgen:

1. einmal mit dem Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung  $f_C$ , wobei der Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation  $f_N = 1$  gesetzt wird
2. umgekehrt, d. h. mit dem Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation  $f_N$ , wobei der Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung  $f_C = 1$  gesetzt wird

Der jeweils höhere Wert von  $OV_h$  ist maßgebend.

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Ermittlung der Stoßfaktoren  $f_C$  und  $f_N$  aus DWA-A 131:

Tabelle 7: Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch

Parameter	Schlammalter in d					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} \leq 2.400 \text{ kg/d}$				2,4	2,0	1,5
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} > 12.000 \text{ kg/d}$			2,0	1,8	1,5	
ANMERKUNG $f_N^{*1}$ hilfsweise, wenn keine Messungen für $f_N$ vorliegen.						

# Erforderliche Sauerstoffzufuhr $erf. \alpha * OC$

Für durchgehend belüftete Becken errechnet sich die erforderliche Sauerstoffzufuhr wie folgt:

$$erf. \alpha * OC = \frac{c_S * OV_h}{c_S - c_x}$$

erforderliche Sauerstoffzufuhr

$erf. \alpha * OC$

Sauerstoff-Sättigungskonzentration (ist gesondert zu ermitteln)

$c_S$

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert

$OV_h$

Sollwert der Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

$c_x$

Die Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr sollte für alle relevanten Lastfälle erfolgen (Sommerbetrieb, Winterbetrieb, hohe BSB-Fracht, hohe N-Fracht usw.)

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

Die Sauerstoffsättigungskonzentration kann man aus Tabellen ablesen...

t <sup>°C</sup>	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.16	14.12	14.08	14.04	14.00	13.97	13.93	13.89	13.85	13.81
1	13.77	13.74	13.70	13.66	13.63	13.59	13.55	13.51	13.48	13.44
2	13.40	13.37	13.33	13.30	13.26	13.22	13.19	13.15	13.12	13.08
3	13.05	13.01	12.98	12.94	12.91	12.87	12.84	12.81	12.77	12.74
4	12.70	12.67	12.64	12.60	12.57	12.54	12.51	12.47	12.44	12.41
5	12.37	12.34	12.31	12.28	12.25	12.22	12.18	12.15	12.12	12.09
6	12.06	12.03	12.00	11.97	11.94	11.91	11.88	11.85	11.82	11.79
7	11.76	11.73	11.70	11.67	11.64	11.61	11.58	11.55	11.52	11.50
8	11.47	11.44	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30	11.27	11.25	11.22
9	11.19	11.16	11.14	11.11	11.08	11.06	11.03	11.00	10.98	10.95
10	10.92	10.90	10.87	10.85	10.82	10.80	10.77	10.75	10.72	10.70
11	10.67	10.65	10.62	10.60	10.57	10.55	10.53	10.50	10.48	10.45
12	10.43	10.40	10.38	10.36	10.34	10.31	10.29	10.27	10.24	10.22
13	10.20	10.17	10.15	10.13	10.11	10.09	10.06	10.04	10.02	10.00
14	9.98	9.95	9.93	9.91	9.89	9.87	9.85	9.83	9.81	9.78
15	9.76	9.74	9.72	9.70	9.68	9.66	9.64	9.62	9.60	9.58
16	9.56	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.45	9.43	9.41	9.39
17	9.37	9.35	9.33	9.31	9.30	9.28	9.26	9.24	9.22	9.20
18	9.18	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04	9.03
19	9.01	8.99	8.98	8.96	8.94	8.93	8.91	8.89	8.88	8.86
20	8.84	8.83	8.81	8.79	8.78	8.76	8.75	8.73	8.71	8.70
21	8.68	8.67	8.65	8.64	8.62	8.61	8.59	8.58	8.56	8.55
22	8.53	8.52	8.50	8.49	8.47	8.46	8.44	8.43	8.41	8.40
23	8.38	8.37	8.36	8.34	8.33	8.32	8.30	8.29	8.27	8.26
24	8.25	8.23	8.22	8.21	8.19	8.18	8.17	8.15	8.14	8.13
25	8.11	8.10	8.09	8.07	8.06	8.05	8.04	8.02	8.01	8.00
26	7.99	7.97	7.96	7.95	7.94	7.92	7.91	7.90	7.89	7.88
27	7.86	7.85	7.84	7.83	7.82	7.81	7.79	7.78	7.77	7.76
28	7.75	7.74	7.72	7.71	7.70	7.69	7.68	7.67	7.66	7.65
29	7.64	7.62	7.61	7.60	7.59	7.58	7.57	7.56	7.55	7.54
30	7.53	7.52	7.51	7.50	7.48	7.47	7.46	7.45	7.44	7.43
31	7.42	7.41	7.40	7.39	7.38	7.37	7.36	7.35	7.34	7.33
32	7.32	7.31	7.30	7.29	7.28	7.27	7.26	7.25	7.24	7.23
33	7.22	7.21	7.20	7.20	7.19	7.18	7.17	7.16	7.15	7.14
34	7.13	7.12	7.11	7.10	7.09	7.08	7.07	7.06	7.05	7.05
35	7.04	7.03	7.02	7.01	7.00	6.99	6.98	6.97	6.96	6.95
36	6.94	6.94	6.93	6.92	6.91	6.90	6.89	6.88	6.87	6.86
37	6.86	6.85	6.84	6.83	6.82	6.81	6.80	6.79	6.78	6.77
38	6.76	6.76	6.75	6.74	6.73	6.72	6.71	6.70	6.70	6.69
39	6.68	6.67	6.66	6.65	6.64	6.63	6.63	6.62	6.61	6.60
40	6.59	6.58	6.57	6.56	6.56	6.55	6.54	6.53	6.52	6.51

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

...oder berechnen. Hierfür wurden verschiedene Formeln veröffentlicht.

Berechnungsvorschlag der U.S. American Public Health Association, 1995:

$$c_S = e^{(-139,3441 + \frac{1,57570 * 10^5}{T} - \frac{6,64231 * 10^7}{T^2} + \frac{1,2438 * 10^{10}}{T^3} - \frac{8,62195 * 10^{11}}{T^4})}$$

wobei

$c_S$  Sauerstoffsättigungskonzentration bei Normaldruck (1 bar) und vernachlässigbar geringen Salzgehalten des Wassers

$T$  Wassertemperatur in °K (= 273,15 + Temperatur in °C)

APHA 1995, zitiert in U.S. EPA, 2008

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

Berechnungsvorschlag von PÖPEL, 1985:

$$c_S = \frac{2.234,34}{(T + 45,93)^{1,31403}}$$

wobei

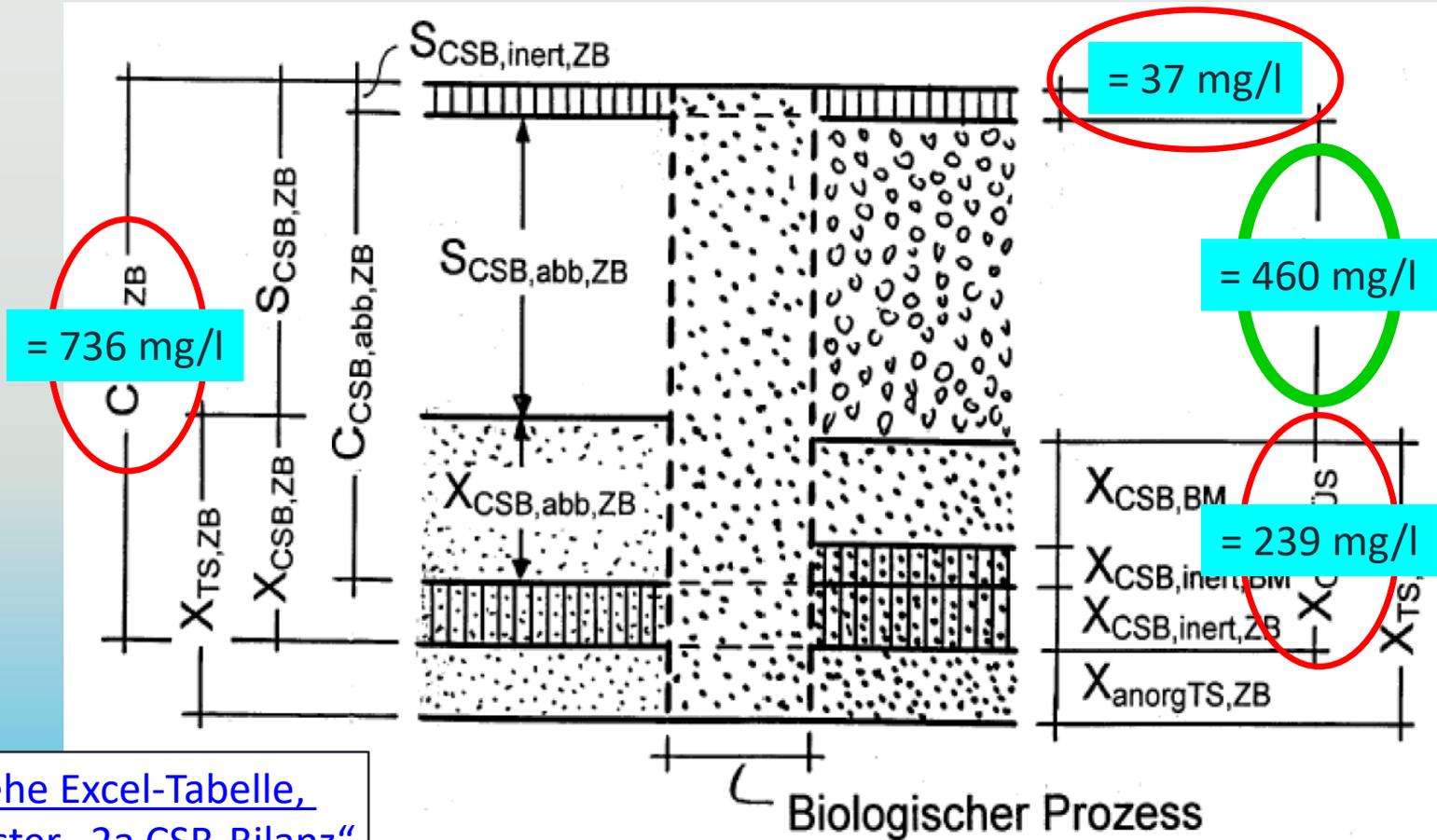
$c_S$  Sauerstoffsättigungskonzentration bei Normaldruck (1 bar) und vernachlässigbar geringen Salzgehalten des Wassers

$T$  Wassertemperatur in °C

zitiert in WAGNER, 1992

Die direkte Berechnung nach einer Formel ist die Methode der Wahl, sobald die Wassertemperatur als Variable in die Berechnung eingeht (z. B. wenn eine **Scenarioanalyse** durchgeführt werden soll)!

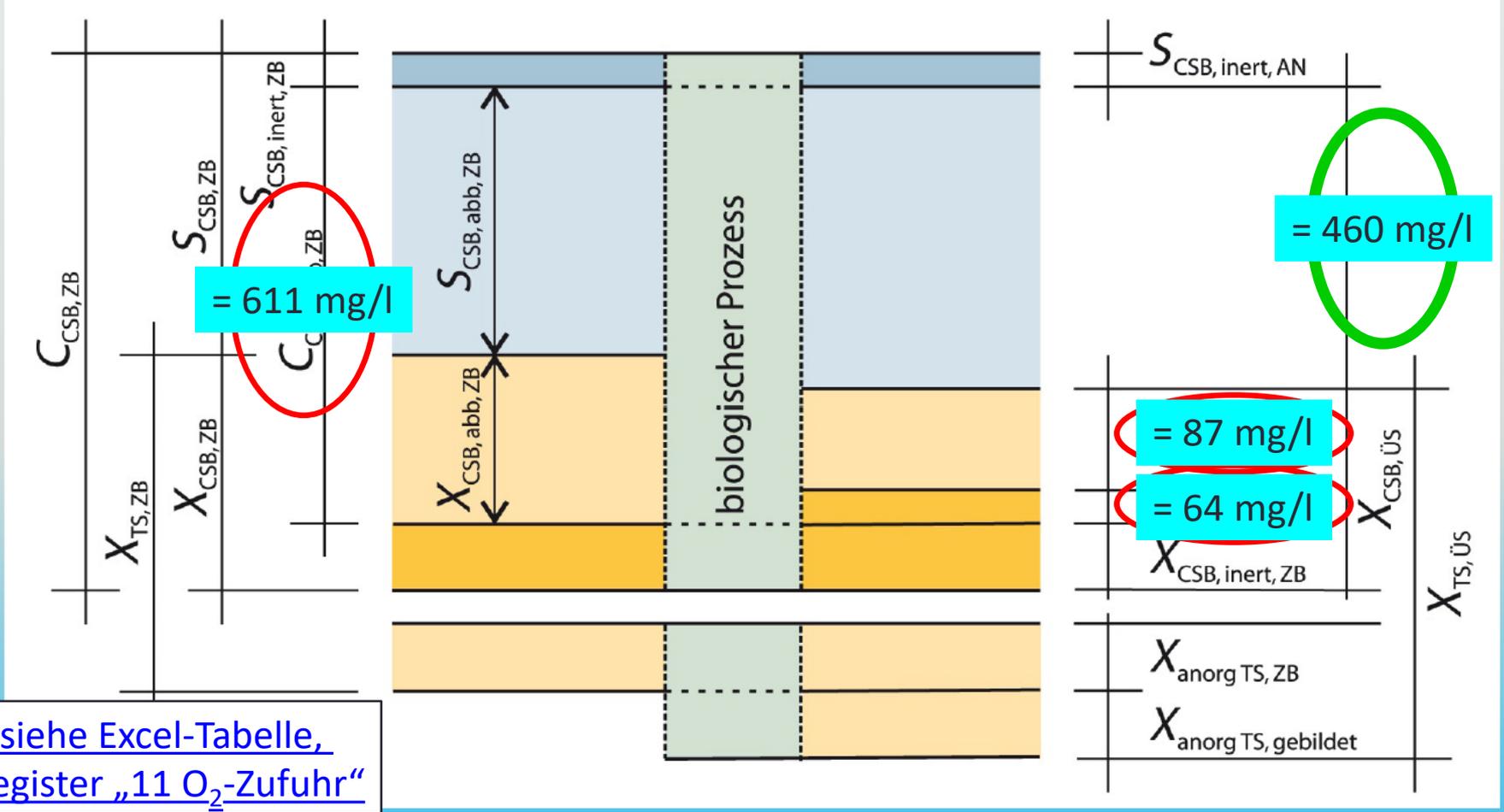
# Ermittlung Sauerstoffverbrauch KA Stahnsdorf („alt“)



[siehe Excel-Tabelle, Register „2a CSB-Bilanz“](#)

$$OV = 736 - 37 - 239 = 460 \text{ mg/l}$$

# Ermittlung Sauerstoffverbrauch KA Stahnsdorf („neu“)



[siehe Excel-Tabelle, Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

$$OV_C = 611 - 87 - 64 = 460 \text{ mg/l}$$

# Berechnung $OV_{d,c}$ für KA Stahnsdorf

Ermittlung über  
Sauerstoffbilanz:

$$OV_{d,c} = \frac{Q_d * (C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,ÜS})}{1.000}$$

$Q_d$	Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	52.000 $m^3/d$
$C_{CSB,ZB}$	CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebungsstufe	736 $mg O_2/l$
<i>(„Dosierter externer Kohlenstoff wird für den Sauerstoffverbrauch nicht berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass dieser mit Nitrat veratmet wird.“ ATV-DVWK-A 131)</i>		
$S_{CSB,inert,AN}$	Konzentration der gelösten inerten (nicht abbaubaren) CSB-Fraktion im Ablauf der Nachklärung	37 $mg O_2/l$
$X_{CSB,ÜS}$	Als CSB gemessener Überschussschlamm	239 $mg O_2/l$

$$OV_{d,c} = \frac{52.000 * (736 - 37 - 239)}{1.000} = 23.920 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle,  
Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_{d,D}$ für KA Stahnsdorf

$$OV_{d,D} = \frac{Q_d * 2,9 * S_{NO3,D}}{1.000}$$

Einsparung an Sauerstoff aus der Denitrifikation

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter ( $Q_d$ )

52.000  $m^3/d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats ( $S_{NO3,D}$ )

46,8  $mg/l$

$$OV_{d,D} = \frac{52.000 * 2,9 * 46,8}{1.000} = 7.057 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle,  
Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_{d,N}$ für KA Stahnsdorf

Ermittlung über Nitratsauerstoffbilanz:

$$OV_{d,N} = \frac{Q_d * 4,3 * (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,ZB} + S_{NO_3,AN})}{1.000}$$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	52.000 $m^3/d$
Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats	46,8 $mg/l$
Nitratkonzentration im Zulauf zur Belebung	0 $mg/l$
Nitratkonzentration im Ablauf des NKB	9,1 $mg/l$

$$OV_{d,N} = \frac{52.000 * 4,3 * (46,8 - 0 + 9,1)}{1.000} = 12.500 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle, Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_h$ für KA Stahnsdorf

Stoßfaktoren  $f_C$  und  $f_N$  für KA Stahnsdorf:

Tabelle 7: Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch

Parameter	Schlammalter in d					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} \leq 2.400 \text{ kg/d}$				2,4	2,0	1,5
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} > 12.000 \text{ kg/d}$			2,0	1,8	1,5	

ANMERKUNG  
 $f_N^{*1}$  hilfsweise, wenn keine Messungen für  $f_N$  vorliegen.

# Berechnung $OV_h$ für KA Stahnsdorf

Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung ( $f_c$ )	1,15
Täglicher Sauerstoffverbrauch für C-Elimination ( $OV_{d,C}$ )	23.920 kg $O_2/d$
Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination, der durch die Denitrifikation abgedeckt wird ( $OV_{d,D}$ )	7.057 kg $O_2/d$
Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation ( $f_N$ )	1,5
Täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation ( $OV_{d,N}$ )	12.500 kg $O_2/d$

1. Rechengang:

$$OV_h = \frac{1,0 * (23.920 - 7.057) + 1,5 * 12.500}{24} \approx 1.484 \text{ kg } O_2/h$$

Maßgeblicher Wert!

2. Rechengang:

$$OV_h = \frac{1,15 * (23.920 - 7.057) + 1,0 * 12.500}{24} \approx 1.329 \text{ kg } O_2/h$$

# Berechnung $erf. \alpha * OC$ für KA Stahnsdorf

Berechnung für Sommerbetrieb, d. h. maßgebende höchste Abwassertemperatur,  
 $T_{Bem.,hoch} = 20^{\circ}C$

Sauerstoff-Sättigungskonzentration ( $c_s$ )  
(abgelesen aus Tabelle)

8,8 mg/l

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert ( $OV_h$ ) 1.484 kg  $O_2$ /h

Sollwert der Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken ( $c_x$ ) 2,0 mg/l

$$erf. \alpha * OC = \frac{8,8 * 1.484 \text{ kg } \frac{O_2}{h}}{8,8 - 2} \approx 1.920 \text{ kg } O_2/h$$

siehe Excel-Tabelle,  
Register „11  $O_2$ -Zufuhr“

# Berechnung $V_{Luft,OC}$ für KA Stahnsdorf

1 Normkubikmeter Luft wiegt 1,293 kg,  
Umgebungsluft enthält ca. 23,16 Mass.%  $O_2$   
Ergo: 1  $Nm^3$  Luft enthält ca. 300 g Sauerstoff

(Normkubikmeter heißt,  
gemessen bei  $0^\circ C$  und  
Luftdruck = 1.013 mbar)

erforderliche Sauerstoffzufuhr (*erf.  $\alpha$  \* OC*)

1.920  $kg O_2/h$

durchschnittliche Sauerstoffaufnahme

33 %

Quotient der Sauerstoffzufuhr  
und in Reinwasser ( *$\alpha - We$* )

Die Berechnung von  
 $V_{Luft,OC}$  ist in DWA-A 131  
nicht erläutert!  
(aber in Excel-Tabelle  
enthalten)

0,7

$$V_{Luft,OC} = \frac{1,920 \frac{kg O_2}{h}}{1,293 \frac{kg Luft}{Nm^3 Luft} * 0,2316 \frac{kg O_2}{kg Luft} * 0,33 * 0,7} \approx 28.000 m^3 Luft/h$$

alternativer Rechenweg:

$$V_{Luft,OC} = \frac{1.920 \frac{kg O_2}{h}}{0,3 \frac{kg O_2}{Nm^3 Luft} * 0,33 * 0,7} \approx 28.000 m^3 Luft/h$$

# Aufgabe: Selbststudium A 131

Arbeiten Sie Kapitel **6 Bemessung der Nachklärung**  
im DWA-A 131 durch!

10 Minuten

# Bemessung Nachklärbecken

Welche Einflussgrößen bestimmen nach ATV-DVWK-A 131 die Bemessung eines NKB?

Schlammindex	$ISV$
Maximaler Regenwetterzufluss	$Q_m$
Trockensubstanzgehalt im Ablauf des Belebungsbeckens bzw. im Zulauf zur Nachklärung <sup>1)</sup>	$TS_{AB}$

Außerdem zu beachten bzw. zu wählen:

Eindickzeit	$t_E$
Schlammvolumenbeschickung	$q_{SV}$
Klarwasserzone (Tiefe)	$h_1$
Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes	$TS_{ÜS}$
Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB	$TS_{BS}$
Rücklaufschlammvolumenstrom	$Q_{RS}$

<sup>1)</sup> außer bei Kaskadendenitrifikation gilt:

$$TS_{AB} = TS_{BB}$$

# Bemessung Nachklärbecken

Schlammindex ( $ISV$ ), Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ ) und Eindickzeit ( $t_E$ ) sind voneinander abhängige Größen. Ähnlich wie bei der Ermittlung von Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ ), Rücklaufverhältnis ( $RV$ ) und Trockensubstanzgehalt des Rücklaufschlammes ( $TS_{RS}$ ) muss auch hier zunächst ein Wert geschätzt werden, um iterativ die übrigen Werte zu ermitteln.

$$ISV = \frac{1000}{TS_{BS}} * \sqrt[3]{t_E}$$

$$t_E = \left( \frac{TS_{BS} * ISV}{1000} \right)^3$$

$$TS_{BS} = \frac{1000}{ISV} * \sqrt[3]{t_E}$$

Maßgeblich für die Fläche des NKB ( $A_{NB}$ ) ist die sogenannte Flächenbeschickung ( $q_A$ ), die wiederum von der Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) und dem Vergleichsschlammvolumen ( $VSV$ ) abhängt:

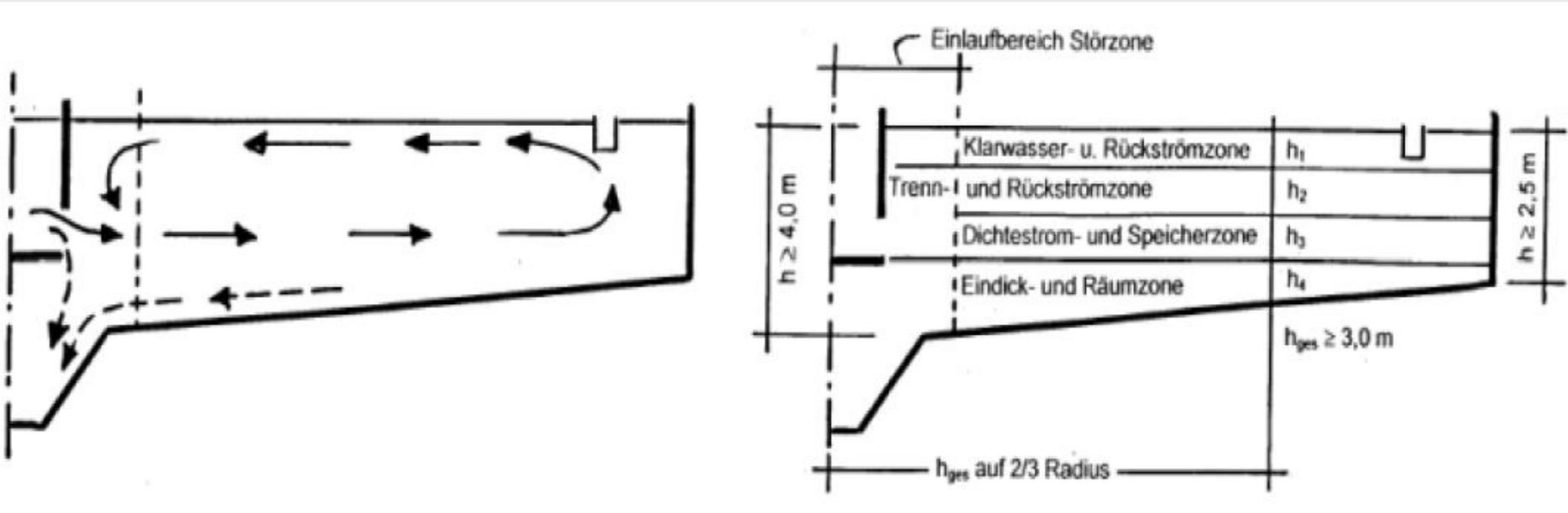
$$A_{NB} = \frac{Q_m}{q_a}$$

$$q_A = \frac{q_{SV}}{VSV}$$

$$VSV = TS_{BB} * ISV$$

$q_{SV}$  ist unter Berücksichtigung der Hinweise in A 131 zu wählen.

# Bemessung Nachklärbecken (alt)



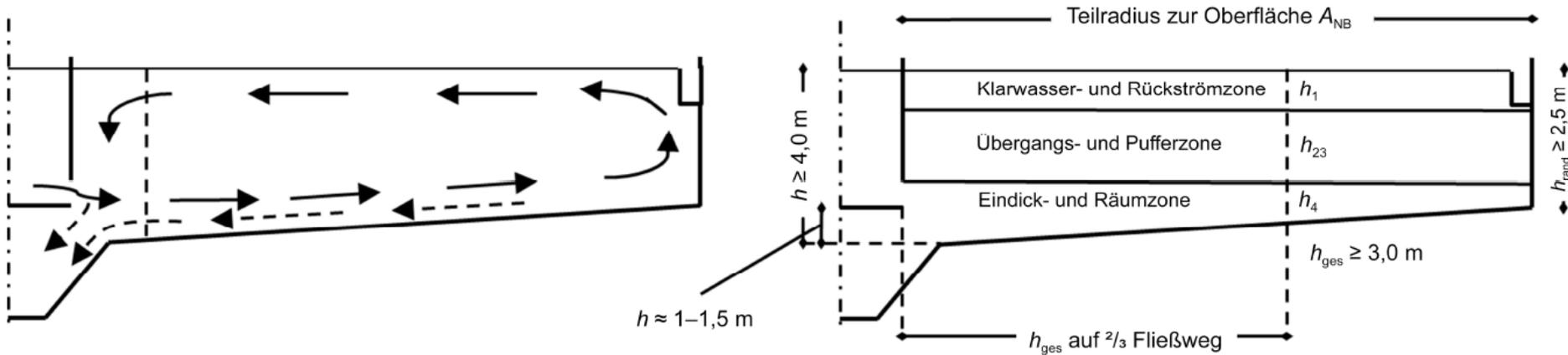
## Hauptströmungsrichtungen und funktionale Beckenzonen von horizontal durchströmten runden Nachklärbecken

aus ATV-DVWK-A 131, 2000

Warum wird das Nachklärbecken oben als „horizontal durchströmt“ bezeichnet?

Warum erfolgt der Abwasserzulauf in halber Tiefe des Nachklärbeckens?

# Bemessung Nachklärbecken (neu)



## Hauptströmungsrichtungen und funktionale Beckenzonen von horizontal durchströmten runden Nachklärbecken

aus DWA-A 131, 2016

# Bemessung Nachklärbecken

Die Klarwasserzone ( $h_1$ ) ist eine Sicherheitszone mit einer Mindesttiefe von 0,50 m. Die Tiefe der übrigen drei Funktionszonen wird aus vorher zu berechnenden Werten gemäß empirischer Formeln ermittelt:

$$h_2 = \frac{0,5 * q_A * (1 + RV)}{1 - VSV/1.000}$$

$$h_3 = \frac{1,5 * 0,3 * q_{SV} * (1 + RV)}{500}$$

$$h_4 = \frac{TS_{BB} * q_A * (1 + RV) * t_E}{TS_{BS}}$$

Abschließend ist zu überprüfen, ob folgende Bedingungen erfüllt sind

- $h_{ges}$  auf 2/3 des Fließweges  $\geq 3,00$  m
- Neigung Beckensohle  $\geq 1 : 15$

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

Schlammindex ( $ISV$ ) gewählt

100 l/kg

Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ )

11,5 kg/m<sup>3</sup>

$$t_E = \left( \frac{11,5 * 100}{1000} \right)^3 \approx 1,5 \text{ h, gewählt: } 2 \text{ h}$$

Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ )

3,3 kg/m<sup>3</sup>

$$VSV = 3,3 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ l/kg} = 329 \text{ l/m}^3$$

Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) gewählt

450 l/m<sup>2</sup> \* h

$$q_A = \frac{450 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 * \text{h}}}{329 \text{ l/m}^3} \approx 1,37 \text{ m/h}$$

Maximaler Regenwetterzufluss ( $Q_m$ )

6.510 m<sup>3</sup>/h

$$A_{NB} = \frac{6.510 \text{ m}^3/\text{h}}{1,37 \text{ m/h}} \approx 4.750 \text{ m}^2$$

siehe Excel-Tabelle,  
Register „9 ISV, t<sub>E</sub>, TS<sub>BB</sub>, RV“  
und „13 q<sub>A</sub>, q<sub>SV</sub>, VSV, A<sub>NB</sub>“

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

Klarwasserzone ( $h_1$ ) gewählt	0,50 m
Flächenbeschickung ( $q_A$ )	1,37 m/h
Rücklaufverhältnis ( $RV$ )	0,7
Vergleichsschlammvolumen ( $VSV$ )	329 l/m <sup>3</sup>

$$h_2 = \frac{0,5 * 1,37 * (1 + 0,7)}{1 - 329/1.000} = 1,74 m$$

Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) gewählt	450 l/m <sup>2</sup> * h
--	--------------------------

$$h_3 = \frac{1,5 * 0,3 * 450 * (1 + 0,7)}{500} = 0,69 m$$

Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ )	3,3 kg/m <sup>3</sup>
--	-----------------------

Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ )	11,5 kg/m <sup>3</sup>
---	------------------------

$$h_4 = \frac{3,3 * 1,37 * (1 + 0,7) * 2}{11,5} = 1,33 m - \text{gewählt: } 1,57 m$$

$$h_{ges} = 4,50 m$$

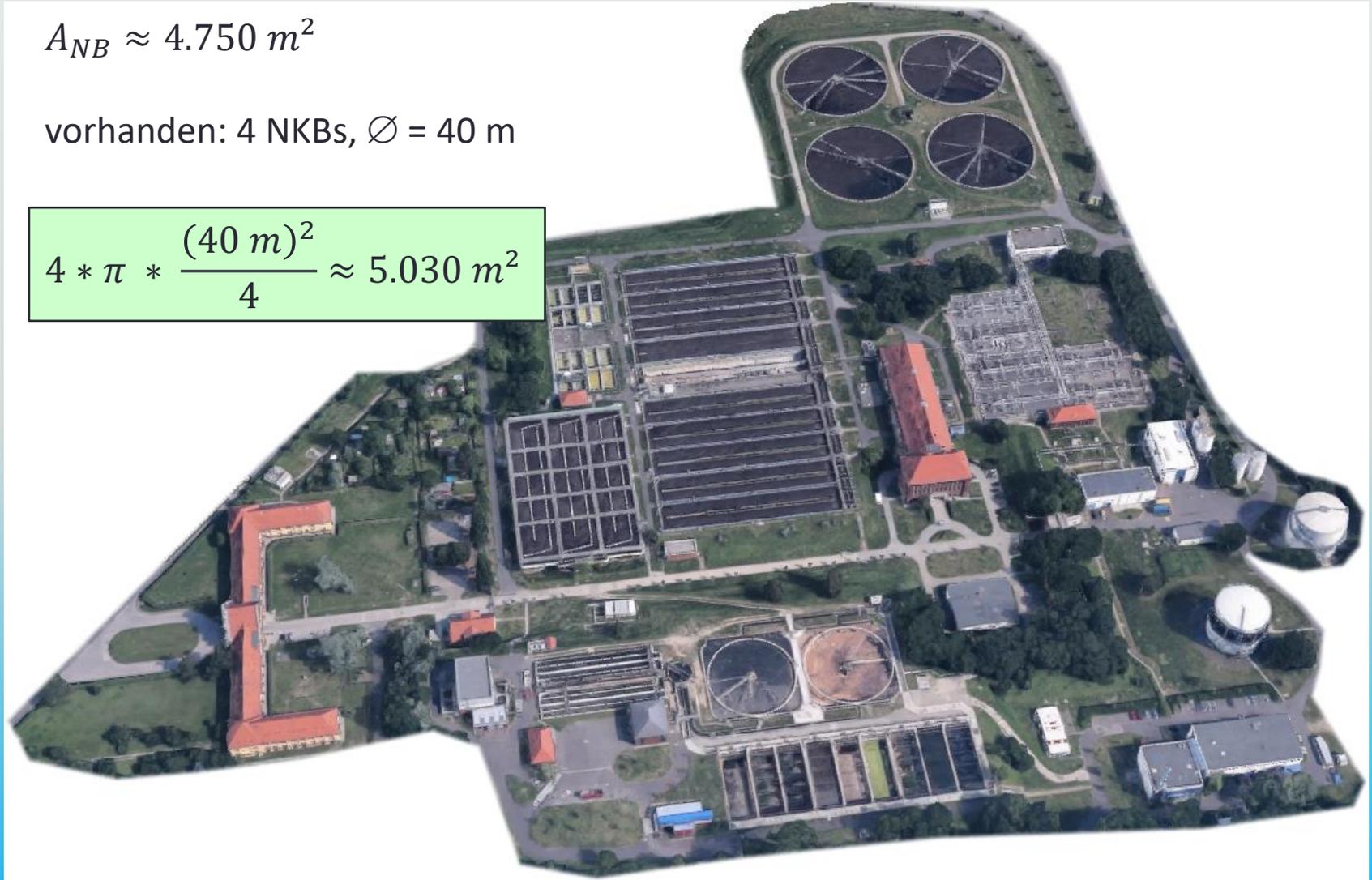
[siehe Excel-Tabelle,  
Register „14 NKB“](#)

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

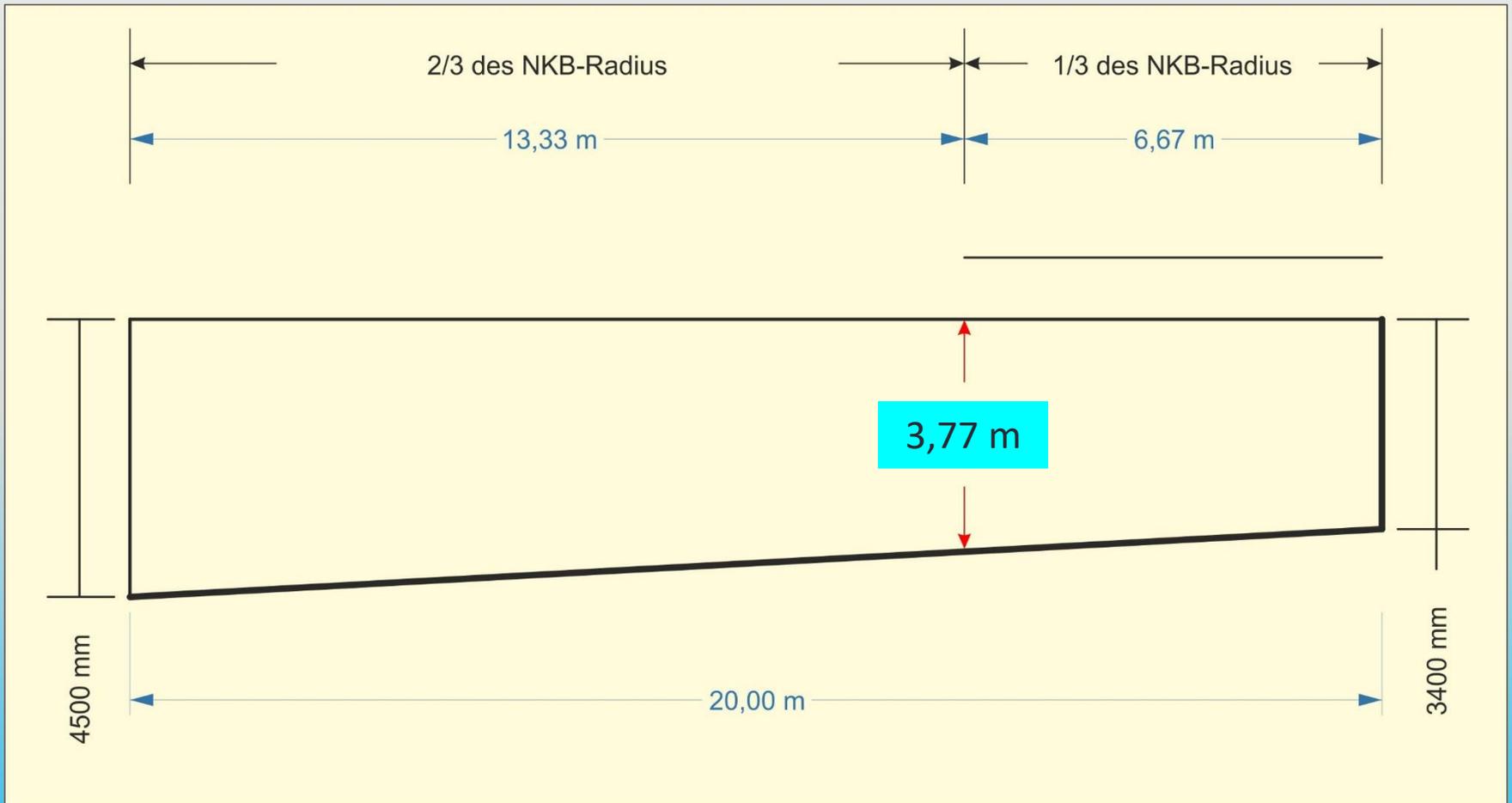
$$A_{NB} \approx 4.750 \text{ m}^2$$

vorhanden: 4 NKBs,  $\varnothing = 40 \text{ m}$

$$4 * \pi * \frac{(40 \text{ m})^2}{4} \approx 5.030 \text{ m}^2$$



# Skizze KA Stahnsdorf, NKB



Nachweis, dass  $h_{\text{sum}}$  bei 2/3 des Fließwegs  $\geq 3,00$  m

# Parameter, die zu wählen sind

Welche Parameter sind bei der Bemessung einer Kläranlage nach ATV-DVWK-A 131 zu wählen?

Sicherheitsfaktor	SF
Aerobes Schlammalter	$t_{TS,aerob,Bem}$
Bemessungsschlammalter	$t_{TS,Bem}$
Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken	$TS_{BB}$
Eindickzeit	$t_E$
Schlammindex	ISV
Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes	$TS_{ÜS}$
Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB	$TS_{BS}$
Rücklaufverhältnis	RV
Rückführverhältnis für interne Rezirkulation	RF
Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Kohlenstoffelimination	$f_C$
Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Nitrifikation	$f_N$
Sauerstoffkonzentration im BB	$c_x$
Säurekapazität im Ablauf der Belebung	$S_{KS,ZB}$
Schlammvolumenbeschickung	$q_{SV}$
Klarwasserzone (Tiefe)	$h_1$

# Tipps zur Interpretation der Excel-Tabelle

Excel-Tabelle,  
Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“

Feld E4 (Name: „Ovd\_C“)

Überprüfung von Eingangswerten in Formeln mittels F9-Taste

Rückverfolgen von Eingangswerten in Formeln über → Menü Formeln → Spur zum Vorgänger

(nur sinnvoll für Werte, die aus dem gleichen Registerblatt eingelesen werden)

Rückverfolgen von Eingangswerten in Formeln über deren Namen

(notwendig, sobald Eingangswerte aus anderen Registerblättern stammen)

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lützner, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

Bemessung der Kläranlage Stahnsdorf  
nach DWA-A 131

Teil 3 (Belüftung, Nachklärbecken)

# Aufgabe 8: Selbststudium A 131

Arbeiten Sie die Kapitel

## **5.2.4 Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau**

## **7.3 Sauerstoffbedarf**

im DWA-A 131 durch! Welche Einflussgrößen bestimmen den Sauerstoffbedarf der Belüftung? Beschreiben Sie, welchen Einfluss Nitrifikation und Denitrifikation auf den Sauerstoffbedarf der Belüftung haben! Warum ist bei den Lastfällen auch der minimale Sauerstoffbedarf zu berücksichtigen?

10 Minuten

# Belüftung

Welche Einflussgrößen bestimmen den Sauerstoffbedarf der Belüftung?

Abbaubare organische Stoffe im Zulauf zur Belebung

$C_{\text{BSB,abb,ZB}}$

Mit dem Überschussschlamm eliminiertes CSB

$X_{\text{CSB,ÜS}}$

CSB gelöst, inert im Ablauf der Nachklärung

$S_{\text{CSB,inert,AN}}$

Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

$OV_{\text{d,N}}$

Sauerstoffgewinn aus der Denitrifikation

$OV_{\text{d,D}}$

Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Kohlenstoffelimination

$f_{\text{C}}$

Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Nitrifikation

$f_{\text{N}}$

# Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

„Neue“ Formel nach DWA-A 131, 2016

$$OV_{d,c} = \frac{Q_d * (C_{CSB,abb,ZB} + C_{CSB,dos} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM})}{1.000} \left[ \text{in } \frac{\text{kg O}_2}{\text{d}} \right]$$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

$OV_{d,c}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des abbaubaren CSB im Zulauf zur Belebungsstufe

$C_{CSB,abb,ZB}$

Konzentration des CSB, der als zusätzliche C-Quelle für die Denitrifikation dosiert wird (nur sofern erforderlich)

$C_{CSB,dos}$

CSB der Biomasse

$X_{CSB,BM}$

Inerter Anteil des CSB der Biomasse

$X_{CSB,inert,BM}$

# Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

„Alte“ Formel nach ATV-DVWK-A 131, 2000

(nach dieser Formel erfolgt die Berechnung im Excel-Arbeitsblatt)

$$OV_{d,C} = \frac{Q_d * (C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,ÜS})}{1.000} \left[ \text{in } \frac{\text{kg O}_2}{\text{d}} \right]$$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Kohlenstoffelimination

$OV_{d,C}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebungsstufe

$C_{CSB,ZB}$

Konzentration der gelösten inerten (nicht abbaubaren)

CSB-Fraktion im Ablauf der Nachklärung

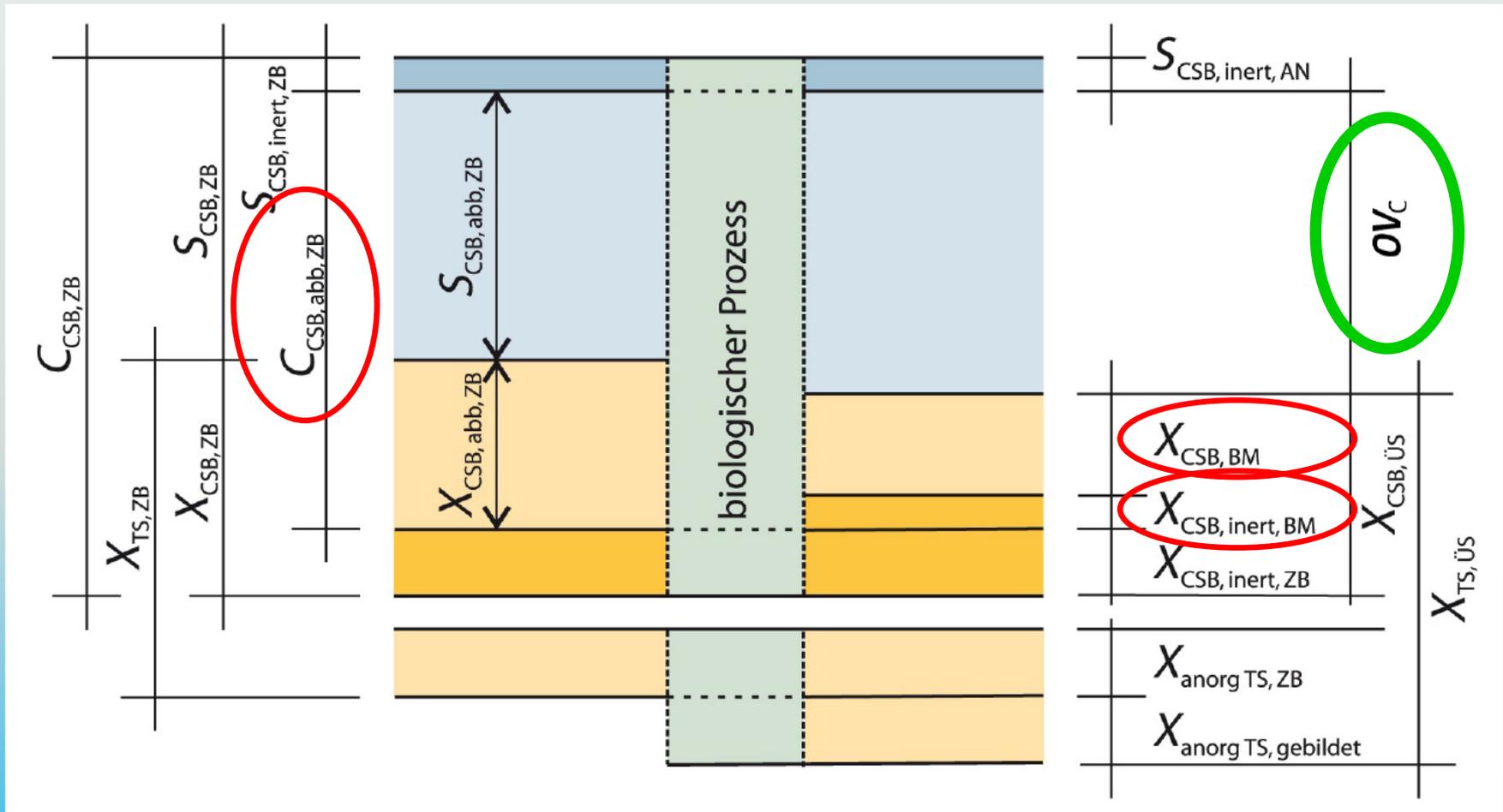
$S_{CSB,inert,AN}$

Als CSB gemessener Überschussschlamm

$X_{CSB,ÜS}$

Erläutern Sie die neue und die alte Berechnungsformel anhand der Grafik zur Veränderung des CSB und der abfiltrierbaren Stoffe bei der biologischen Behandlung in DWA-A 131!

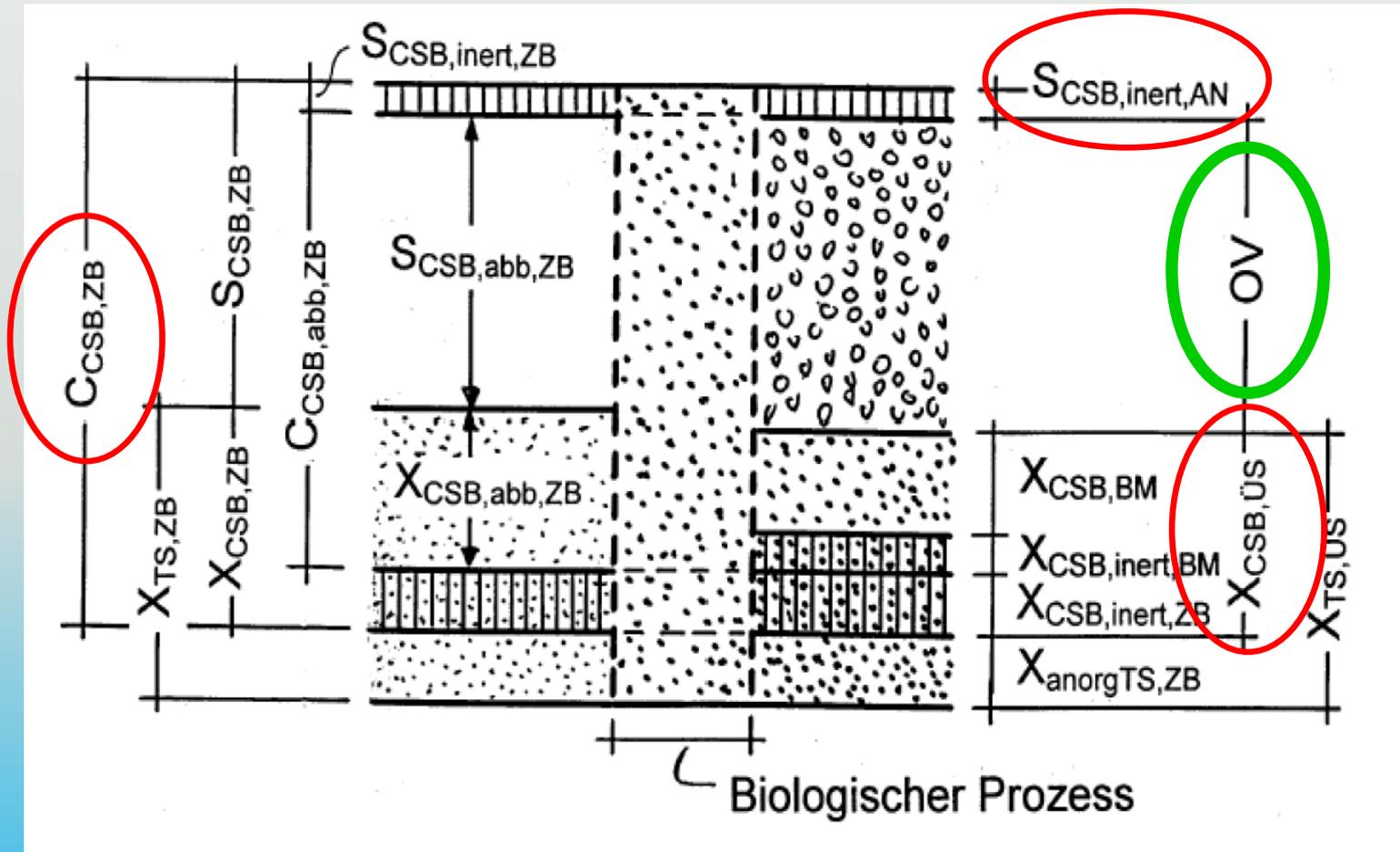
# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („neu“)



Veränderung des CSB und der abfiltrierbaren Stoffe bei der biologischen Behandlung

aus DWA-A 131, 2016

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („alt“)



Veränderung des CSB und der abfiltrierbaren Stoffe bei der biologischen Behandlung

aus ATV-DVWK-A 131, 2000

# Rückblende Sauerstoffbilanz N/DN:

Sauerstoffverbrauch bei der Nitrifikation:

$$4,3 \frac{g O_2}{g NH_4 - N}$$

Sauerstoffrückgewinnung bei der Denitrifikation:

$$2,9 \frac{g O_2}{g NO_3 - N}$$

$$\frac{2,9 \frac{g O_2}{g NO_3 - N}}{4,3 \frac{g}{g NH_4 - N}} = 0,67$$

*Mit anderen Worten:*

*Bei der Denitrifikation werden ca. 2/3 des Sauerstoffverbrauchs aus der Nitrifikation wieder zurückgewonnen.*

# Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

Ermittlung über Nitratsauerstoffbilanz:

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

Täglicher Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation

$OV_{d,N}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats

$S_{NO3,D}$

Nitratkonzentration im Zulauf zur Belebung

$S_{NO3,ZB}$

Nitratkonzentration im Ablauf des NKB

$S_{NO3,AN}$

# Sauerstoffgewinn bei der Denitrifikation

$$OV_{d,D} = \frac{Q_d * 2,9 * S_{NO3,D}}{1.000}$$

Täglicher Sauerstoffgewinn bei der Denitrifikation  
(= Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination,  
der durch die Denitrifikation gedeckt wird)

$OV_{d,D}$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter

$Q_d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats

$S_{NO3,D}$

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Der als Spitzenwert maßgebliche Sauerstoffverbrauch errechnet sich wie folgt:

$$OV_h = \frac{f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + f_N * OV_{d,N}}{24}$$

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert

$OV_h$

Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung

$f_C$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für C-Elimination

$OV_{d,C}$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination,  
der durch die Denitrifikation gedeckt wird

$OV_{d,D}$

Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation

$f_N$

Täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation

$OV_{d,N}$

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Weil die Sauerstoffverbrauchsspitze für die Nitrifikation in der Regel zeitlich nicht mit der Sauerstoffverbrauchsspitze für die Kohlenstoffelimination zusammenfällt, muss die Berechnung des Spitzenwerts des maßgeblichen Sauerstoffverbrauchs nach der Formel auf der vorherigen Folie zweimal erfolgen:

1. einmal mit dem Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung  $f_C$ , wobei der Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation  $f_N = 1$  gesetzt wird
2. umgekehrt, d. h. mit dem Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation  $f_N$ , wobei der Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung  $f_C = 1$  gesetzt wird

Der jeweils höhere Wert von  $OV_h$  ist maßgebend.

# Sauerstoffverbrauch - Spitzenwert $OV_h$

Ermittlung der Stoßfaktoren  $f_C$  und  $f_N$  aus DWA-A 131:

Tabelle 7: Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch

Parameter	Schlammalter in d					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} \leq 2.400 \text{ kg/d}$				2,4	2,0	1,5
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} > 12.000 \text{ kg/d}$			2,0	1,8	1,5	
ANMERKUNG $f_N^{*1}$ hilfsweise, wenn keine Messungen für $f_N$ vorliegen.						

# Erforderliche Sauerstoffzufuhr $erf. \alpha * OC$

Für durchgehend belüftete Becken errechnet sich die erforderliche Sauerstoffzufuhr wie folgt:

$$erf. \alpha * OC = \frac{c_S * OV_h}{c_S - c_x}$$

erforderliche Sauerstoffzufuhr

$erf. \alpha * OC$

Sauerstoff-Sättigungskonzentration (ist gesondert zu ermitteln)

$c_S$

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert

$OV_h$

Sollwert der Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken

$c_x$

Die Berechnung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr sollte für alle relevanten Lastfälle erfolgen (Sommerbetrieb, Winterbetrieb, hohe BSB-Fracht, hohe N-Fracht usw.)

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

Die Sauerstoffsättigungskonzentration kann man aus Tabellen ablesen...

t <sup>°C</sup>	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.16	14.12	14.08	14.04	14.00	13.97	13.93	13.89	13.85	13.81
1	13.77	13.74	13.70	13.66	13.63	13.59	13.55	13.51	13.48	13.44
2	13.40	13.37	13.33	13.30	13.26	13.22	13.19	13.15	13.12	13.08
3	13.05	13.01	12.98	12.94	12.91	12.87	12.84	12.81	12.77	12.74
4	12.70	12.67	12.64	12.60	12.57	12.54	12.51	12.47	12.44	12.41
5	12.37	12.34	12.31	12.28	12.25	12.22	12.18	12.15	12.12	12.09
6	12.06	12.03	12.00	11.97	11.94	11.91	11.88	11.85	11.82	11.79
7	11.76	11.73	11.70	11.67	11.64	11.61	11.58	11.55	11.52	11.50
8	11.47	11.44	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30	11.27	11.25	11.22
9	11.19	11.16	11.14	11.11	11.08	11.06	11.03	11.00	10.98	10.95
10	10.92	10.90	10.87	10.85	10.82	10.80	10.77	10.75	10.72	10.70
11	10.67	10.65	10.62	10.60	10.57	10.55	10.53	10.50	10.48	10.45
12	10.43	10.40	10.38	10.36	10.34	10.31	10.29	10.27	10.24	10.22
13	10.20	10.17	10.15	10.13	10.11	10.09	10.06	10.04	10.02	10.00
14	9.98	9.95	9.93	9.91	9.89	9.87	9.85	9.83	9.81	9.78
15	9.76	9.74	9.72	9.70	9.68	9.66	9.64	9.62	9.60	9.58
16	9.56	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.45	9.43	9.41	9.39
17	9.37	9.35	9.33	9.31	9.30	9.28	9.26	9.24	9.22	9.20
18	9.18	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04	9.03
19	9.01	8.99	8.98	8.96	8.94	8.93	8.91	8.89	8.88	8.86
20	8.84	8.83	8.81	8.79	8.78	8.76	8.75	8.73	8.71	8.70
21	8.68	8.67	8.65	8.64	8.62	8.61	8.59	8.58	8.56	8.55
22	8.53	8.52	8.50	8.49	8.47	8.46	8.44	8.43	8.41	8.40
23	8.38	8.37	8.36	8.34	8.33	8.32	8.30	8.29	8.27	8.26
24	8.25	8.23	8.22	8.21	8.19	8.18	8.17	8.15	8.14	8.13
25	8.11	8.10	8.09	8.07	8.06	8.05	8.04	8.02	8.01	8.00
26	7.99	7.97	7.96	7.95	7.94	7.92	7.91	7.90	7.89	7.88
27	7.86	7.85	7.84	7.83	7.82	7.81	7.79	7.78	7.77	7.76
28	7.75	7.74	7.72	7.71	7.70	7.69	7.68	7.67	7.66	7.65
29	7.64	7.62	7.61	7.60	7.59	7.58	7.57	7.56	7.55	7.54
30	7.53	7.52	7.51	7.50	7.48	7.47	7.46	7.45	7.44	7.43
31	7.42	7.41	7.40	7.39	7.38	7.37	7.36	7.35	7.34	7.33
32	7.32	7.31	7.30	7.29	7.28	7.27	7.26	7.25	7.24	7.23
33	7.22	7.21	7.20	7.20	7.19	7.18	7.17	7.16	7.15	7.14
34	7.13	7.12	7.11	7.10	7.09	7.08	7.07	7.06	7.05	7.05
35	7.04	7.03	7.02	7.01	7.00	6.99	6.98	6.97	6.96	6.95
36	6.94	6.94	6.93	6.92	6.91	6.90	6.89	6.88	6.87	6.86
37	6.86	6.85	6.84	6.83	6.82	6.81	6.80	6.79	6.78	6.77
38	6.76	6.76	6.75	6.74	6.73	6.72	6.71	6.70	6.70	6.69
39	6.68	6.67	6.66	6.65	6.64	6.63	6.63	6.62	6.61	6.60
40	6.59	6.58	6.57	6.56	6.56	6.55	6.54	6.53	6.52	6.51

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

...oder berechnen. Hierfür wurden verschiedene Formeln veröffentlicht.

Berechnungsvorschlag der U.S. American Public Health Association, 1995:

$$c_S = e^{(-139,3441 + \frac{1,57570 * 10^5}{T} - \frac{6,64231 * 10^7}{T^2} + \frac{1,2438 * 10^{10}}{T^3} - \frac{8,62195 * 10^{11}}{T^4})}$$

wobei

$c_S$  Sauerstoffsättigungskonzentration bei Normaldruck (1 bar) und vernachlässigbar geringen Salzgehalten des Wassers

$T$  Wassertemperatur in °K (= 273,15 + Temperatur in °C)

APHA 1995, zitiert in U.S. EPA, 2008

# Sauerstoff-Sättigungskonzentration

Berechnungsvorschlag von PÖPEL, 1985:

$$c_S = \frac{2.234,34}{(T + 45,93)^{1,31403}}$$

wobei

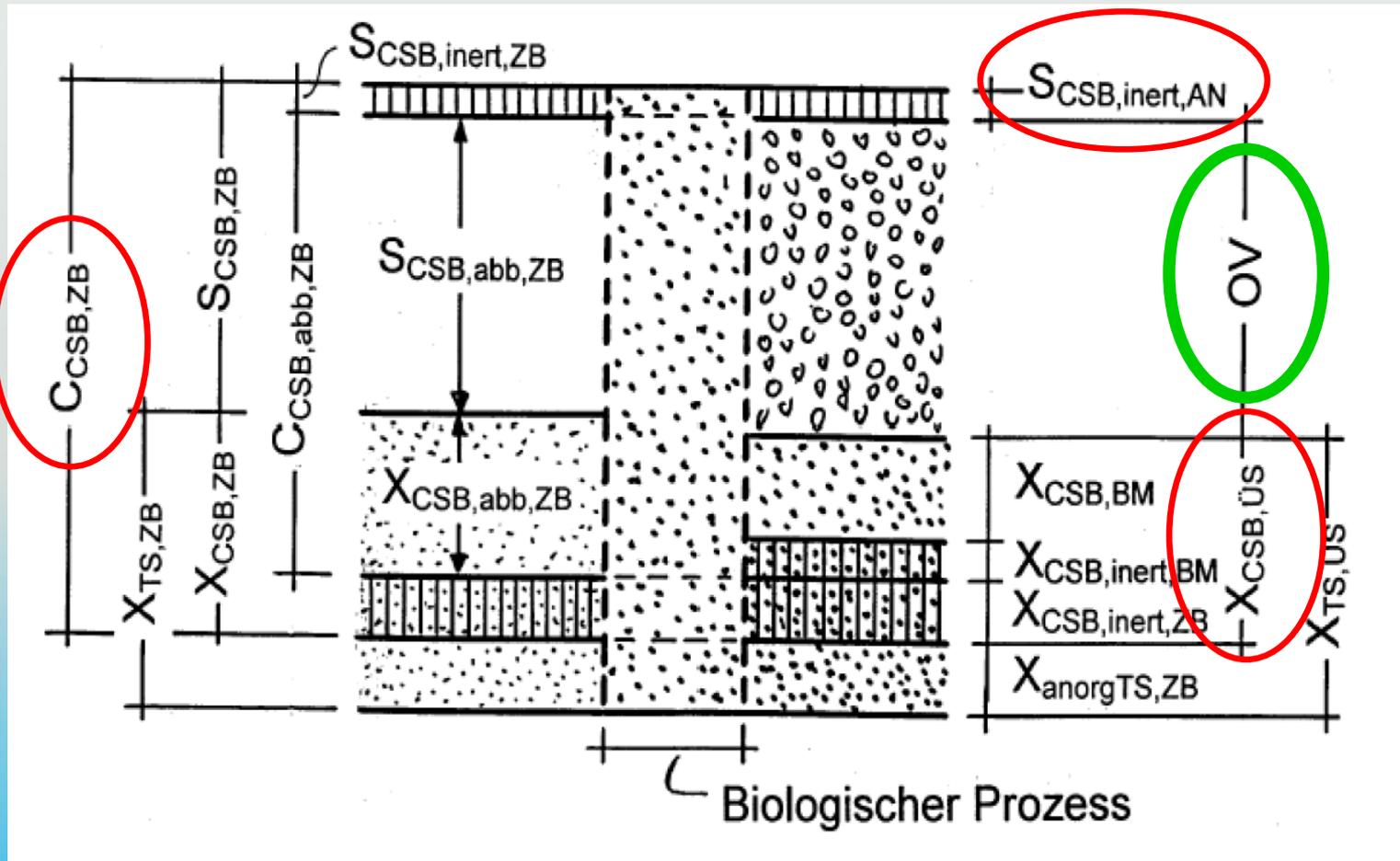
$c_S$  Sauerstoffsättigungskonzentration bei Normaldruck (1 bar) und vernachlässigbar geringen Salzgehalten des Wassers

$T$  Wassertemperatur in °C

zitiert in WAGNER, 1992

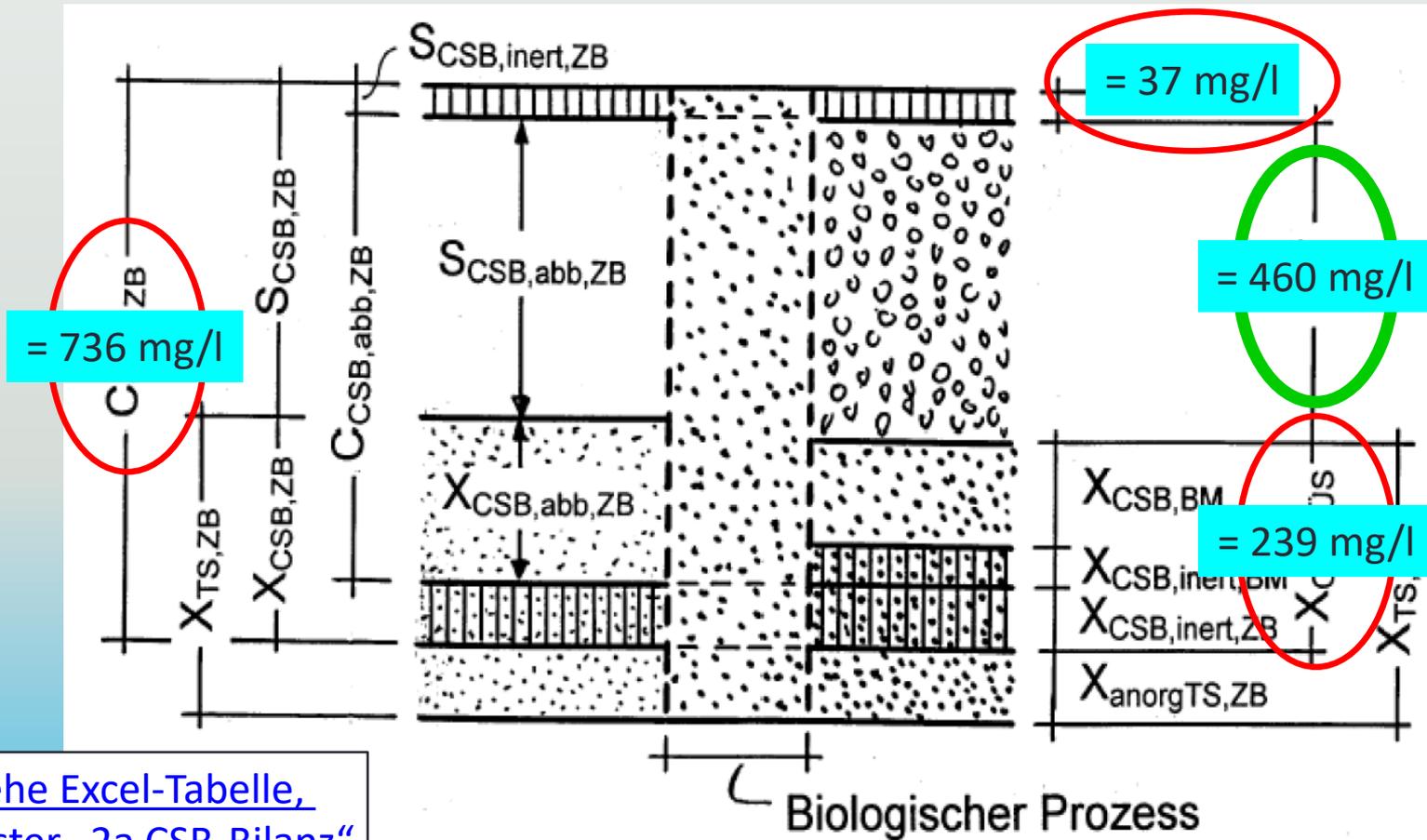
Die direkte Berechnung nach einer Formel ist die Methode der Wahl, sobald die Wassertemperatur als Variable in die Berechnung eingeht (z. B. wenn eine **Scenarioanalyse** durchgeführt werden soll)!

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („alt“)



$$OV = C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,ÜS}$$

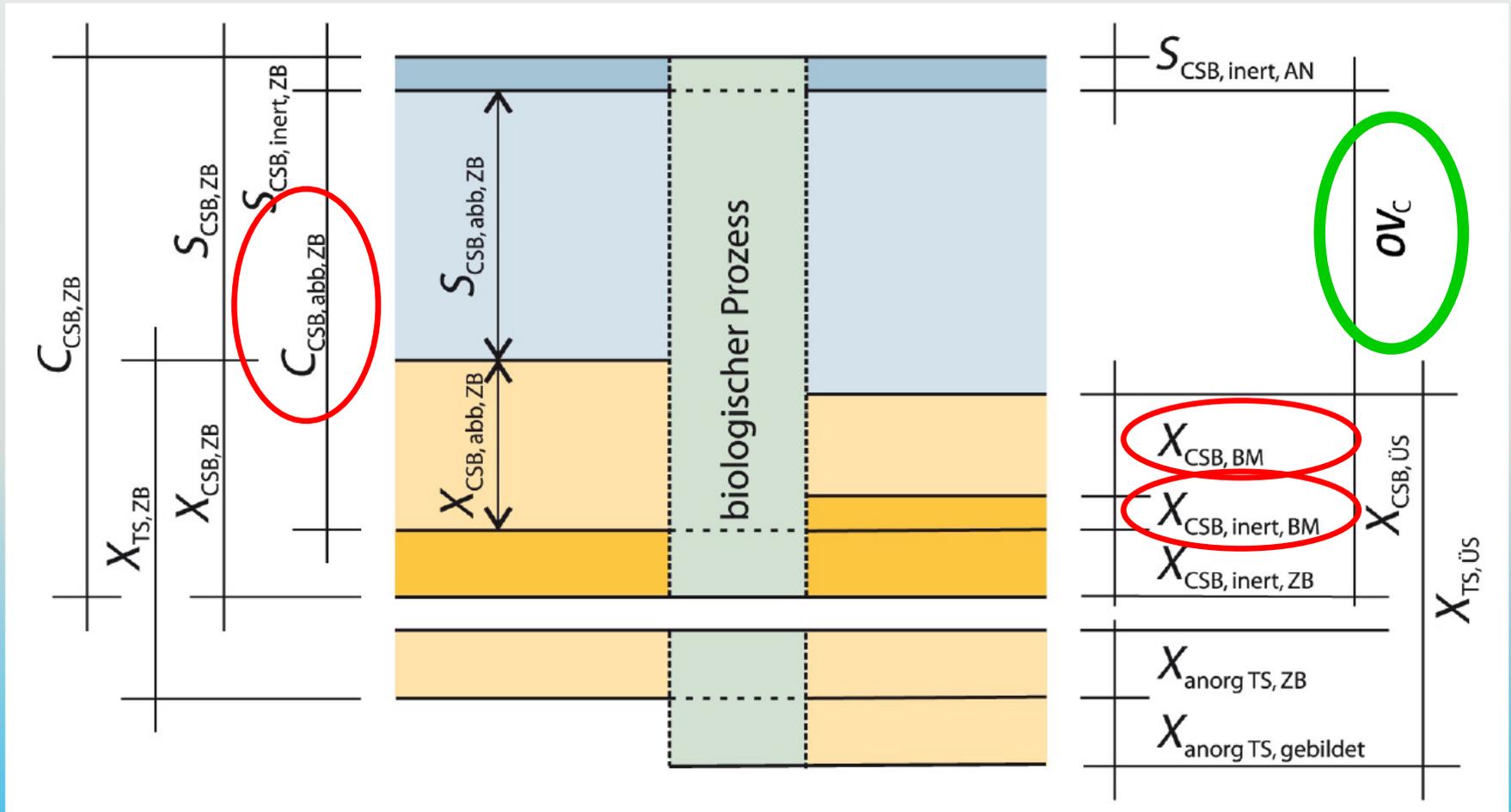
# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („alt“)



[siehe Excel-Tabelle, Register „2a CSB-Bilanz“](#)

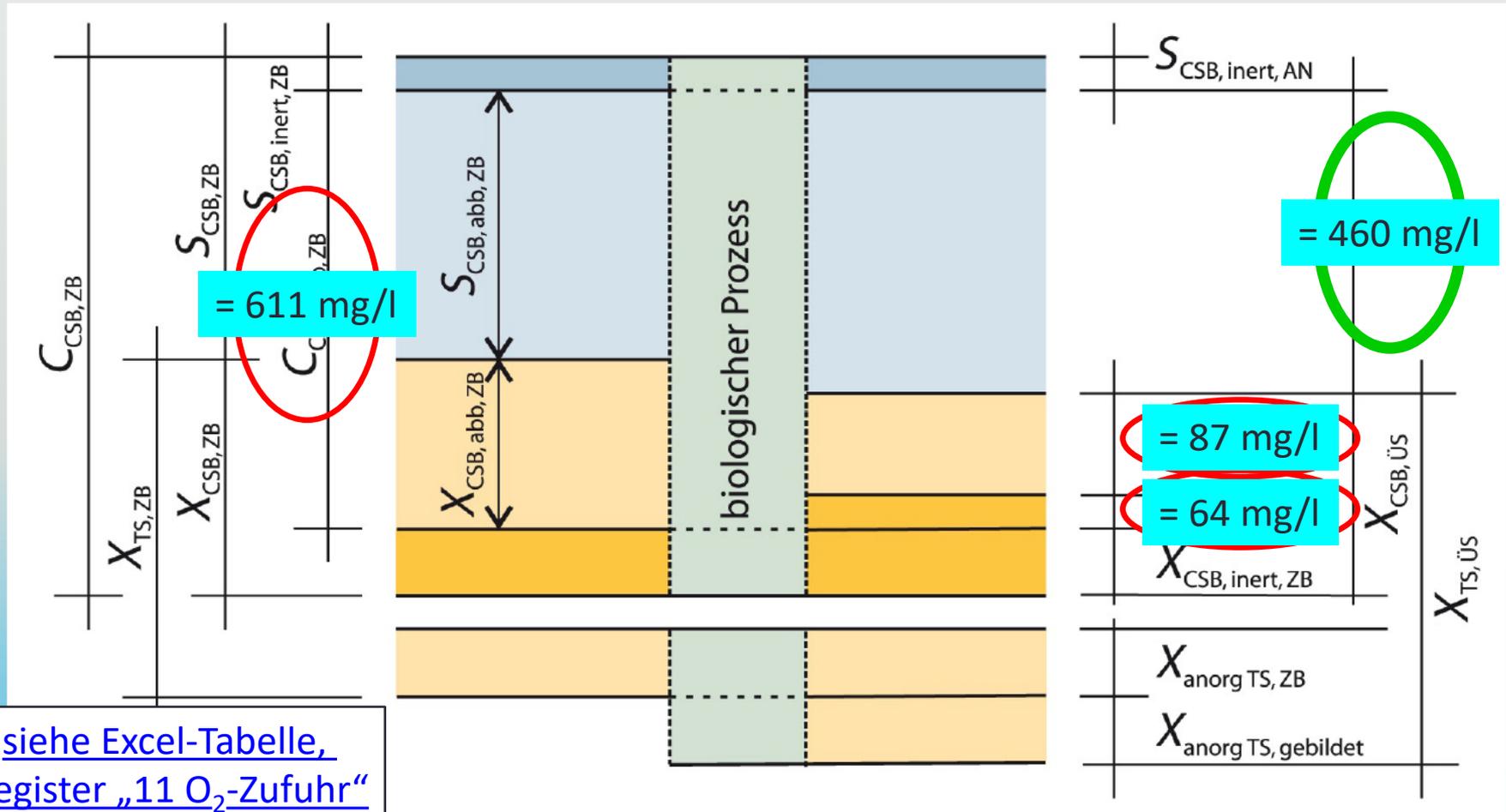
$$OV = 736 - 37 - 239 = 460 \text{ mg/l}$$

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („neu“)



$$OV_C = C_{CSB,abb,ZB} - X_{CSB,BM} - X_{CSB,inert,BM}$$

# CSB-Eliminierung im Belebungsverfahren („neu“)



[siehe Excel-Tabelle, Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

$$OV_C = 611 - 87 - 64 = 460 \text{ mg/l}$$

# Berechnung $OV_{d,c}$ für KA Stahnsdorf

Ermittlung über  
Sauerstoffbilanz:

$$OV_{d,c} = \frac{Q_d * (C_{CSB,ZB} - S_{CSB,inert,AN} - X_{CSB,ÜS})}{1.000}$$

$Q_d$	Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	52.000 $m^3/d$
$C_{CSB,ZB}$	CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebungsstufe	736 $mg O_2/l$
<i>(„Dosierter externer Kohlenstoff wird für den Sauerstoffverbrauch nicht berücksichtigt, weil davon ausgegangen wird, dass dieser mit Nitrat veratmet wird.“ ATV-DVWK-A 131)</i>		
$S_{CSB,inert,AN}$	Konzentration der gelösten inerten (nicht abbaubaren) CSB-Fraktion im Ablauf der Nachklärung	37 $mg O_2/l$
$X_{CSB,ÜS}$	Als CSB gemessener Überschussschlamm	239 $mg O_2/l$

$$OV_{d,c} = \frac{52.000 * (736 - 37 - 239)}{1.000} = 23.920 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle,  
Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_{d,D}$ für KA Stahnsdorf

$$OV_{d,D} = \frac{Q_d * 2,9 * S_{NO3,D}}{1.000}$$

Einsparung an Sauerstoff aus der Denitrifikation

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter ( $Q_d$ )

52.000  $m^3/d$

Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats ( $S_{NO3,D}$ )

46,8  $mg/l$

$$OV_{d,D} = \frac{52.000 * 2,9 * 46,8}{1.000} = 7.057 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle, Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_{d,N}$ für KA Stahnsdorf

Ermittlung über Nitratsauerstoffbilanz:

$$OV_{d,N} = \frac{Q_d * 4,3 * (S_{NO_3,D} - S_{NO_3,ZB} + S_{NO_3,AN})}{1.000}$$

Täglicher Abwasserzufluss bei Trockenwetter	52.000 m <sup>3</sup> /d
Konzentration des zu denitrifizierenden Nitrats	46,8 mg/l
Nitratkonzentration im Zulauf zur Belebung	0 mg/l
Nitratkonzentration im Ablauf des NKB	9,1 mg/l

$$OV_{d,N} = \frac{52.000 * 4,3 * (46,8 - 0 + 9,1)}{1.000} = 12.500 \text{ kg } O_2/d$$

[siehe Excel-Tabelle, Register „11 O<sub>2</sub>-Zufuhr“](#)

# Berechnung $OV_h$ für KA Stahnsdorf

Stoßfaktoren  $f_C$  und  $f_N$  für KA Stahnsdorf:

Tabelle 7: Stoßfaktoren für den Sauerstoffverbrauch

Parameter	Schlammalter in d					
	4	6	8	10	15	25
$f_C$	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} \leq 2.400 \text{ kg/d}$				2,4	2,0	1,5
$f_N^{*1}$ für $B_{d,CSB,Z} > 12.000 \text{ kg/d}$			2,0	1,8	1,5	

ANMERKUNG  
 $f_N^{*1}$  hilfsweise, wenn keine Messungen für  $f_N$  vorliegen.

# Berechnung $OV_h$ für KA Stahnsdorf

Stoßfaktor für die Kohlenstoffatmung ( $f_c$ )	1,15
Täglicher Sauerstoffverbrauch für C-Elimination ( $OV_{d,C}$ )	23.920 kg $O_2/d$
Täglicher Sauerstoffverbrauch für die C-Elimination, der durch die Denitrifikation abgedeckt wird ( $OV_{d,D}$ )	7.057 kg $O_2/d$
Stoßfaktor für die Ammoniumoxidation ( $f_N$ )	1,5
Täglicher Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation ( $OV_{d,N}$ )	12.500 kg $O_2/d$

1. Rechengang:

$$OV_h = \frac{1,0 * (23.920 - 7.057) + 1,5 * 12.500}{24} \approx 1.484 \text{ kg } O_2/h$$

Maßgeblicher Wert!

2. Rechengang:

$$OV_h = \frac{1,15 * (23.920 - 7.057) + 1,0 * 12.500}{24} \approx 1.329 \text{ kg } O_2/h$$

# Berechnung $erf. \alpha * OC$ für KA Stahnsdorf

Berechnung für Sommerbetrieb, d. h. maßgebende höchste Abwassertemperatur,  
 $T_{Bem.,hoch} = 20^{\circ}C$

Sauerstoff-Sättigungskonzentration ( $c_s$ )  
(abgelesen aus Tabelle)

8,8 mg/l

Stündlicher Sauerstoffverbrauch, maßgeblicher Spitzenwert ( $OV_h$ ) 1.484 kg  $O_2$ /h

Sollwert der Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken ( $c_x$ ) 2,0 mg/l

$$erf. \alpha * OC = \frac{8,8 * 1.484 \text{ kg } \frac{O_2}{h}}{8,8 - 2} \approx 1.920 \text{ kg } O_2/h$$

[siehe Excel-Tabelle, Register „11  \$O\_2\$ -Zufuhr“](#)

# Berechnung $V_{Luft,OC}$ für KA Stahnsdorf

1 Normkubikmeter Luft wiegt 1,293 kg,  
Umgebungsluft enthält ca. 23,16 Mass.%  $O_2$   
Ergo: 1  $Nm^3$  Luft enthält ca. 300 g Sauerstoff

(Normkubikmeter heißt,  
gemessen bei  $0^\circ C$  und  
Luftdruck = 1.013 mbar)

erforderliche Sauerstoffzufuhr ( <i>erf. <math>\alpha</math> * OC</i> )	1.920 kg $O_2/h$
durchschnittliche Sauerstoffaufnahme	33 %
Quotient der Sauerstoffzufuhr in belebtem Schlamm und in Reinwasser ( <i><math>\alpha</math> – Wert</i> )	0,7

$$V_{Luft,OC} = \frac{1.920 \text{ kg } O_2/h}{1,293 \frac{\text{kg Luft}}{Nm^3 \text{ Luft}} * 0,2316 \frac{\text{kg } O_2}{\text{kg Luft}} * 0,33 * 0,7} \approx 28.000 \text{ m}^3 \text{ Luft/h}$$

alternativer Rechenweg:

$$V_{Luft,OC} = \frac{1.920 \text{ kg } O_2/h}{0,3 \frac{\text{kg } O_2}{Nm^3 \text{ Luft}} * 0,33 * 0,7} \approx 28.000 \text{ m}^3 \text{ Luft/h}$$

Diese Berechnung  
ist nicht Gegenstand  
von DWA-A 131  
(aber in Excel-Tabelle  
enthalten)

# Aufgabe 9: Selbststudium A 131

Arbeiten Sie Kapitel **6 Bemessung der Nachklärung**  
im DWA-A 131 durch!

10 Minuten

# Bemessung Nachklärbecken

Welche Einflussgrößen bestimmen nach ATV-DVWK-A 131 die Bemessung eines NKB?

Schlammindex	$ISV$
Maximaler Regenwetterzufluss	$Q_m$
Trockensubstanzgehalt im Ablauf des Belebungsbeckens bzw. im Zulauf zur Nachklärung <sup>1)</sup>	$TS_{AB}$

Außerdem zu beachten bzw. zu wählen:

Eindickzeit	$t_E$
Schlammvolumenbeschickung	$q_{SV}$
Klarwasserzone (Tiefe)	$h_1$
Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes	$TS_{ÜS}$
Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB	$TS_{BS}$
Rücklaufschlammvolumenstrom	$Q_{RS}$

<sup>1)</sup> außer bei Kaskadendenitrifikation gilt:

$$TS_{AB} = TS_{BB}$$

# Bemessung Nachklärbecken

Schlammindex ( $ISV$ ), Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ ) und Eindickzeit ( $t_E$ ) sind voneinander abhängige Größen. Ähnlich wie bei der Ermittlung von Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ ), Rücklaufverhältnis ( $RV$ ) und Trockensubstanzgehalt des Rücklaufschlammes ( $TS_{RS}$ ) muss auch hier zunächst ein Wert geschätzt werden, um iterativ die übrigen Werte zu ermitteln.

$$ISV = \frac{1000}{TS_{BS}} * \sqrt[3]{t_E}$$

$$t_E = \left( \frac{TS_{BS} * ISV}{1000} \right)^3$$

$$TS_{BS} = \frac{1000}{ISV} * \sqrt[3]{t_E}$$

Maßgeblich für die Fläche des NKB ( $A_{NB}$ ) ist die sogenannte Flächenbeschickung ( $q_A$ ), die wiederum von der Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) und dem Vergleichsschlammvolumen ( $VSV$ ) abhängt:

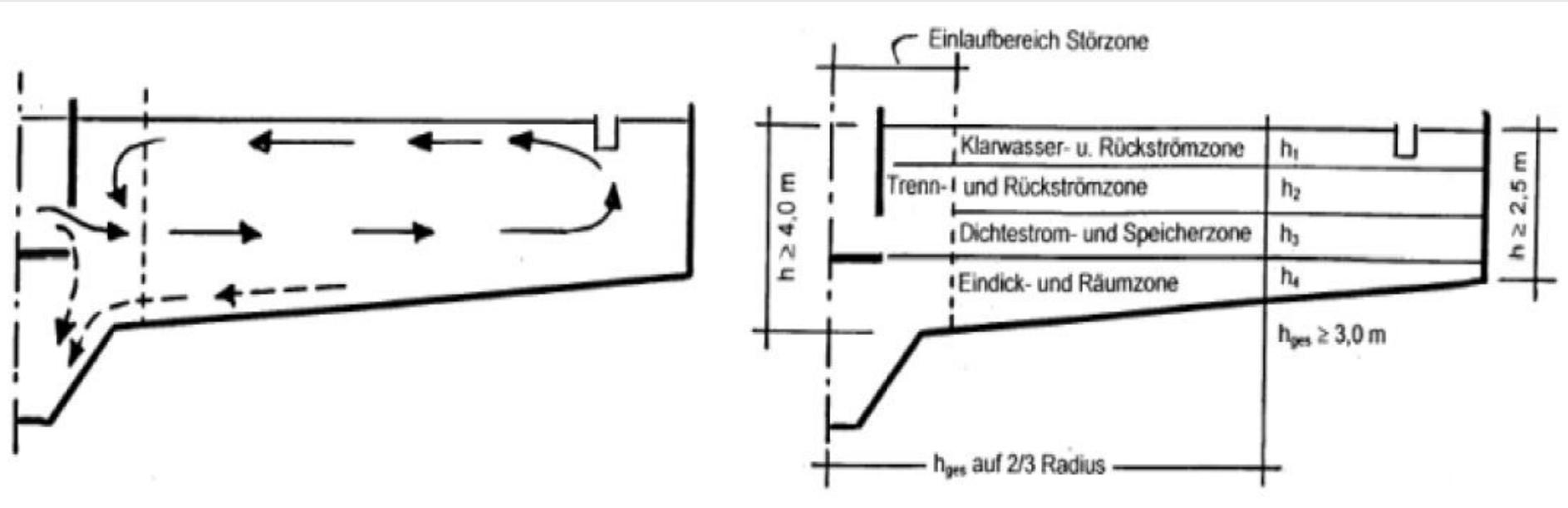
$$A_{NB} = \frac{Q_m}{q_a}$$

$$q_A = \frac{q_{SV}}{VSV}$$

$$VSV = TS_{BB} * ISV$$

$q_{SV}$  ist unter Berücksichtigung der Hinweise in A 131 zu wählen.

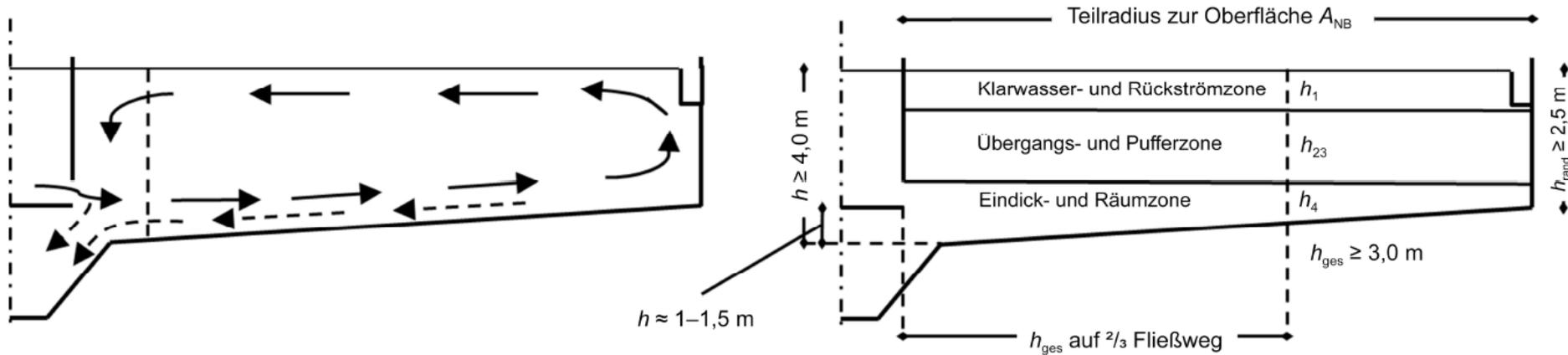
# Bemessung Nachklärbecken (alt)



Hauptströmungsrichtungen und funktionale Beckenzonen von horizontal durchströmten runden Nachklärbecken

aus ATV-DVWK-A 131, 2000

# Bemessung Nachklärbecken (neu)



## Hauptströmungsrichtungen und funktionale Beckenzonen von horizontal durchströmten runden Nachklärbecken

aus DWA-A 131, 2016

# Bemessung Nachklärbecken

Die Klarwasserzone ( $h_1$ ) ist eine Sicherheitszone mit einer Mindesttiefe von 0,50 m. Die Tiefe der übrigen drei Funktionszonen wird aus vorher zu berechnenden Werten gemäß empirischer Formeln ermittelt:

$$h_2 = \frac{0,5 * q_A * (1 + RV)}{1 - VSV/1.000}$$

$$h_3 = \frac{1,5 * 0,3 * q_{SV} * (1 + RV)}{500}$$

$$h_4 = \frac{TS_{BB} * q_A * (1 + RV) * t_E}{TS_{BS}}$$

Abschließend ist zu überprüfen, ob folgende Bedingungen erfüllt sind

- $h_{ges}$  auf 2/3 des Fließweges  $\geq 3,00$  m
- Neigung Beckensohle  $\geq 1 : 15$

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

Schlammindex ( $ISV$ ) gewählt

100 l/kg

Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ )

11,5 kg/m<sup>3</sup>

$$t_E = \left( \frac{11,5 * 100}{1000} \right)^3 \approx 1,5 \text{ h, gewählt: } 2 \text{ h}$$

Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ )

3,3 kg/m<sup>3</sup>

$$VSV = 3,3 \text{ kg/m}^3 * 100 \text{ l/kg} = 329 \text{ l/m}^3$$

Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) gewählt

450 l/m<sup>2</sup> \* h

$$q_A = \frac{450 \frac{\text{l}}{\text{m}^2 * \text{h}}}{329 \text{ l/m}^3} \approx 1,37 \text{ m/h}$$

Maximaler Regenwetterzufluss ( $Q_m$ )

6.510 m<sup>3</sup>/h

$$A_{NB} = \frac{6.510 \text{ m}^3/\text{h}}{1,37 \text{ m/h}} \approx 4.750 \text{ m}^2$$

siehe Excel-Tabelle,  
Register „9 ISV, t<sub>E</sub>, TS<sub>BB</sub>, RV“  
und „13 q<sub>A</sub>, q<sub>SV</sub>, VSV, A<sub>NB</sub>“

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

Klarwasserzone ( $h_1$ ) gewählt 0,50 m

Flächenbeschickung ( $q_A$ ) 1,37 m/h

Rücklaufverhältnis ( $RV$ ) 0,7

Vergleichsschlammvolumen ( $VSV$ ) 329 l/m<sup>3</sup>

$$h_2 = \frac{0,5 * 1,37 * (1 + 0,7)}{1 - 329/1.000} = 1,74 m$$

Schlammvolumenbeschickung ( $q_{SV}$ ) gewählt 450 l/m<sup>2</sup> \* h

$$h_3 = \frac{1,5 * 0,3 * 450 * (1 + 0,7)}{500} = 0,69 m$$

Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken ( $TS_{BB}$ ) 3,3 kg/m<sup>3</sup>

Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB ( $TS_{BS}$ ) 11,5 kg/m<sup>3</sup>

$$h_4 = \frac{3,3 * 1,37 * (1 + 0,7) * 2}{11,5} = 1,33 m - \text{gewählt: } 1,57 m$$

$$h_{ges} = 4,50 m$$

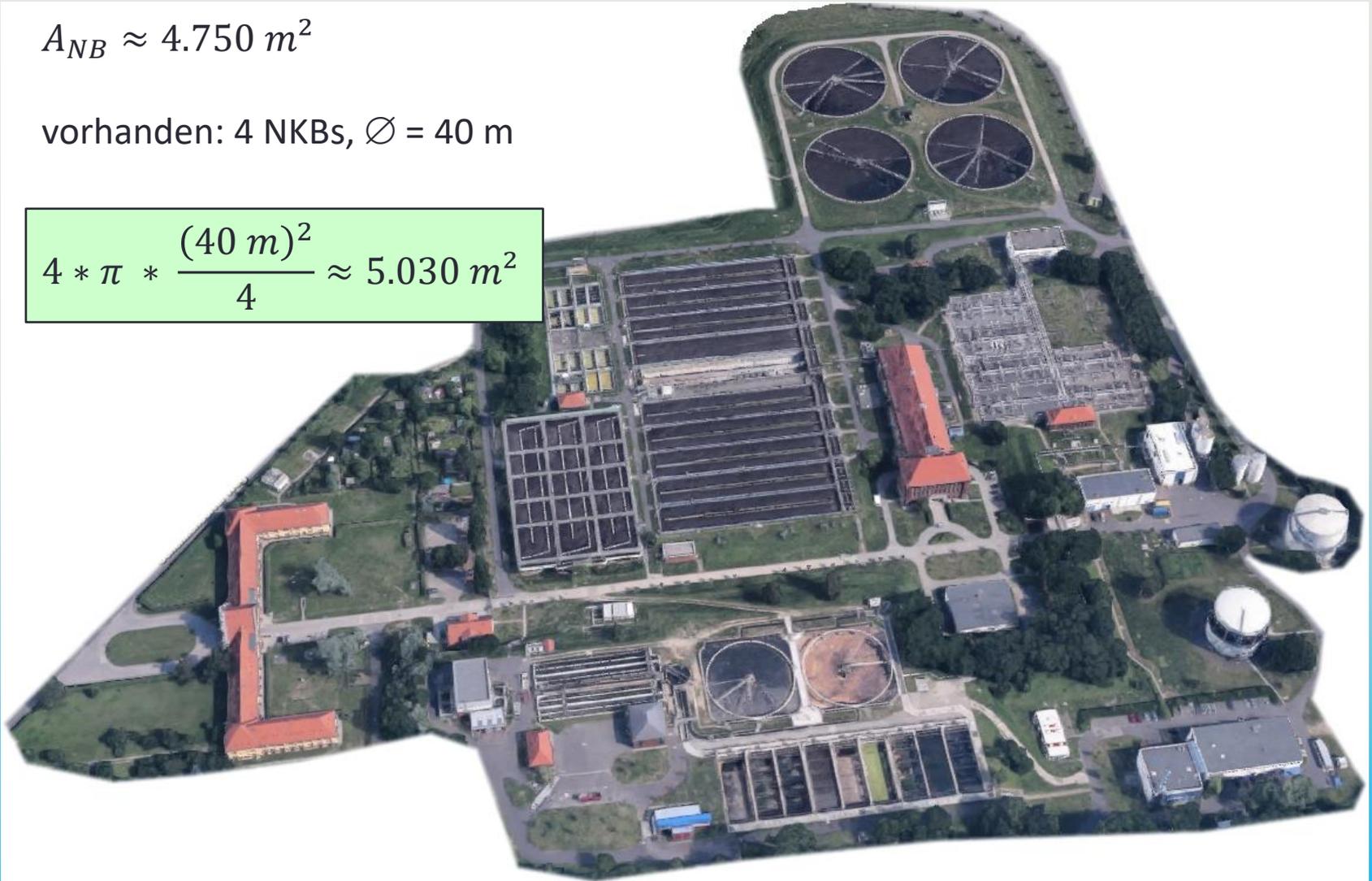
[siehe Excel-Tabelle,  
Register „14 NKB“](#)

# Bemessung NKB für KA Stahnsdorf

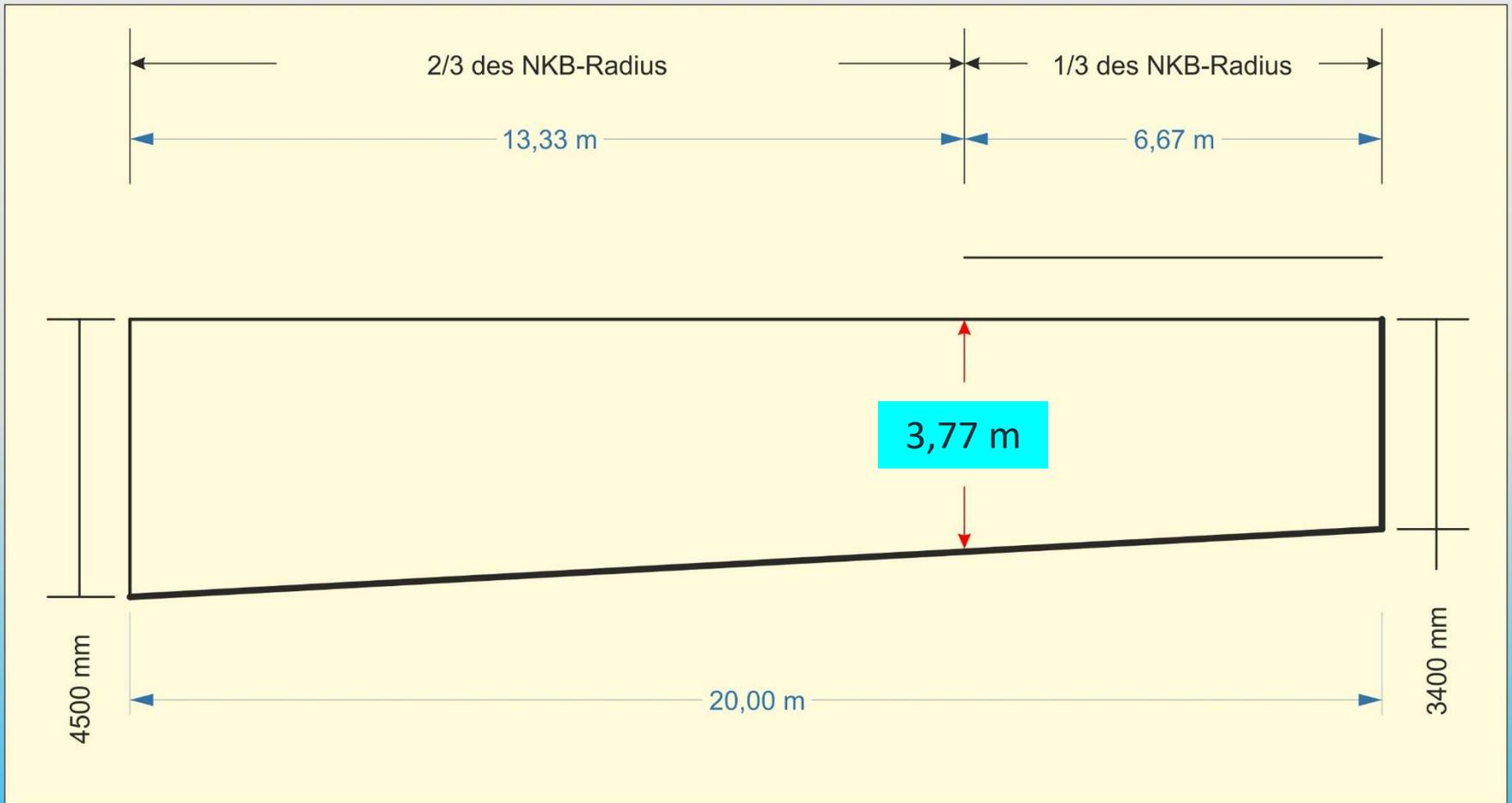
$$A_{NB} \approx 4.750 \text{ m}^2$$

vorhanden: 4 NKBs,  $\varnothing = 40 \text{ m}$

$$4 * \pi * \frac{(40 \text{ m})^2}{4} \approx 5.030 \text{ m}^2$$



# Skizze KA Stahnsdorf, NKB



Nachweis, dass  $h_{\text{sum}}$  bei 2/3 des Fließwegs  $\geq 3,00$  m

# Parameter, die zu wählen sind

Welche Parameter sind bei der Bemessung einer Kläranlage nach ATV-DVWK-A 131 zu wählen?

Sicherheitsfaktor	SF
Aerobes Schlammalter	$t_{TS,aerob,Bem}$
Bemessungsschlammalter	$t_{TS,Bem}$
Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken	$TS_{BB}$
Eindickzeit	$t_E$
Schlammindex	ISV
Trockensubstanzgehalt des Überschussschlammes	$TS_{ÜS}$
Trockensubstanzgehalt im Bodenschlamm des NKB	$TS_{BS}$
Rücklaufverhältnis	RV
Rückführverhältnis für interne Rezirkulation	RF
Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Kohlenstoffelimination	$f_C$
Stoßfaktor des Sauerstoffverbrauches für Nitrifikation	$f_N$
Sauerstoffkonzentration im BB	$c_x$
Säurekapazität im Ablauf der Belebung	$S_{KS,ZB}$
Schlammvolumenbeschickung	$q_{SV}$
Klarwasserzone (Tiefe)	$h_1$

# Grundsätzliche Voraussetzungen für C, N, DN

Voraussetzungen für Abbau/Eliminierung von Organika (C):

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\geq 1,5 \text{ mg/l}$
- Ausreichend **Kohlenstoffverbindungen** vorhanden
- Ausreichend **Heterotrophe** vorhanden

aerob

Voraussetzungen für Nitrifikation (N):

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\geq 1,5 \text{ mg/l}$
- Ausreichend **Ammoniumstickstoff** vorhanden
- Ausreichend **Autotrophe** vorhanden
- Ausreichend **Pufferkapazität** vorhanden

aerob

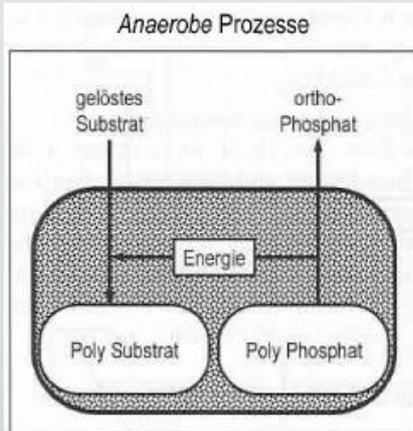
Voraussetzungen für Denitrifikation (DN):

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\approx 0$
- Ausreichend **Nitrat** vorhanden
- Ausreichend **leicht abbaubares Substrat** (BOD) vorhanden
- Ausreichend **Heterotrophe** vorhanden

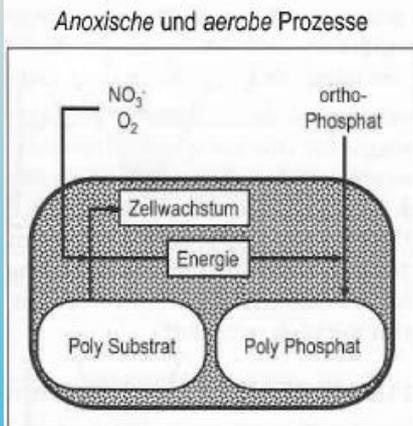
anoxisch

# Biochemische Reaktionen bei BioP

## Biologische Phosphatelimierung (BioP):

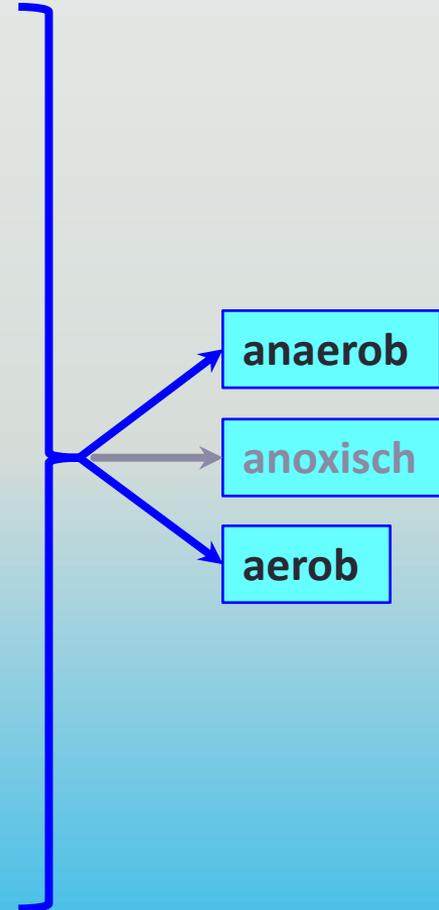


In der anaeroben Stufe nehmen die PAO's leicht abbaubare organische Stoffe unter Verbrauch von Polyphosphat auf und lagern diese als organische Speicherstoffe (Polysubstrat) innerhalb der Zellen ein. Dabei wird Polyphosphat im Inneren der Zellen abgebaut und als Phosphat ins Abwasser abgegeben. Diese Reaktion liefert die erforderliche Energie.



In der anoxischen und in der aeroben Stufe werden die organischen Speicherstoffe abgebaut (veratmet), die daraus gewonnene Energie dient dazu, die Biomasse zu vermehren und wieder mehr Polyphosphate aufzubauen. Dabei wird dem Abwasser deutlich mehr Phosphat entzogen, als zum Aufbau der Biomasse nötig ist. Der Phosphorgehalt der PAO's kann hier bis zu 15% betragen (normal sind ca. 1-2%).

Die mit Phosphor im Überschuss beladenen PAO's werden entweder mit dem Überschussschlamm ausgekreist oder mit dem Rücklaufschlamm zurück in die anaerobe Stufe gebracht, wo der Zyklus erneut beginnt.

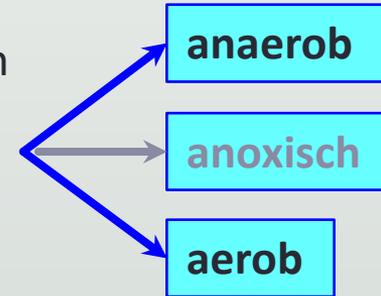


nach GUJER, 2007

# Grundsätzliche Voraussetzungen für BioP

Voraussetzungen für biologische Phosphatelimierung (BioP):

- Ausreichend Phosphor akkumulierende Organismen (**PAO's**) im Belebtschlamm vorhanden (erreichbar, indem der Belebtschlamm ständig wechselnden Sauerstoffbedingungen ausgesetzt wird)



- anaerobe Stufe:

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\approx 0$
- Nitrat  $\approx 0$
- Ausreichend **leicht abbaubares Substrat** (BOD) vorhanden



- anoxische Stufe:

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\approx 0$
- Ausreichend **Nitrat** vorhanden
- Ausreichend **Phosphat** ( $o\text{-PO}_4$ ) vorhanden



- aerobe Stufe:

- Gelöstsauerstoffkonzentration  $\geq 1,5 \text{ mg/l}$
- Ausreichend **Phosphat** ( $o\text{-PO}_4$ ) vorhanden



# „Manöverkritik“ der bisherigen Berechnungen

Bemessung beruht im Wesentlichen auf Bilanzen:

- Abwasservolumenstrom
- CSB (Sauerstoff!)
- Feststoffe (Belebtschlamm!)
- Stickstoffkompartimente
- Phosphor

Diese Bilanzen sind theoretisch abgesichert und gut nachvollziehbar.

Aber: Bemessung nach DWA-A 131 ist eine „Worst case“-Berechnung, basierend auf Maximal-, Mittel- bzw. Minimalwerten des Zulaufs, d.h. sie beruht auf statischen Werten!

Zeitliche Dynamik (Stunden-/Tages-/Wochen-/Monats-

/Jahresgang) und die jeweils resultierenden Ablaufwerte können damit nicht abgebildet werden.

Deshalb Sicherheitszuschläge erforderlich → Überbemessung!

Einer dynamischen Kläranlagensimulation haften die vorgenannten Nachteile nicht an. Aber auch diese hat Nachteile: Hohe Komplexität und damit verbunden hoher Kompliziertheitsgrad und hoher Berechnungsaufwand!

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lütznier, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014

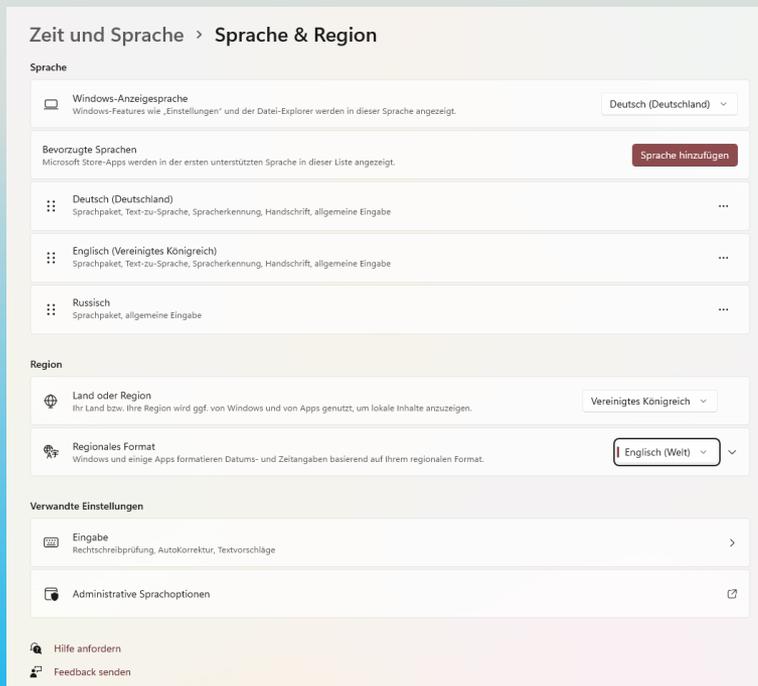
# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

**Dynamische Simulation  
mit dem Programmsystem STOAT:  
Erstes eigenes Modell**

# Bevor wir STOAT starten ...

... erinnern wir uns, dass nur ordnungsgemäß läuft, wenn der im Englischen übliche **Punkt als Dezimaltrennzeichen** verwendet wird.

Bevor STOAT gestartet wird, sollte also sichergestellt sein, dass auf der Systemebene von Windows eine entsprechende Einstellung gewählt wurde.



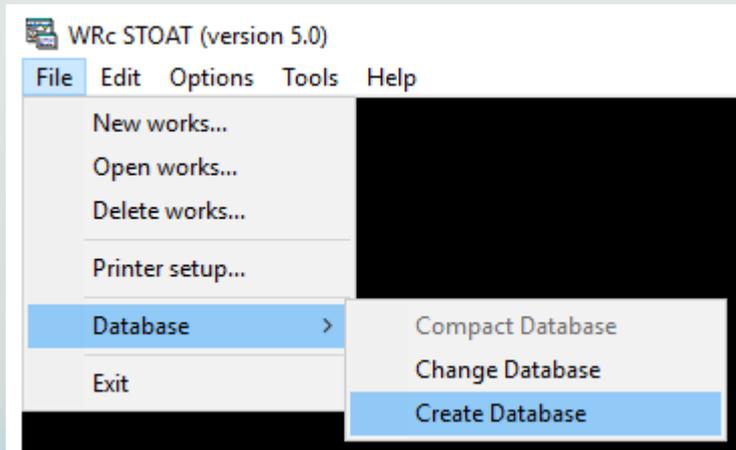
## **Windows 10**

→ **Systemsteuerung** → **Region und Sprache**  
→ **Formate** → **Englisch (Großbritannien)**

## **Windows 11:**

→ **System** → **Regionales Format**  
→ **Land oder Region: Vereinigtes Königreich**  
→ **Regionales Format: Englisch (Welt)**

# ... wir öffnen STOAT und legen eine Datenbank an ...



## Neue Datenbank anlegen

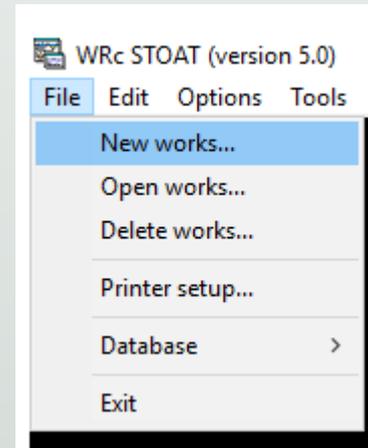
(Wir erinnern uns:  
STOAT speichert alle wichtigen Informationen  
zu den Modellen und Rechnerläufen in einer  
Microsoft Access Datenbank.)

Name und Speicherplatz der Datenbank können völlig frei gewählt werden (bei Ihnen sinnvollerweise in Ihrem BHT-Account).

Vorschlag Name der Datenbank: **starter.mdb**

... wir legen unser erstes Modell (in start.mdb) an ...

**Neues Modell anlegen** (*New works*)



Vorschlag Name des Modells: **start**

# ... wir bauen unser erstes, ganz einfaches Modell...

## Primary sedimentation:

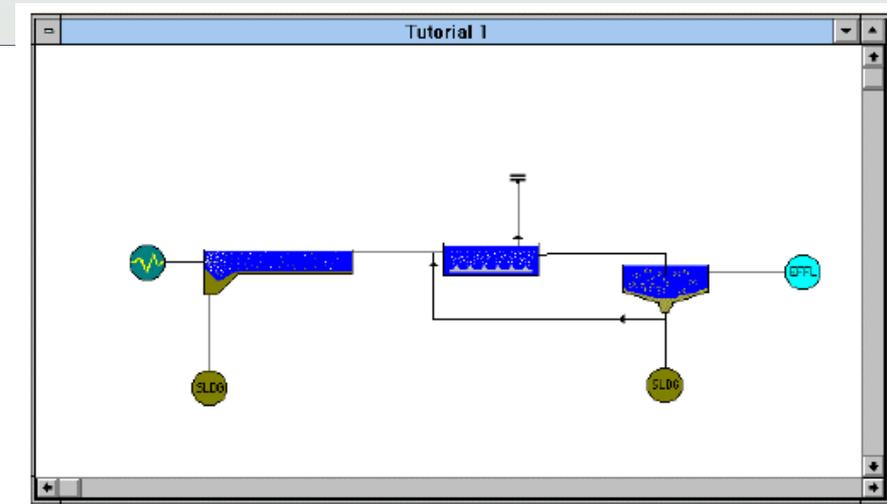
Name: Primary Tank 1  
Process Model: BOD  
Number of stages: 3  
Volume: 1,200 m<sup>3</sup>  
Surface area: 400 m<sup>2</sup>

## Aeration basin:

Name: Activated Sludge Tank 1  
Process Model: ASAL1  
Volume: 800 m<sup>3</sup>  
Number of stages: 1  
Number of MLSS Recycles: 0  
Wastage Method: None (Note: This setting is only used if you wish to waste sludge from the aeration tank - set to None if you are wasting from the settlement tank.)

## Settling tank:

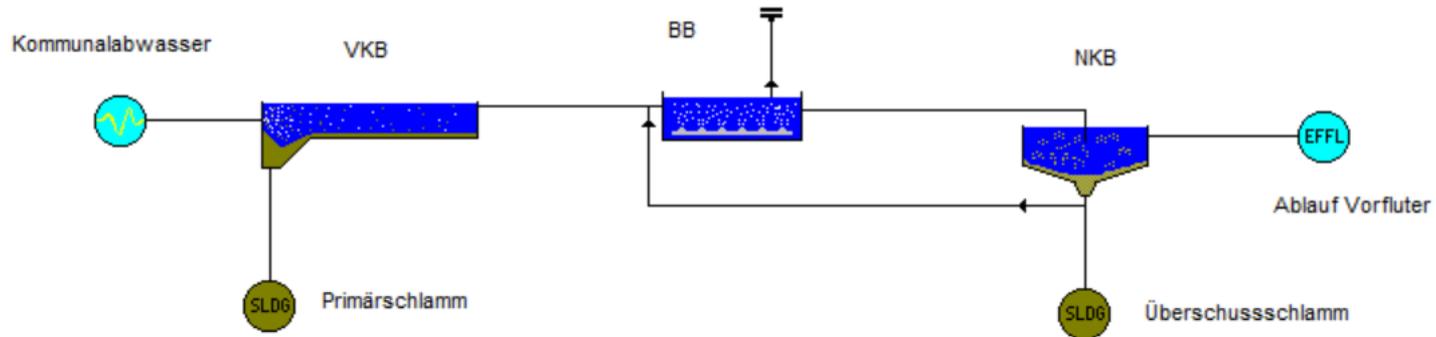
Name: Secondary Tank 1  
Process Model: SSED1  
Number of stages: 8 [this is the default]  
Surface area: 400 m<sup>2</sup>  
Depth of Tank: 3 m  
Depth of Feed: 2 m  
RAS feed: Rate



**Modellaufbau gemäß**  
STOAT Manual Tutorials Guide, S. 9

# ... wir bauen ein ganz einfaches Modell...

Die verschiedenen „Bausteine“ von STOAT (engl.: *STOAT bits*) sind grafische Repräsentanten der Prozesse, die mit dem jeweiligen Modell simuliert werden sollen. Aktive *bits* (wie z.B. der *aeration tank*, im Modell als *BB* bezeichnet) haben immer mindestens einen Eingang und einen Ausgang. Bei der Simulation wird die am Eingang anliegende Datei mathematisch entsprechend der gewählten Abbau- bzw. Eliminierungsleistungen des *bits* verändert und an den Ausgang zwecks Weiterleitung an das folgende *bit* übergeben.



So oder ähnlich soll auch Ihr Modell aussehen, das in der Übung erarbeitet wird. Wenn die Verbindungen in Ihrem Modell nicht korrekt rechtwinklig wie in der Vorlage verlaufen, ist das kein Problem! Die Verbindungen zwischen den verschiedenen *STOAT bits* im Modell müssen nicht exakt horizontal oder vertikal verlaufen oder rechtwinklig gestaltet sein. Maßgeblich für die Simulation ist lediglich, dass die Verbindungen tatsächlich hergestellt sind. Das lässt sich überprüfen, indem die *bits* bewegt werden – dabei müssen die Verbindungen halten, also der Bewegung der *bits* folgen.

# ... ein ganz einfaches Modell – Plan B

Wenn es Ihnen partout nicht gelingen will, laden Sie sich das Ganze von Moodle herunter:

08.11.2022 Abwasserbehandlung Ü\_05 Einführung in die dynamische Kläranlagensimulation mit dem Programmsystem STOAT

-  Skript Abwasser 04: Einführung in die dynamische Kläranlagensimulation mit dem Programmsystem STOAT
-  Skript Abwasser 05: STOAT Erstes eigenes Modell
-  Arbeitsmaterial Fachteil Abwasser, Handbücher und Literatur zur dynamischen Kläranlagensimulation
-  ZIP-Datei zur STOAT-Übung (erstes eigenes Modell) ←

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

Nachdem das Modell (*work*) fertig konfiguriert wurde, kann die Modell-Ebene verlassen und auf die Rechnerlauf-Ebene (*run level*) übergegangen werden.

**Was muss eingestellt werden, bevor man einen Rechnerlauf startet?**

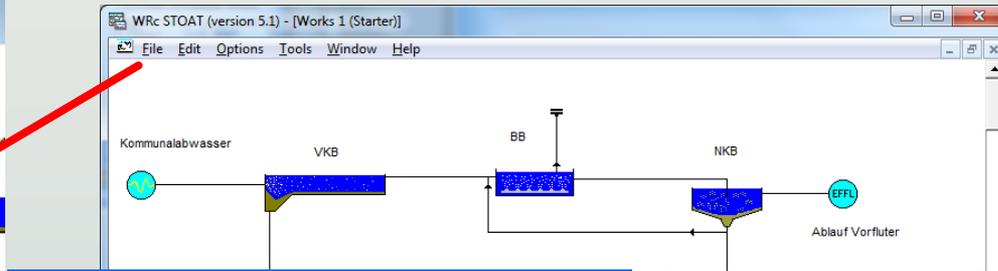
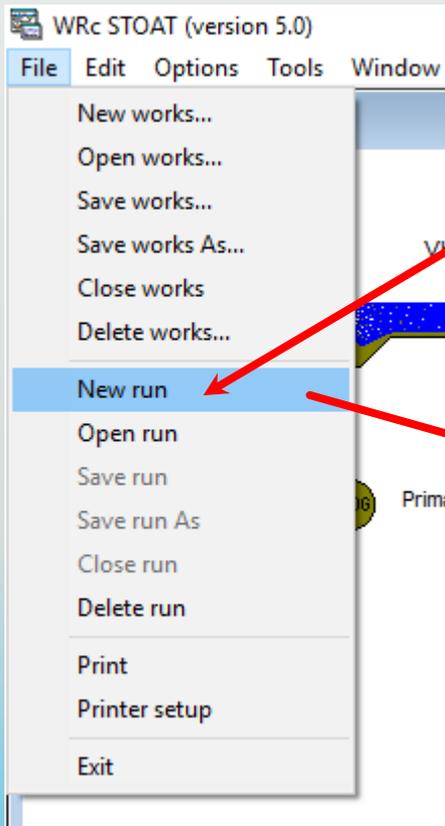
**Konfiguration des Rechnerlaufs gemäß  
STOAT Manual Tutorials Guide, S. 10 ff.**

**Kann ich den Rechnerlauf beaufsichtigen?**

**Wie wird der Rechnerlauf gestartet?**

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

Run anlegen



New run : Page 1 of 1

Name of run:

Initial conditions

- Default (cold start)
- Start of old run (repeat run)
- End of old run (warm start)
- Continue old run (retain operational data)

Run definition : Page 1 of 1

Name of run:

Start date and time (dd/mm/yy hh:mm):

End date and time (dd/mm/yy hh:mm):

Input timestep (h):

Output timestep (h):

Average sewage temperature (°C):

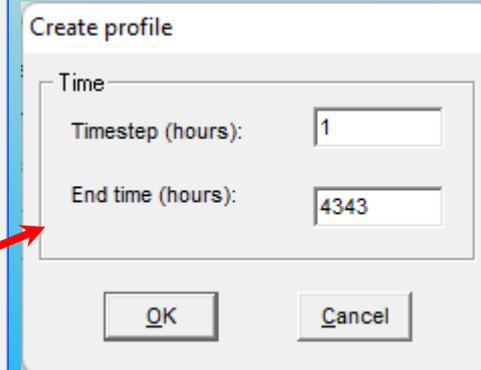
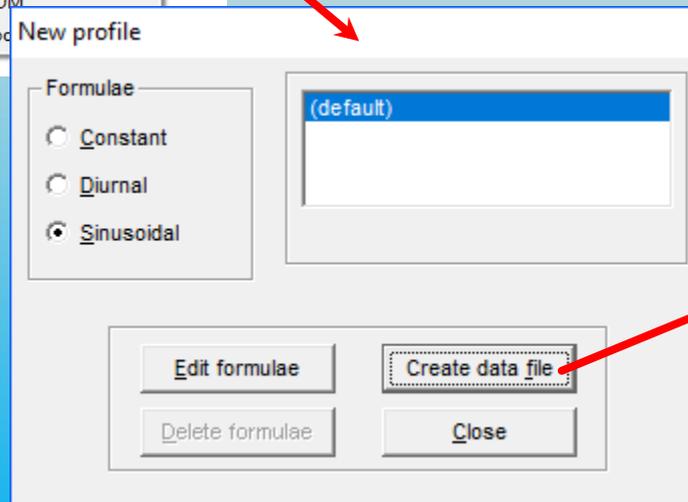
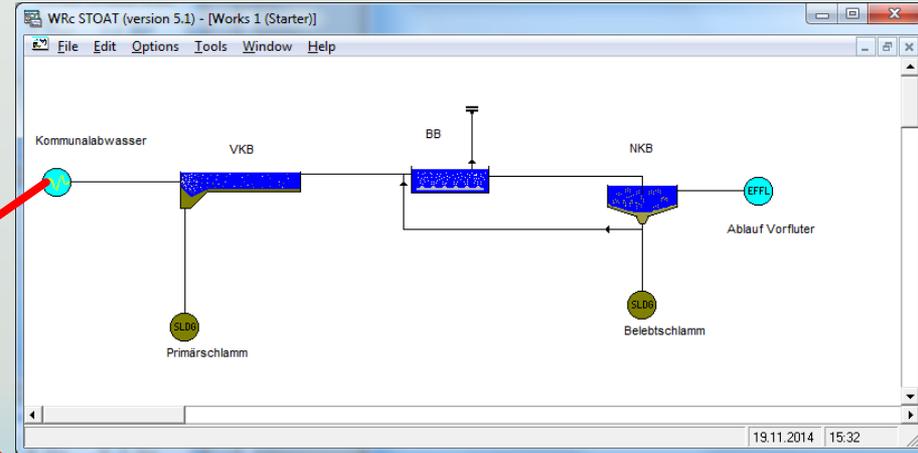
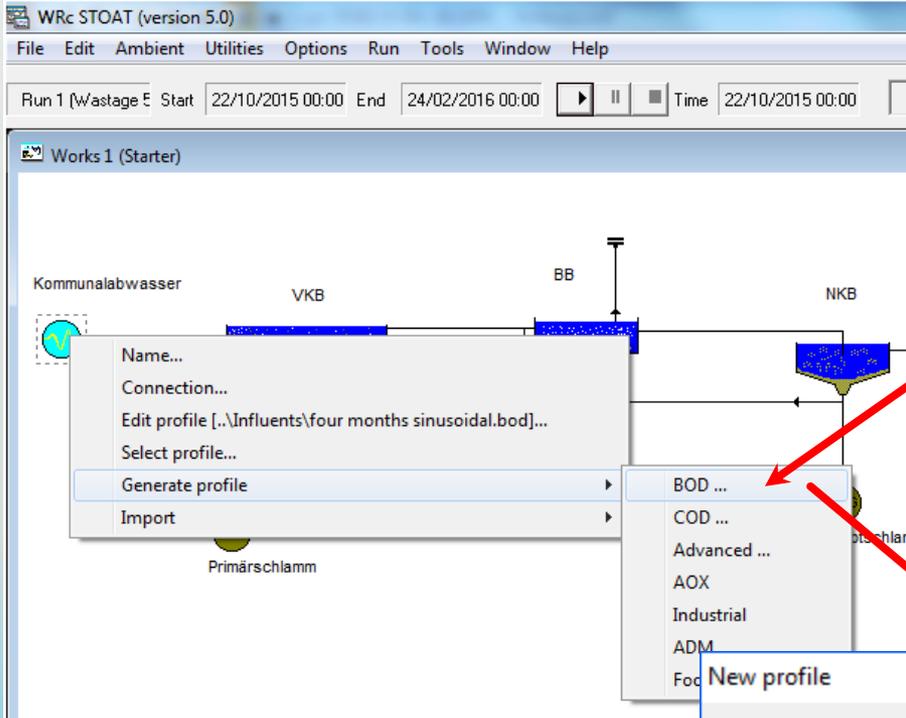
BOD equivalent of volatile solids:

BOD equivalent of biomass:

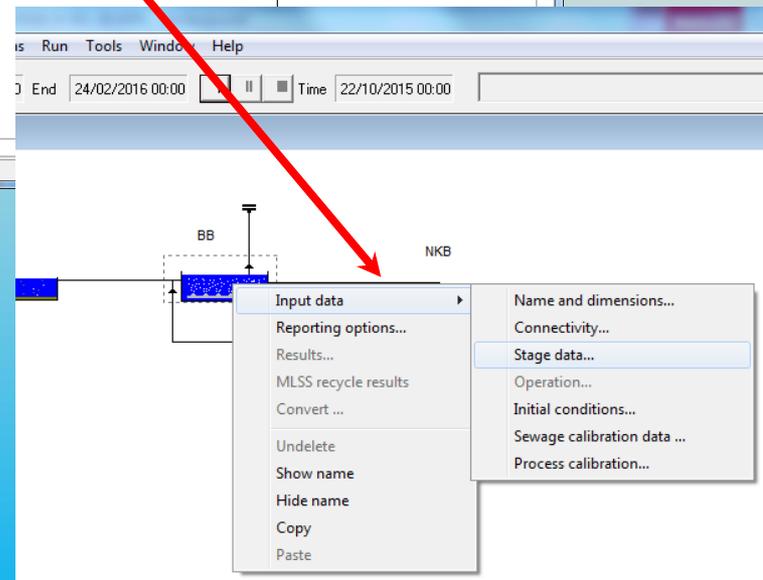
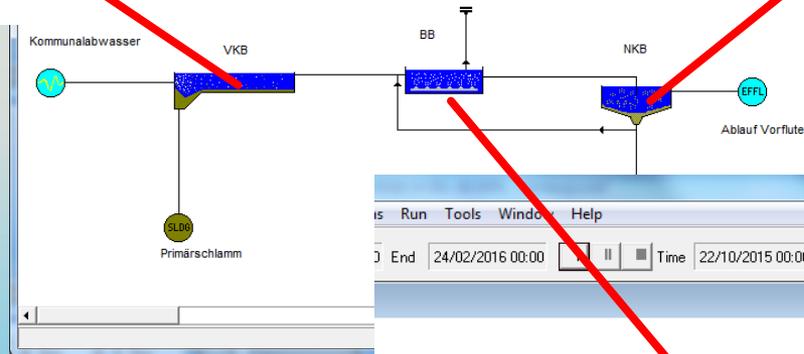
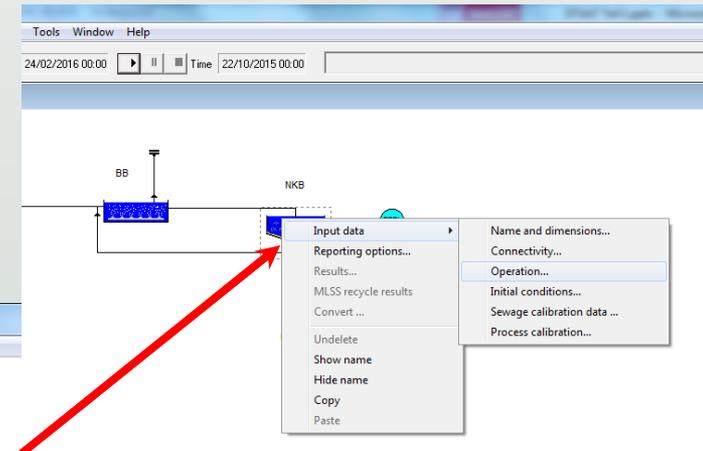
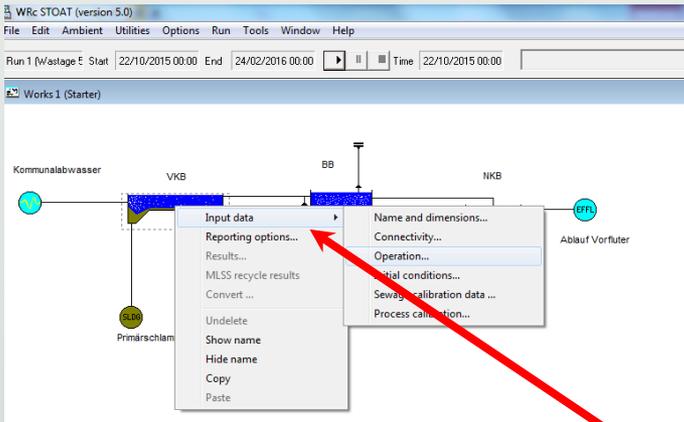
Beginn und Ende  
des Rechnerlaufs  
anpassen!

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

Zulaufdatei (*Influent file*) generieren



# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...



*STOAT bits* für Rechnerlauf einstellen  
(*Operation data, Initial data* usw.,  
insbesondere VKB, BB, NKB)

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

Operational data NKB

Operation data		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	C
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	RAS flow (m <sup>3</sup> /h):	150.00	0.00	0.00	0.00	
3	RAS ratio:	1.00	0.00	0.00	0.00	
4	Sludge wastage flow (m <sup>3</sup> /h):	5.00	0.00	0.00	0.00	
5	Wastage pump run time (h):	24.00	0.00	0.00	0.00	
6	Wastage cycle time (h):	24.00	0.00	0.00	0.00	
7	MLSS set-point (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	

Run 1

**RAS**      **Recycled Activated Sludge**  
= Rücklaufschlamm

**WAS**      **Wastage Activated Sludge** (oder auch: Sludge wastage)  
= Überschussschlamm

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

## Initial data NKB

Initial data

		Stage1	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6	Stage7	Stage8
1	Soluble BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Ammonia (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Soluble phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dissolved oxygen (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Particulate BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Particulate phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Mixed liquor suspended solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	500.00	1000.00	1500.00
9	Non-settleable (volatile) solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	500.00	1000.00
11	Non-viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	50.00	100.00
13	Non-viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OK Cancel Reset Help

*Viable heterotrophs / viable autotrophs* müssen sich in den unteren Schichten (*layer*) im NKB anreichern, damit sie in ausreichender Menge im Rücklaufschlamm enthalten sind. Damit die Feststoffbilanz aufgeht, muss folgende Bedingung erfüllt sein:

$$\begin{aligned} & \text{Mixed liquor suspended solids (MLSS)} \\ & \geq \sum \text{viable heterotrophs} + \text{viable autotrophs} \end{aligned}$$

# ... wir konfigurieren einen Rechnerlauf...

Auswahl der Parameter für die fortlaufende Darstellung der Ergebnisse während des Rechnerlaufs (*In-simulation reporting*)

The image displays the WRC STOAT (version 5.0) interface. The main window shows a process flow diagram with components: Kommunalabwasser, VKB, BB, NKB, Ablauf Vorfluter, Primärschlamm (SLD6), and Überschussschlamm (SLD6). A red arrow points from the 'Ablauf Vorfluter' node to a context menu. The context menu includes options: Name..., Reporting options, Results, Show name, and Hide name. A red arrow points from 'Reporting options' to the 'Reporting Options' dialog box. This dialog box has 'Save Results' checked and 'In-simulation reporting' selected. Under 'In-simulation reporting', the 'Simple' radio button is selected. A red arrow points from 'Simple' to the 'Select determinands to report' dialog box. This dialog box lists various parameters with checkboxes: Flow (m³/h), Total SS (mg/l), Total BOD (mg/l), Total COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Nitrate (mg/l), Phosphate (mg/l), Total P (mg/l), and Total N (mg/l). The 'Flow (m³/h)' and 'Nitrate (mg/l)' checkboxes are checked. Buttons for OK, Cancel, Reset, More, and Help are at the bottom.

# ... wir starten einen Rechnerlauf...

WRC STOAT (version 5.0)

File Edit Window Help

Run 1 (Wastage 5 m³/h) Start 22/10/2015 00:00 End 24/02/2016 00:00 Time 22/10/2015 00:00

Works 1 (Starter)

Kommunala

stream 5:Run 1 (Wastage 5 m³/h):Works 1 (Starter)

Elapsed time (hours)

Legend:

- Flow (/10m³/h)
- Total SS (mg/l)
- Total BOD (mg/l)
- Ammonia (mg/l)
- Nitrate (mg/l)

	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Total BOD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Mean					
Minimum					
Maximum					
Standard deviation					
Total mass (kg)					
Peak load (g/s)					

20/10/2015 13:00

# ... wir starten einen Rechnerlauf...

The screenshot shows the WRc STOAT (version 5.0) software interface. The title bar reads "WRc STOAT (version 5.0) - [DN vorg. #1 (100.000 EW, ASM 1, Schlamm... tw., SPS)]". The menu bar includes "File", "Edit", "Ambient", "Utilities", "Options", "Run", "Tools", "Window", and "Help". The main window displays a status bar with the following information: "Run 2 (Input 0.25)", "Start 01/01/2010 00:00", "End 31/12/2010 23:00", a play button, a pause button, and "Time 27/01/2010 09:00". A blue progress bar is visible to the right of the time display.

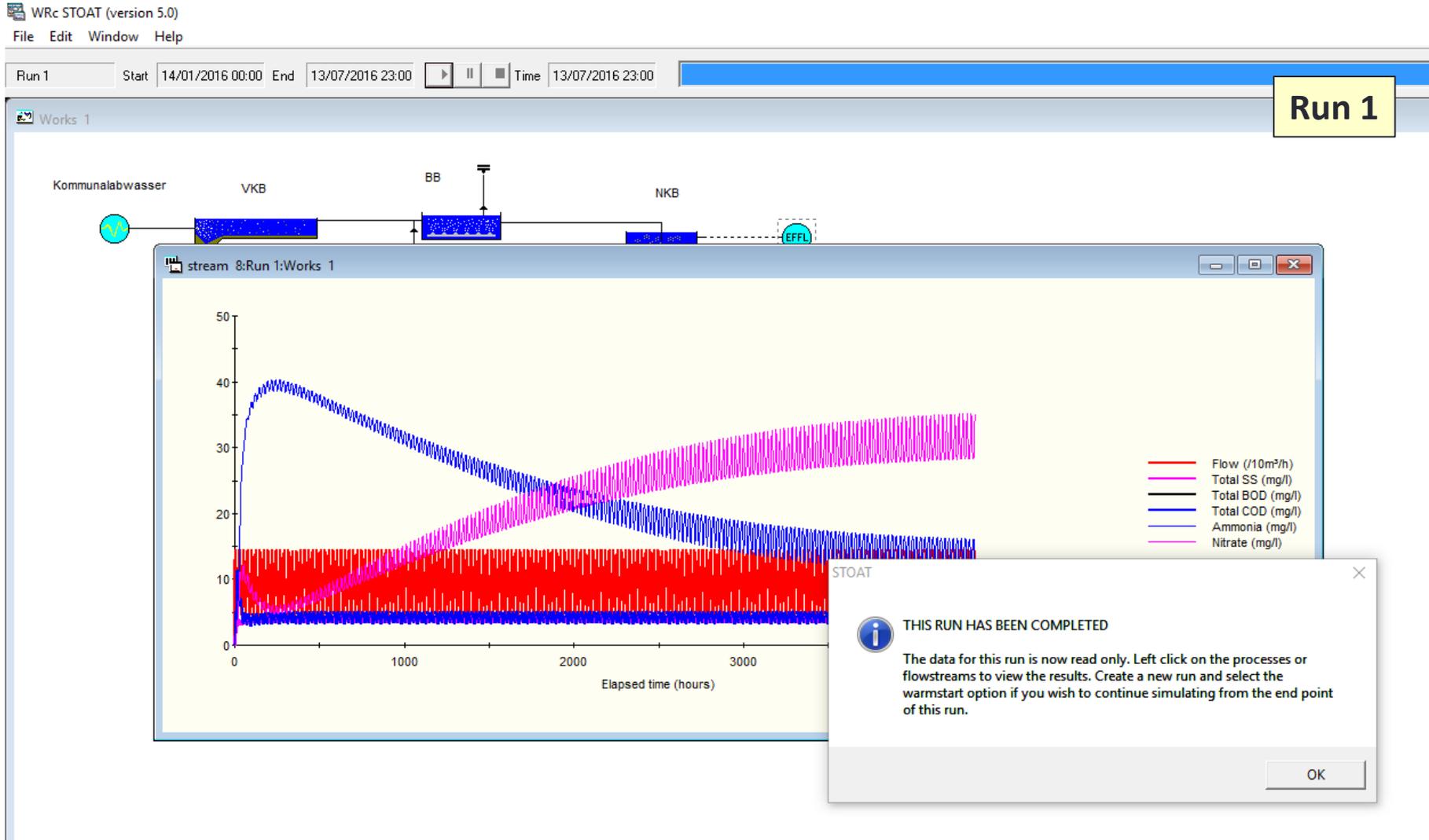
Annotations with red arrows point to the play and pause buttons:

- "Rechnerlauf" (Computer run) points to the play button.
- "Pause" points to the pause button.
- "Rechnerlauf abbrechen" (Cancel computer run) points to the play button.

Labels for the status bar elements:

- "Bezeichnung des Rechnerlaufs" (Run name) points to "Run 2 (Input 0.25)".
- "Startzeitpunkt" (Start time) points to "Start 01/01/2010 00:00".
- "Endzeitpunkt" (End time) points to "End 31/12/2010 23:00".
- "aktueller Stand des Rechnerlaufs" (Current status of the run) points to the play and pause buttons.
- "Fortschrittsanzeige" (Progress indicator) points to the blue progress bar.

# ... der Rechnerlauf ist beendet ...



# ... wir begutachten die Resultate...

Nachdem der Rechnerlauf (*run*) abgeschlossen ist, wird die Rechnerlauf-Ebene verlassen und auf die Berichts-Ebene (*report level*) übergegangen.

**Welche Ergebnisse liefert ein Rechnerlauf?**

**Wie kann ich diese veranschaulichen?**

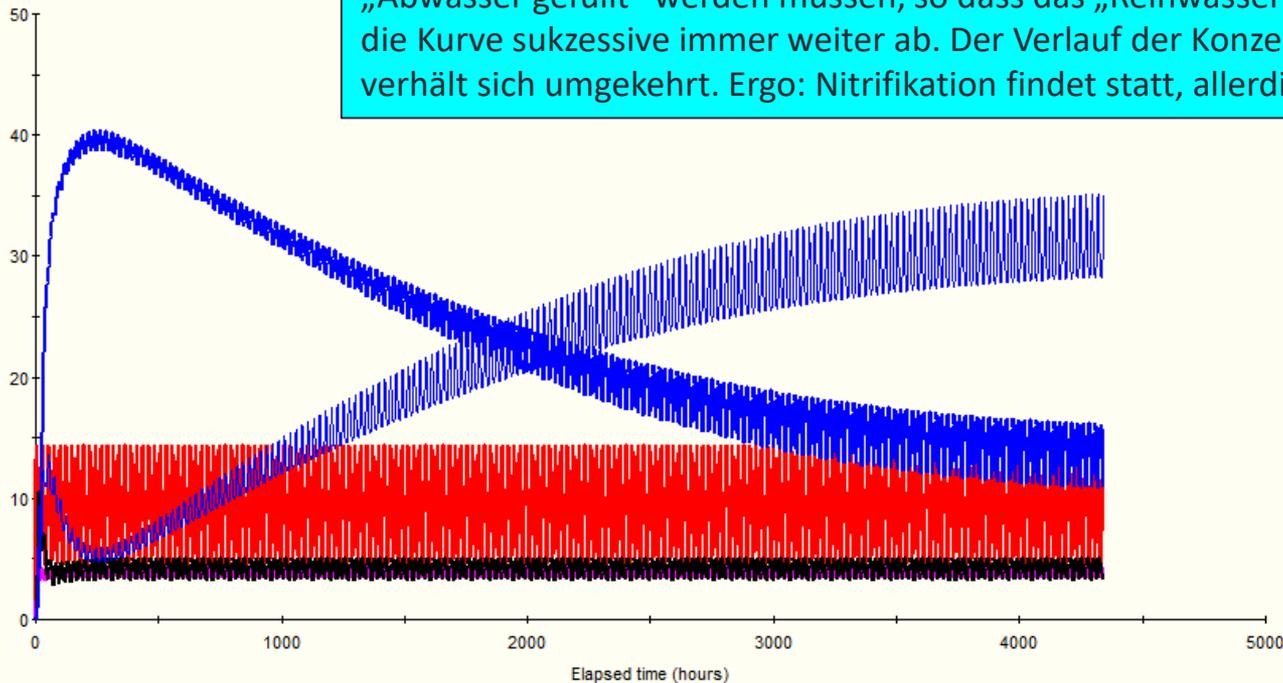
**Welche Schlussfolgerungen sind daraus zu ziehen?**

**Muss ich die Einstellungen zum Rechnerlauf verändern und/oder das Modell umbauen (verändern, erweitern) und wenn ja, wie?**

# ... wir begutachten die Resultate...

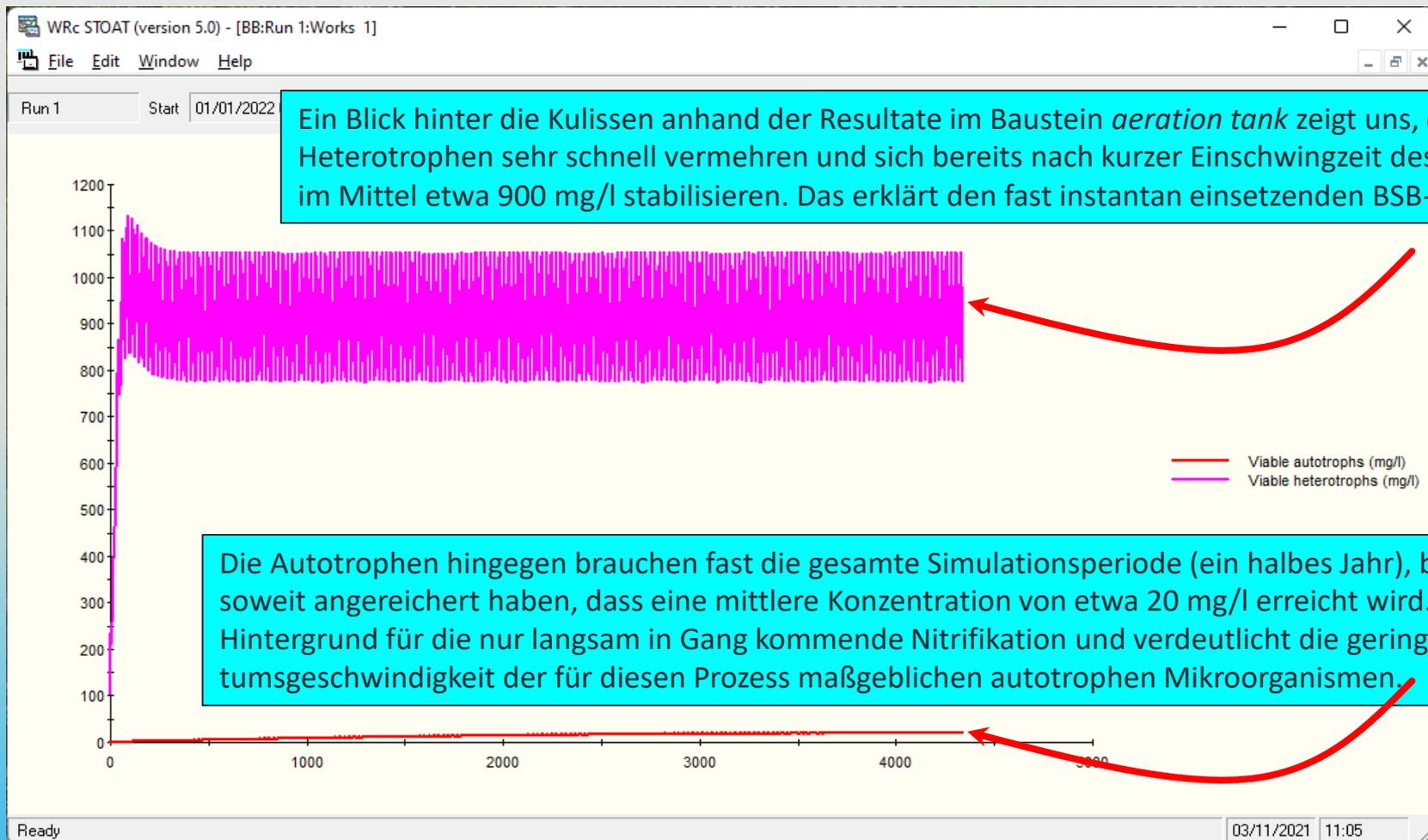
Die Ablaufkonzentration von *Ammonia* ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) steigt zunächst stark an bis auf etwa 40 mg/l. Dieser Anstieg ergibt sich daraus, dass die Konzentration in VKB, BB und NKB beim Start des ersten Rechnerlaufs „Null“ ist und die Reaktoren erst mit dem im Zulauf simulierten „Abwasser gefüllt“ werden müssen, so dass das „Reinwasser“ verdrängt wird. Danach fällt die Kurve sukzessive immer weiter ab. Der Verlauf der Konzentration von *Nitrate* ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) verhält sich umgekehrt. Ergo: Nitrifikation findet statt, allerdings noch gebremst!

Run 1



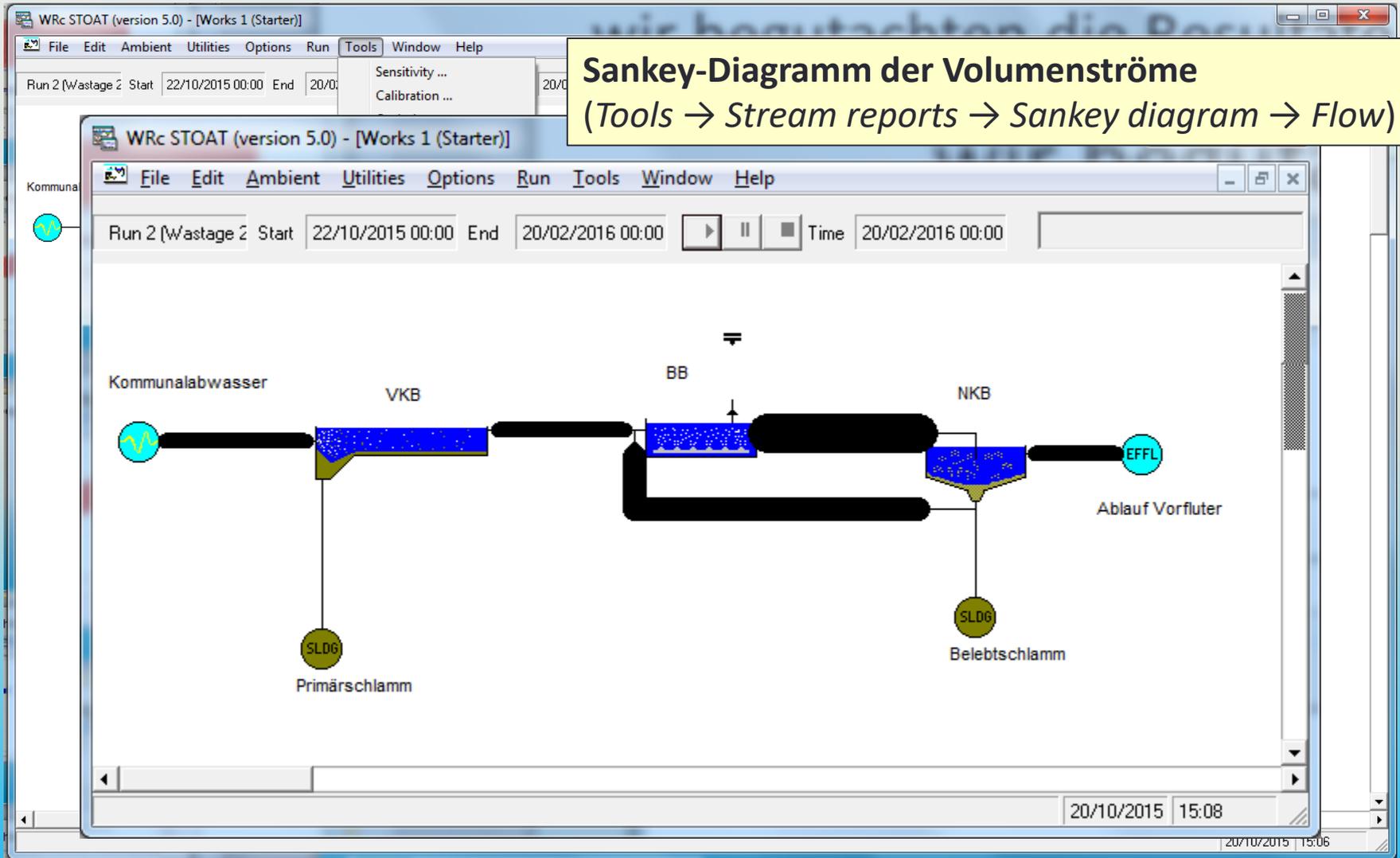
BSB (*BOD*) analog  $\text{NH}_4\text{-N}$ , Einschwingkurve ist aber deutlich kürzer!

# ... wir begutachten die Resultate...



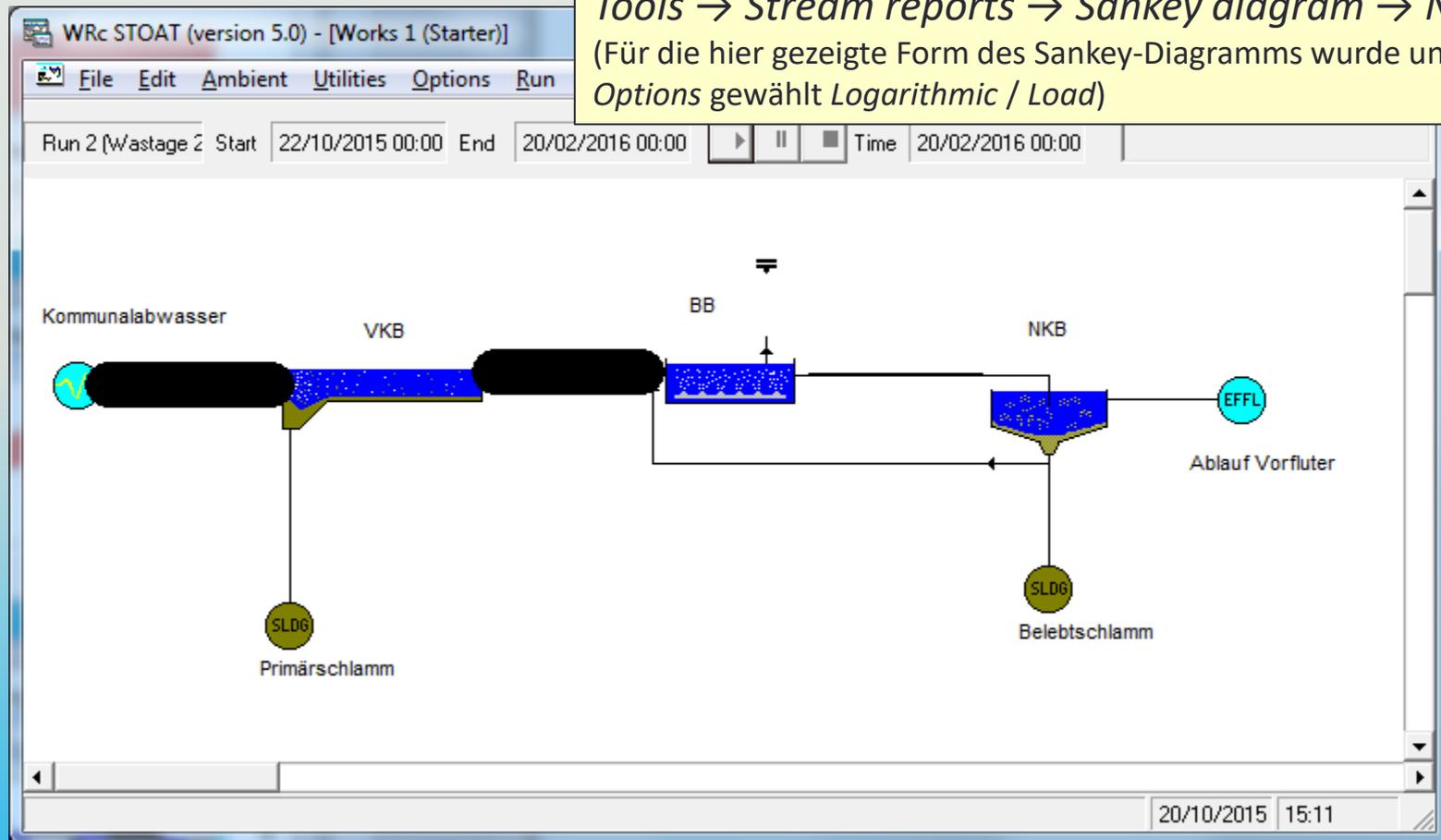
# ... wir begutachten die Resultate...

**Sankey-Diagramm der Volumenströme**  
(Tools → Stream reports → Sankey diagram → Flow)



# ... wir begutachten die Resultate...

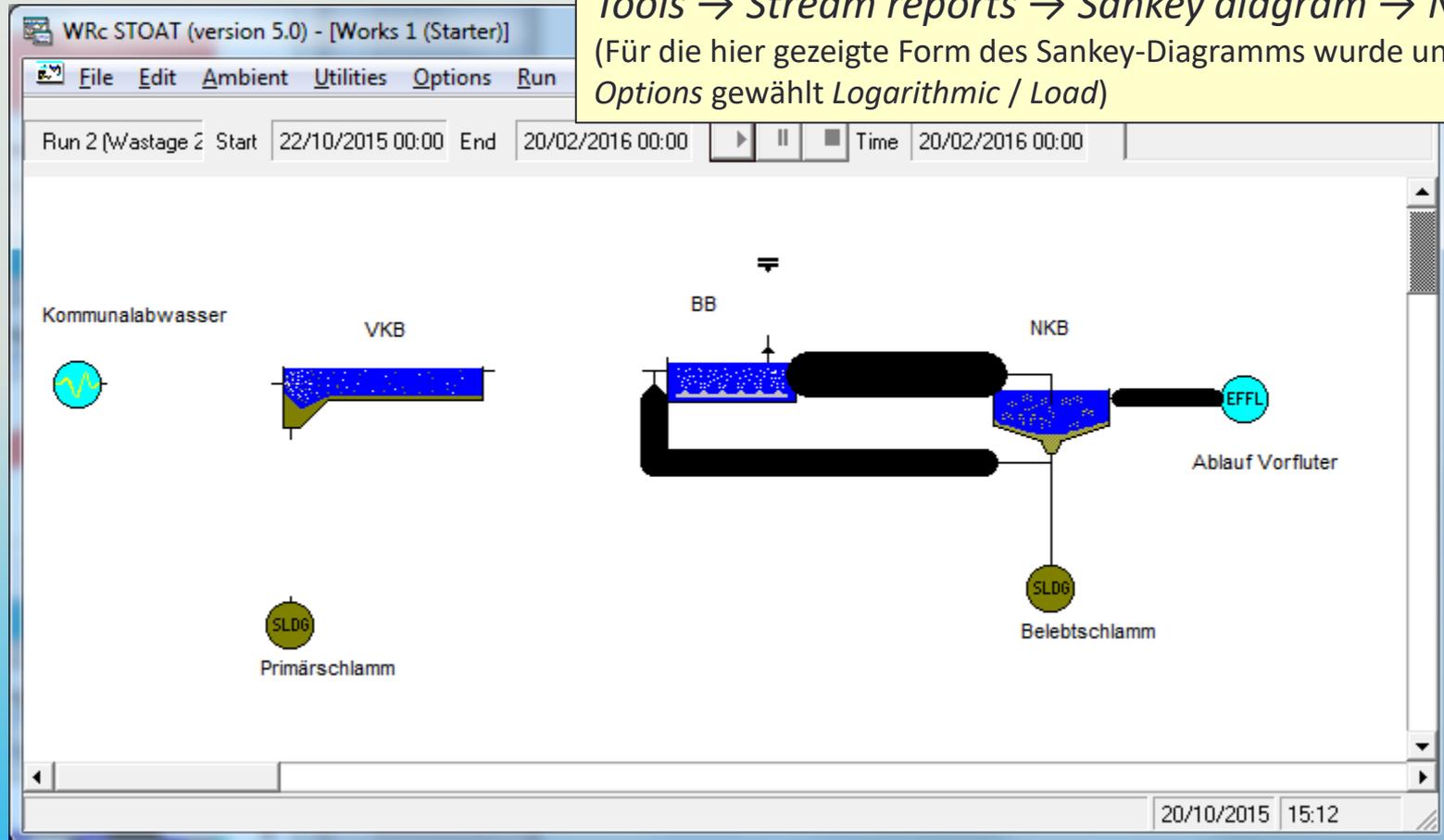
**Sankey-Diagramm Stofffracht Ammoniumstickstoff**  
*Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *NH<sub>3</sub>*  
(Für die hier gezeigte Form des Sankey-Diagramms wurde unter *Options* gewählt *Logarithmic / Load*)



# ... wir begutachten die Resultate...

## Sankey-Diagramm Stofffracht Nitratstickstoff

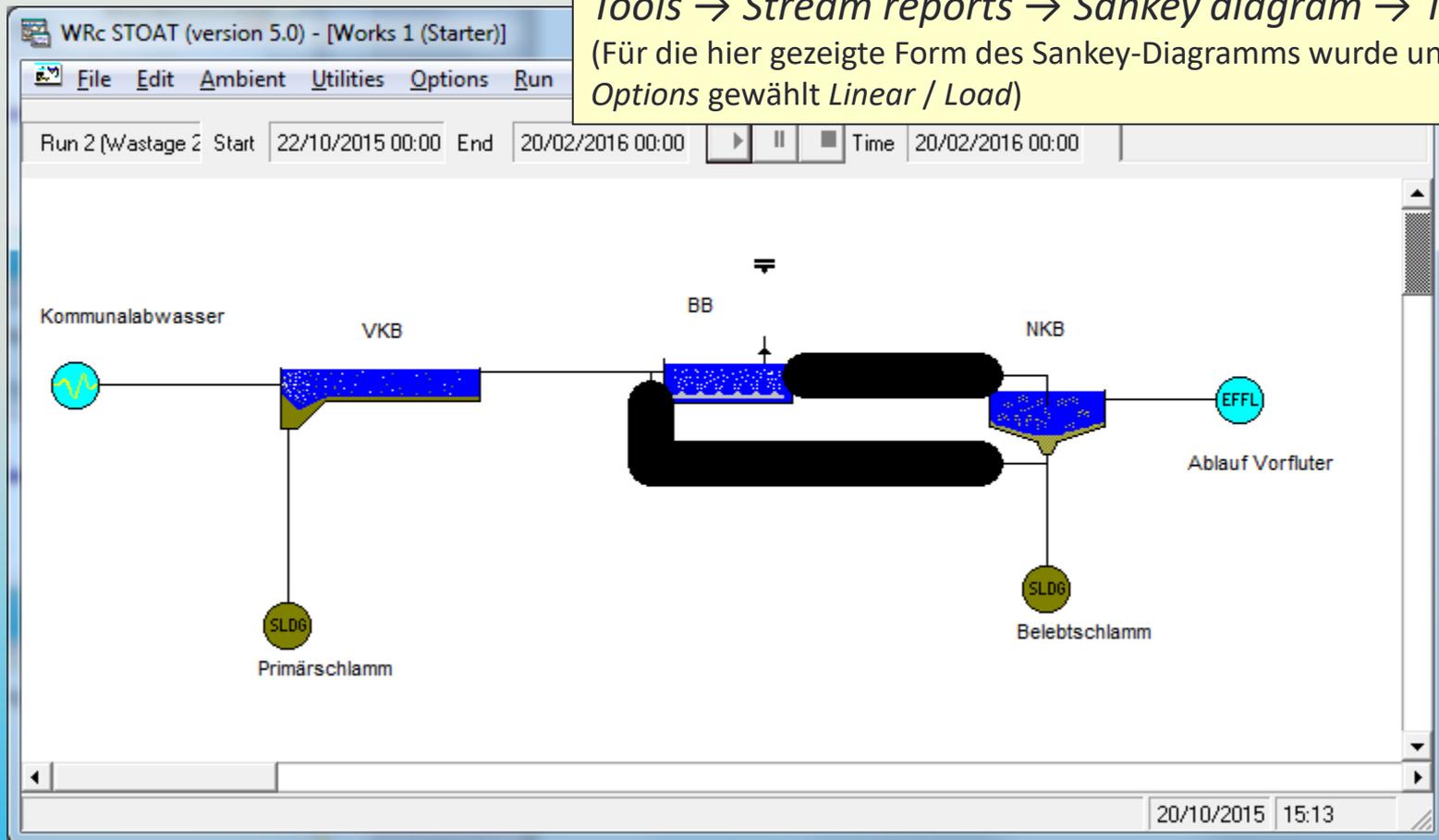
*Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *NO<sub>3</sub>*  
(Für die hier gezeigte Form des Sankey-Diagramms wurde unter *Options* gewählt *Logarithmic / Load*)



... wir begutachten die Resultate usw. usf.

### Sankey-Diagramm Stofffracht Feststoffe

*Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *TSS*  
(Für die hier gezeigte Form des Sankey-Diagramms wurde unter *Options* gewählt *Linear / Load*)



# ... wir begutachten die Resultate usw. usf.

**Massenbilanz**  
*Tools → Stream reports → Mass balance*

WRC STOAT (version 5.0) - [Stream summary for Works 1, Run 1]

File Sort Window Help

Run 1 Start 01/01/2022 00:00 End 30/06/2022 23:00 Time 01/01/2022 00:00

Parameter	stream 1	stream 2	stream 3	stream 4	stream 5	stream 6	stream 7	stream 8
Av. flow (m³/h)	100.03	0.25	99.78	0.00	249.78	150.00	5.00	94.78
Min. flow (m³/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. flow (m³/h)	149.68	0.47	149.24	0.00	299.24	150.00	5.00	144.24
Av. Temperature (deg. C)	15.00	15.00	15.00	0.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Min. Temperature (deg. C)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. Temperature (deg. C)	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Av. BOD (mg/l)	269.67	15943.32	229.29	0.00	1042.39	1676.79	1676.79	4.22
Min. BOD (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (mg/l)	359.23	16001.47	259.50	0.00	1123.72	1942.65	1942.65	10.61
Av. COD (mg/l)	269.67	15943.32	229.29	0.00	1042.39	1676.79	1676.79	4.22
Min. COD (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (mg/l)	359.23	16001.47	259.50	0.00	1123.72	1942.65	1942.65	10.61
Av. SS (mg/l)	269.67	52500.00	136.55	0.00	3023.04	4868.88	4868.88	3.96
Min. SS (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (mg/l)	359.23	52500.00	158.95	0.00	3246.84	5577.64	5577.64	4.35
Av. NH3 (mg/l)	44.95	46.03	44.84	0.00	22.96	22.98	22.98	22.90
Min. NH3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (mg/l)	59.87	59.87	50.83	0.00	40.84	40.72	40.72	40.38
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	21.96	22.05	22.05	21.71
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	37.34	36.74	36.74	35.15
Av. TN (mg/l)	44.95	46.03	44.84	0.00	44.92	45.02	45.02	44.61
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	59.87	59.87	50.83	0.00	46.61	46.53	46.53	46.14
Av. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. BOD (kg/h)	26.98	4.04	22.88	0.00	260.36	251.52	8.38	0.40
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	53.77	7.52	33.11	0.00	303.28	291.40	9.71	0.91
Av. COD (kg/h)	26.98	4.04	22.88	0.00	260.36	251.52	8.38	0.40
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	53.77	7.52	33.11	0.00	303.28	291.40	9.71	0.91
Av. SS (kg/h)	26.98	13.31	13.62	0.00	755.08	730.33	24.34	0.38
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	53.77	24.68	21.54	0.00	874.46	836.65	27.89	0.63
Av. NH3 (kg/h)	4.50	0.01	4.47	0.00	5.73	3.45	0.11	2.17
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	8.96	0.03	6.35	0.00	11.47	6.11	0.20	5.73
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.48	3.31	0.11	2.06
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	9.52	5.51	0.18	5.02
Av. TN (kg/h)	4.50	0.01	4.47	0.00	11.22	6.75	0.23	4.23
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	8.96	0.03	6.35	0.00	12.98	6.98	0.23	6.58
Av. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OK Print Copy Save

03/11/2021 15:35

# ... wir starten einen neuen Run ...

**New run : Page 1 of 1**

Name of run: Run 2

Initial conditions

- Default (cold start)
- Start of old run (repeat run)
- End of old run (warm start)
- Continue old run (retain operational data)

OK Cancel Reset More Help

**Run definition : Page 1 of 1**

Name of run: Run 2

Start date and time (dd/mm/yy hh:mm): 30/06/2022 23:00

End date and time (dd/mm/yy hh:mm): 08/09/2022 07:15

Input timestep (h): 0.25

Output timestep (h): 1

Average sewage temperature (°C): 15

BOD equivalent of volatile solids: 0.5

**Run 2**

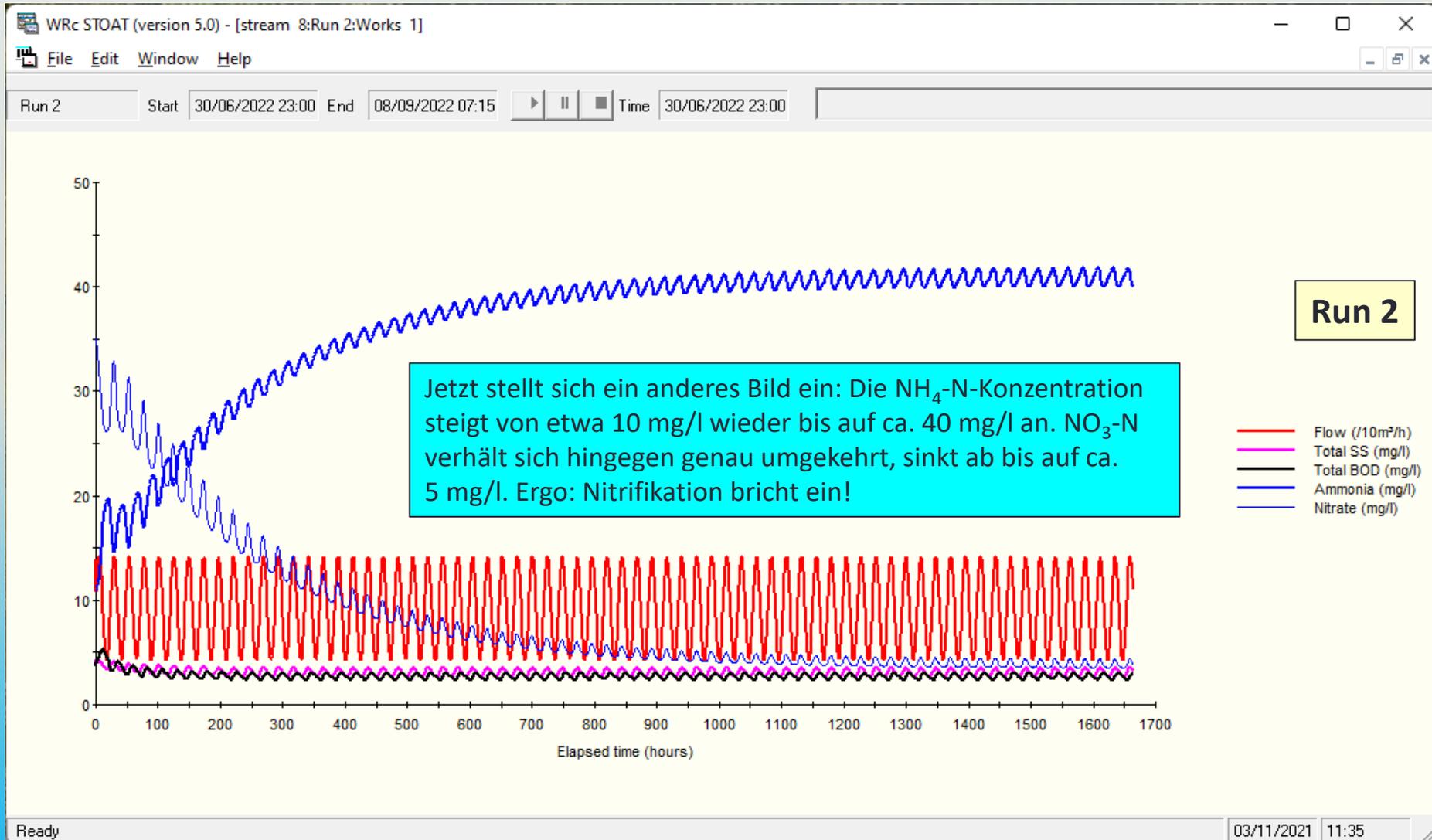
**Operation data**

		Initial	Change 1	Change 2
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00
2	RAS flow (m <sup>3</sup> /h):	150.00	0.00	0.00
3	RAS ratio:	1.00	0.00	0.00
4	Sludge wastage flow (m <sup>3</sup> /h):	7.50	0.00	0.00
5	Wastage pump run time (h):	24.00	0.00	0.00
6	Wastage cycle time (h):	24.00	0.00	0.00
7	MLSS set-point (mg/l):	0.00	0.00	0.00

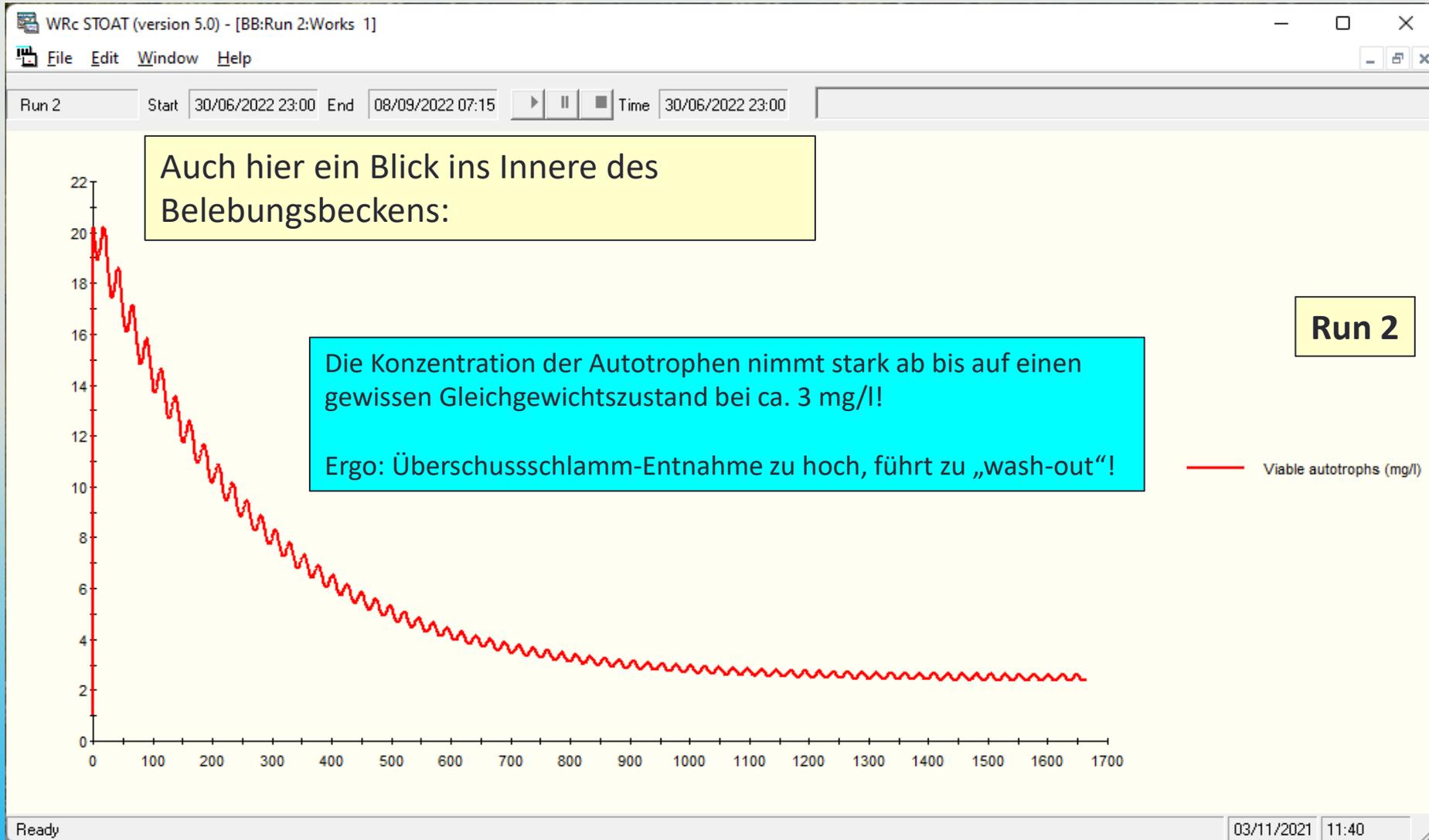
In dem neuen Rechnerlauf soll der Überschussschlammabzug um 50% erhöht werden (von 5 auf 7.5 m<sup>3</sup>/h). Alle anderen Einstellungen werden beibehalten.

OK

# ... neuer Rechnerlauf und Resultate ...



# ... weiterer Rechnerlauf und Resultate ...



# ... wir starten noch einen neuen Run ...

WRc STOAT (version 5.0) - [Works 1 (Starter)]

File Edit Options Tools Window Help

Run definition : Page 1 of 1

Name of run: **Run 3 (WAS 2.5 m³/h)**

Start date and time (dd/mm/yy hh:mm): 01/01/2022 00:00

End date and time (dd/mm/yy hh:mm): 30/06/2022 23:00

Input timestep (h): 0.25

Output timestep (h): 1

Average sewage temperature (°C): 15

BOD equivalent of volatile solids: 0.5

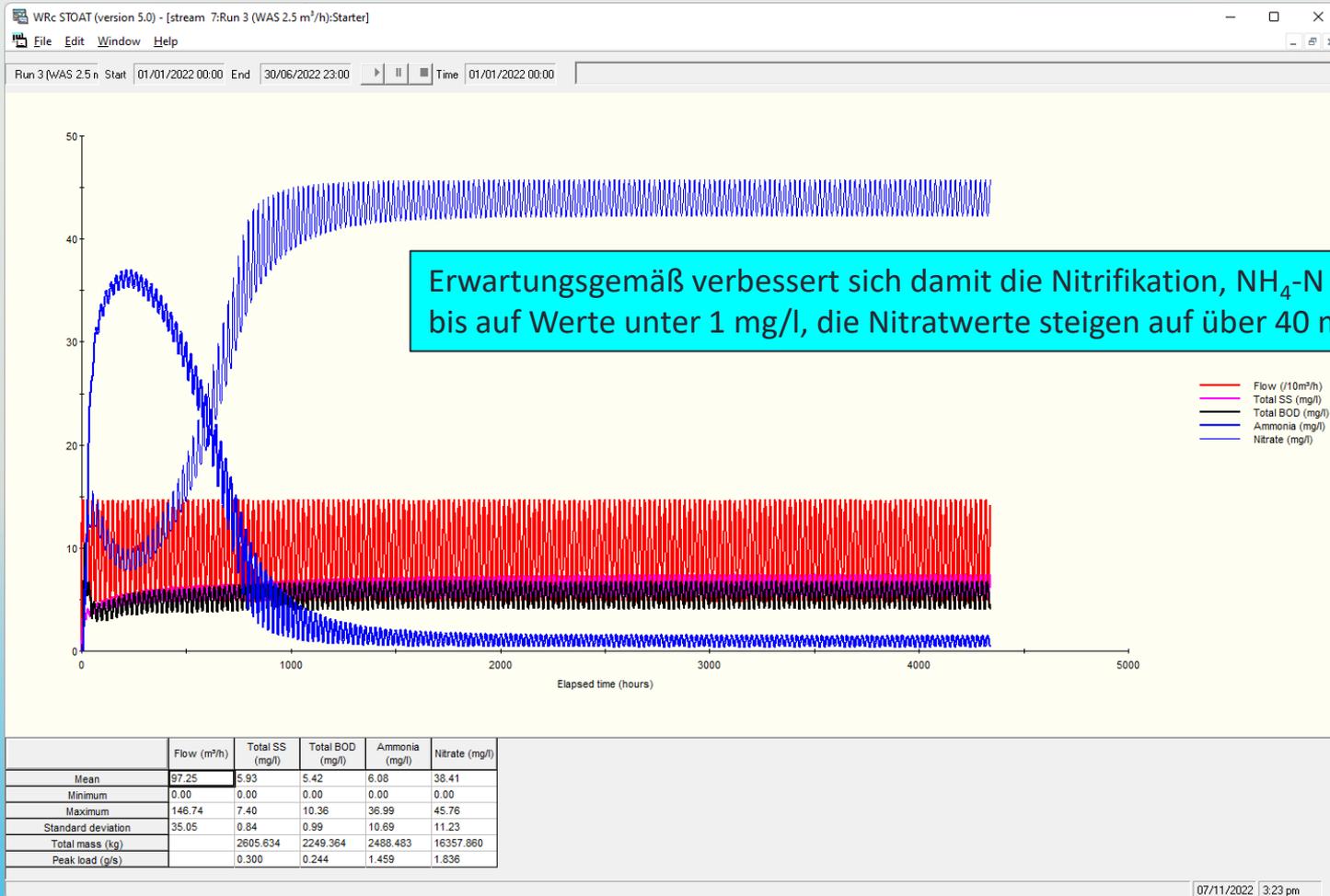
BOD equivalent of biomass: 0.5

		Initial	Change 1	Change
1	Change at time (h):	0.00	0.00	
2	RAS flow (m³/h):	150.00	0.00	
3	RAS ratio:	1.00	0.00	
4	Sludge wastage flow (m³/h):	2.50	0.00	
5	Wastage pump run time (h):	24.00	0.00	
6	Wastage cycle time (h):	24.00	0.00	0.00
7	MLSS set-point (mg/l):	0.00	0.00	0.00

In dem neuen Rechnerlauf soll der Überschussschlammabzug auf **2,5 m³/h** abgesenkt werden. Alle anderen Einstellungen werden beibehalten.

OK Cancel Reset Help

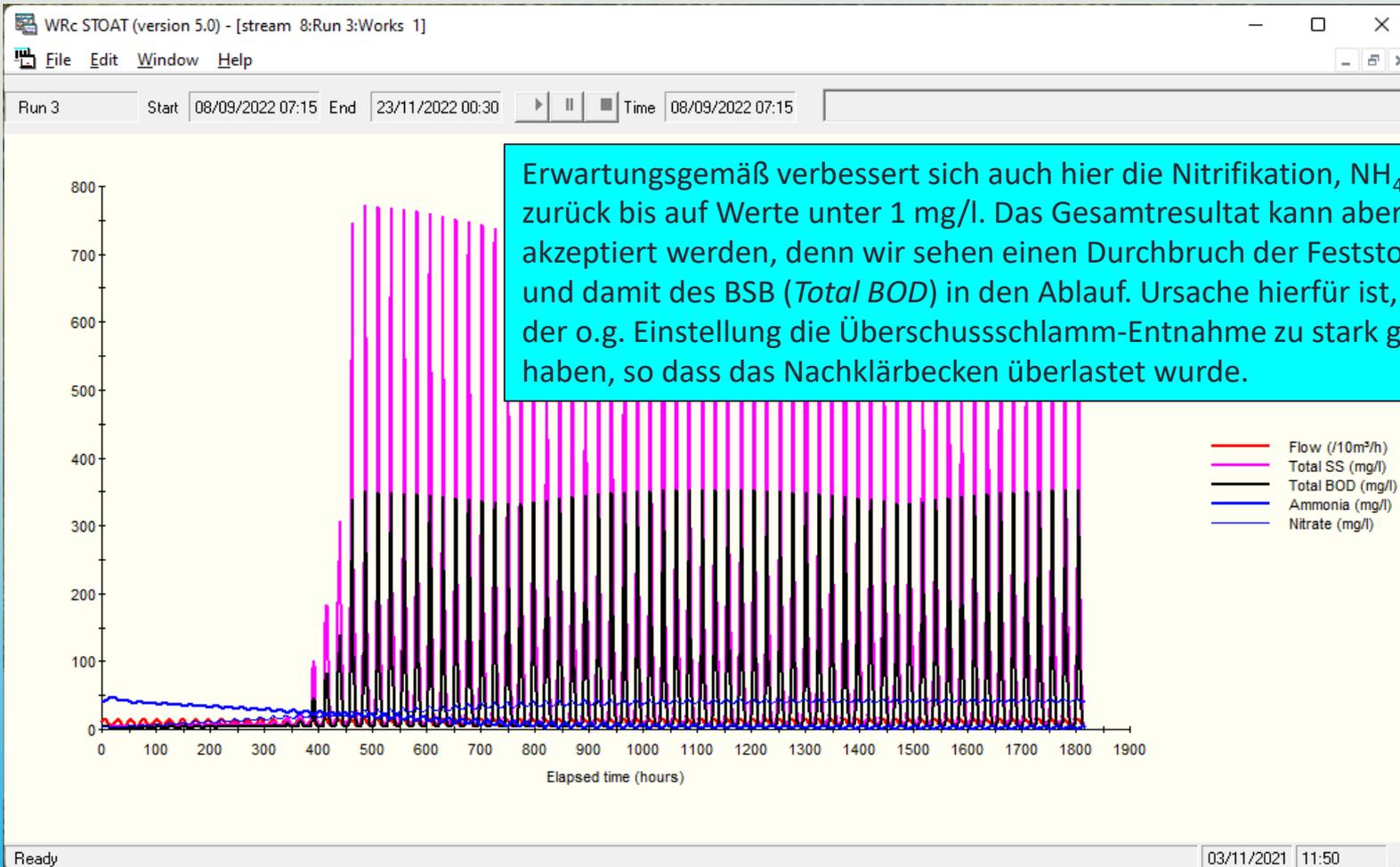
# ... Resultate und noch ein Rechnerlauf ...



Run 3

Im nächsten Rechnerlauf soll der Überschussschlammabzug im Vergleich zu *run 1* verringert werden (von 5 auf 1 m<sup>3</sup>/h). Alle anderen Einstellungen werden beibehalten.

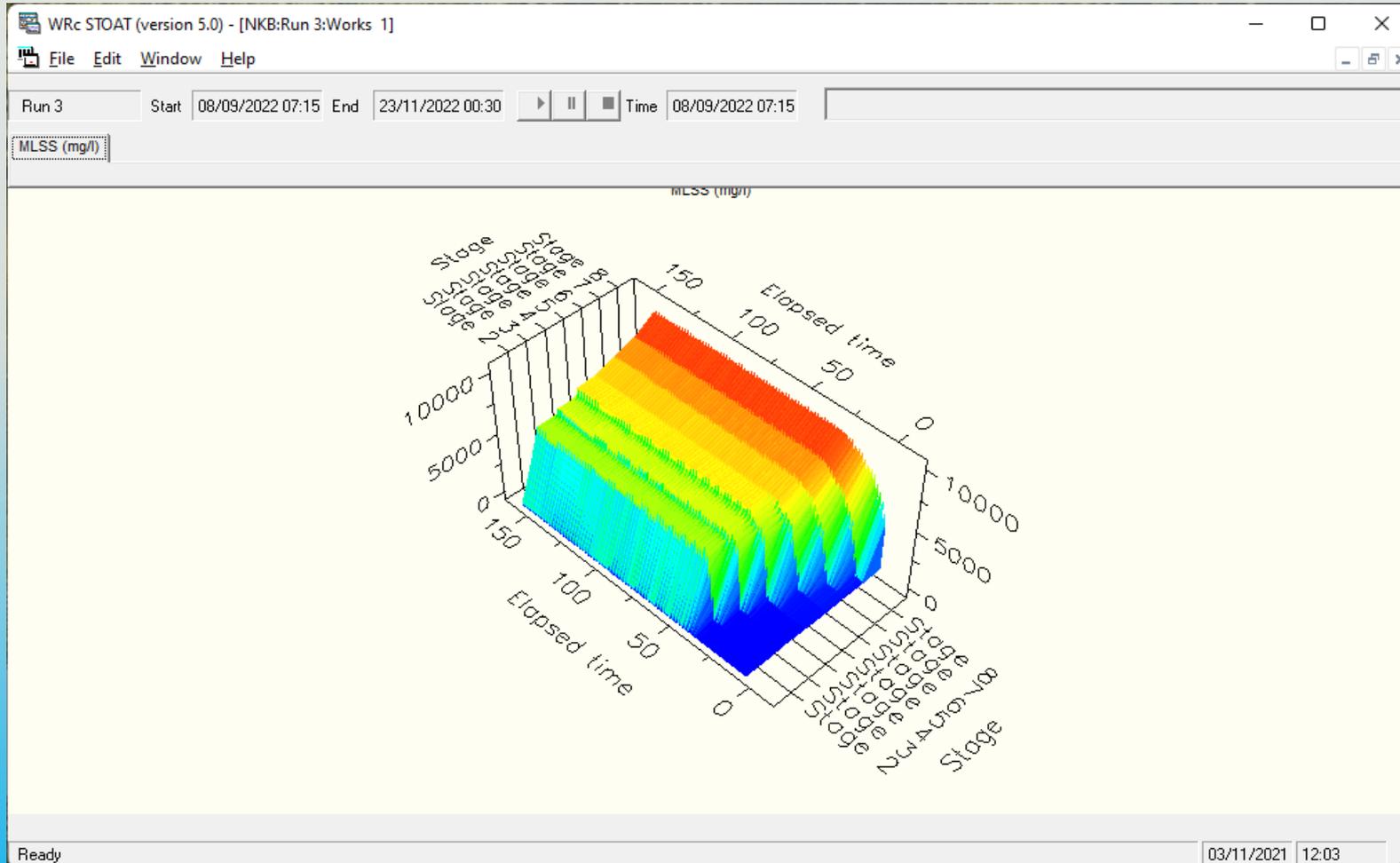
# ... weiterer Rechnerlauf und Resultate ...



Run 4

# ... weiterer Rechnerlauf und Resultate ...

Ein Blick ins Innere des Nachklärbeckens bestätigt diese Vermutung: Die Feststoffe sind innerhalb des NKB soweit angestiegen, dass sie auch in der obersten Schicht (*Stage 1*) eine Konzentration von bis zu etwa 800 mg/l erreichen!



Run 4

# Fazit betreffs Überschussschlammabzug

Wenn die Überschussschlammmentnahme falsch eingestellt ist, d. h. wenn entweder zu viel oder zu wenig Überschussschlamm entnommen wird, passiert folgendes:

## **Überschussschlammabzug zu hoch:**

Feststoffkonzentration im Belebungsbecken verringert sich, typischer Fall von "wash-out". Die Nitrifikation bricht ein, weil sich Autotrophe aufgrund ihrer langen Generationszeit nicht mehr vermehren können und daher die Konzentration der Nitrifikanten im Belebungsbecken immer weiter abnimmt. Die Konzentration an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Ablauf aus dem Nachklärbecken steigt parallel dazu an, die Konzentration an  $\text{NO}_3\text{-N}$  nimmt ab.

## **Überschussschlammabzug zu niedrig:**

Feststoffkonzentration im Belebungsbecken erhöht sich. Damit steigt auch die Konzentration der Autotrophen und die Nitrifikation wird soweit verstärkt, dass die Konzentration an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Ablauf aus dem Nachklärbecken auf Werte unter 1 mg/l sinkt. Dementsprechend steigt die Konzentration an  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Aber: Das Nachklärbecken wird überlastet, Feststoffe gelangen in den Ablauf und damit erhöhte Werte an CSB.

# «*Build*»-Menü zum Umbau eines Modells

Wir bauen das simple Modell des Tutorials mit Hilfe des «*Build*»-Menü um zu einem Modell der KA Stahnsdorf

1. Öffnen des Modells, das die Grundlage für das neue Modell bilden soll (z.B. Works #3)
2. Anlegen eines «*New run*» - um die gewünschten Einstellungen zu übernehmen z.B. als «*Start of old run (repeat run)*» mit jenem run, der als Ausgangspunkt für die Arbeit mit dem Folgemodell dienen soll (z. B. jener Rechnerlauf, der bisher die beste Simulationsgüte aufwies)
3. «*Build*» aktivieren
4. Basis-Modell entsprechend dem gewünschten Design verändern
5. «*Save works As*» (neuer Name für das geänderte Modell, z.B. Works #4)
6. STOAT bietet an, den Rechnerlauf unter dem neuen Modell sofort zu sichern: «*Save run as New run*» („Run 1“)
7. «*Build*» deaktivieren

**Diese Schritte sind exakt zu befolgen, anderenfalls droht Datenverlust!**

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lützner, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014

# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

Dynamische Simulation  
der Kläranlage Stahnsdorf  
mit dem Programmsystem STOAT

# Rückblende letzte LV:

## Fazit betreffs Überschussschlammabzug

Was passiert, wenn die Überschussschlammabnahme falsch eingestellt ist, d. h. wenn entweder zu viel oder zu wenig Überschussschlamm entnommen wird?

### **Überschussschlammabzug zu hoch:**

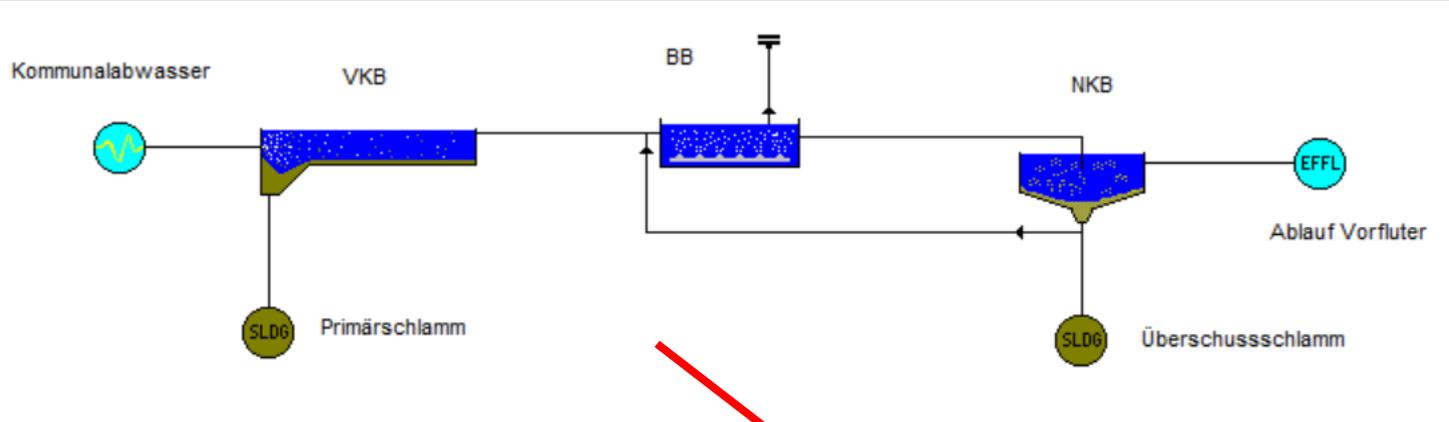
Feststoffkonzentration im Belebungsbecken verringert sich, typischer Fall von "wash-out". Die Nitrifikation bricht ein, weil sich Autotrophe aufgrund ihrer langen Generationszeit nicht mehr vermehren können und daher die Konzentration der Nitrifikanten im Belebungsbecken immer weiter abnimmt. Die Konzentration an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Ablauf aus dem Nachklärbecken steigt parallel dazu an, die Konzentration an  $\text{NO}_3\text{-N}$  nimmt ab.

### **Überschussschlammabzug zu niedrig:**

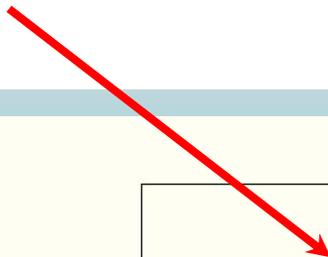
Feststoffkonzentration im Belebungsbecken erhöht sich. Damit steigt auch die Konzentration der Autotrophen und die Nitrifikation wird soweit verstärkt, dass die Konzentration an  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Ablauf aus dem Nachklärbecken auf Werte unter 1 mg/l sinkt. Dementsprechend steigt die Konzentration an  $\text{NO}_3\text{-N}$ . Aber: Das Nachklärbecken wird überlastet, Feststoffe gelangen in den Ablauf und damit erhöhte Werte an CSB.

# KA Stahnsdorf #1 (Grundmodell)

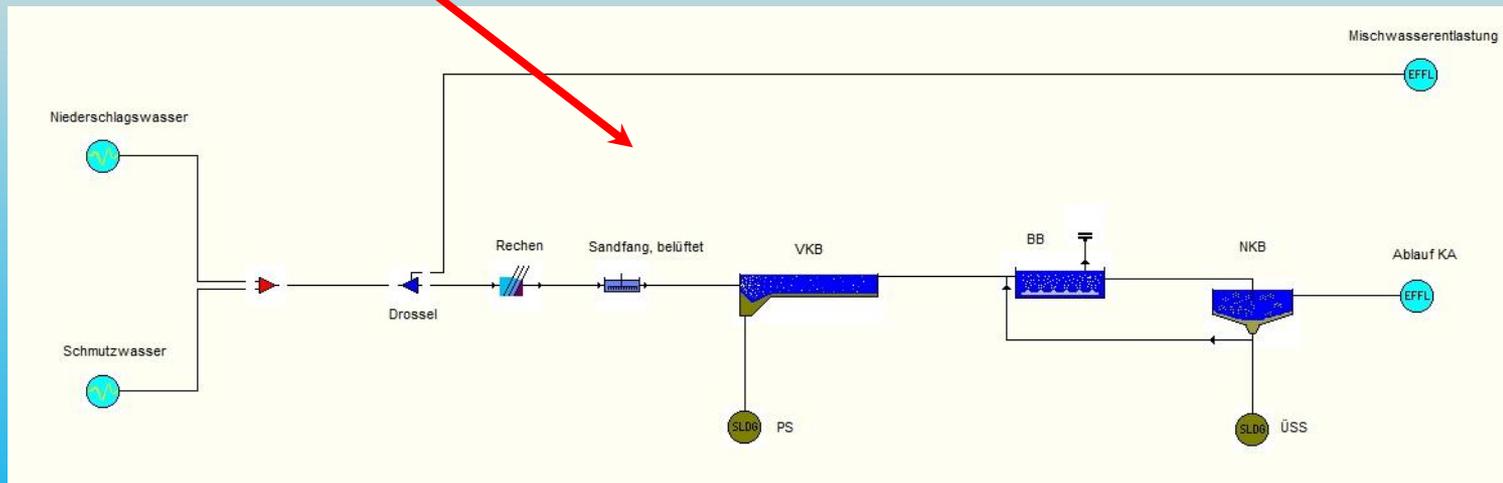
Laden Sie das in der letzten LV aufgebaute STOAT-Modell und bauen Sie dieses um zur „KA Stahnsdorf #1“ (wie unten abgebildet)!



Starter-Modell

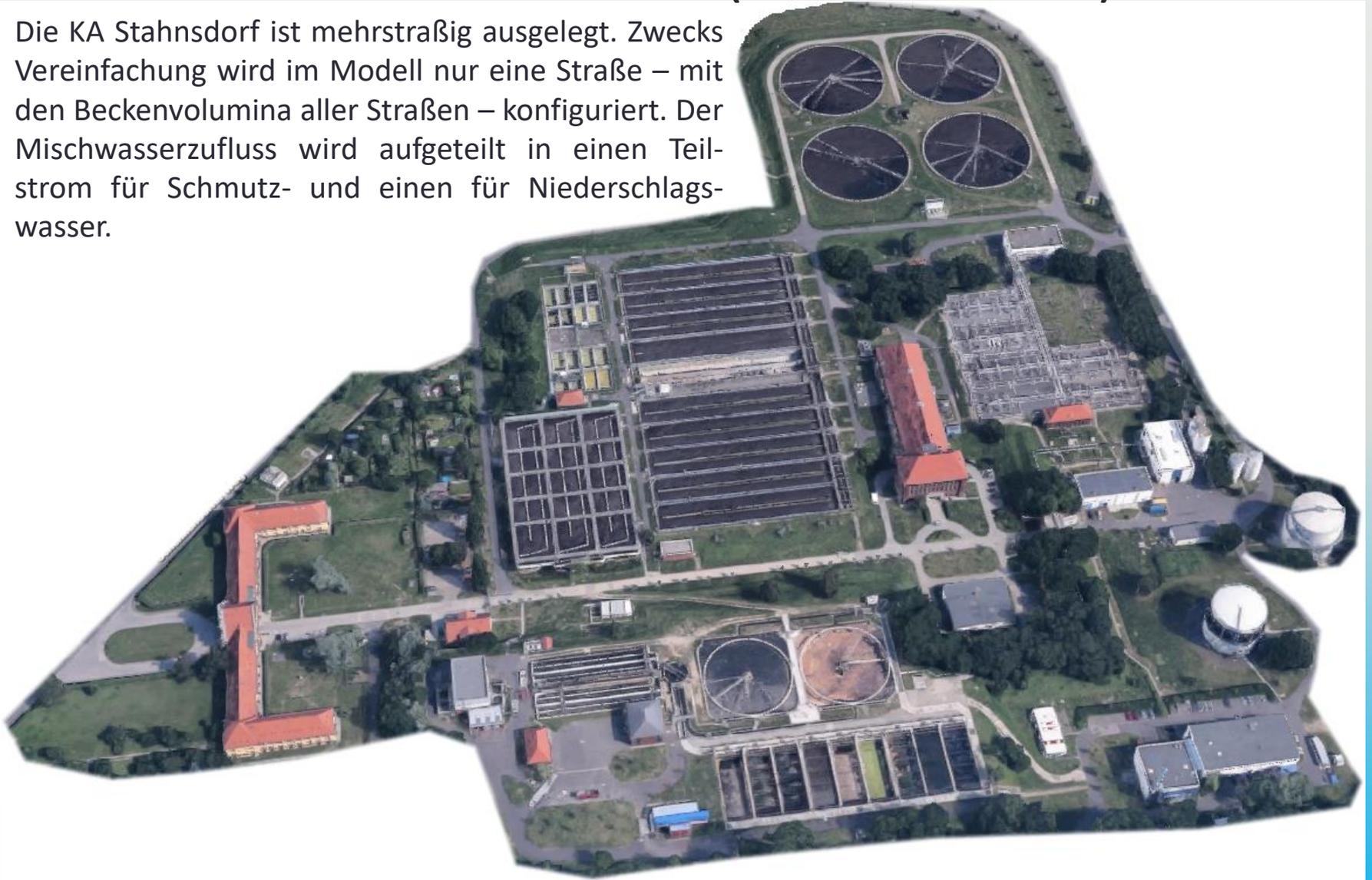


Modell  
KA Stahnsdorf #1

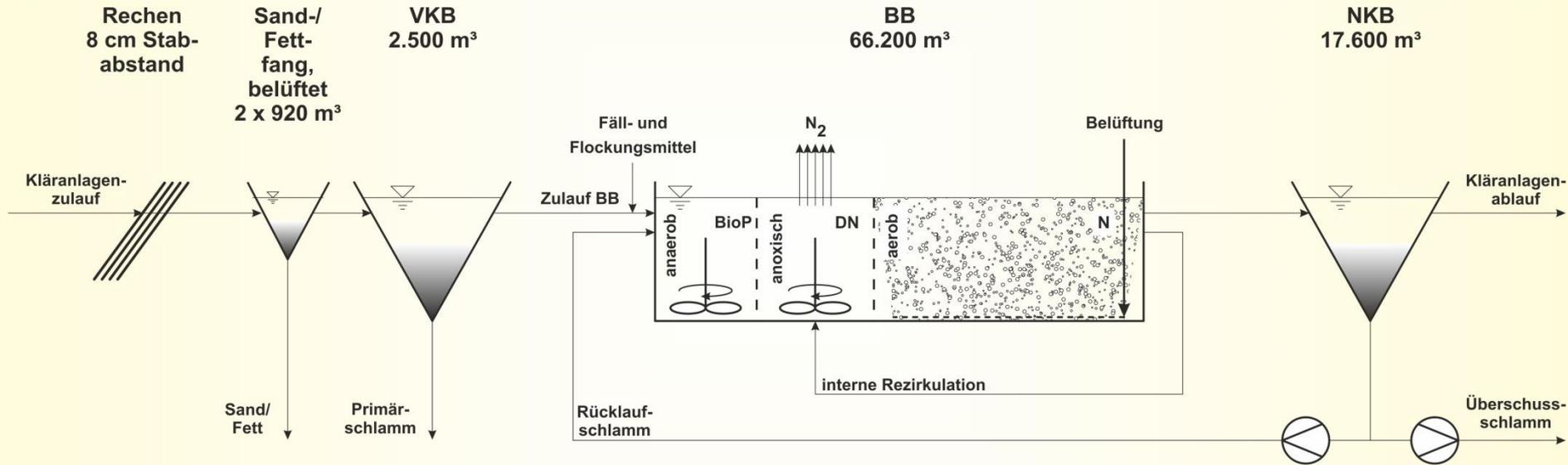


# KA Stahnsdorf #1 (Grundmodell)

Die KA Stahnsdorf ist mehrstraßig ausgelegt. Zwecks Vereinfachung wird im Modell nur eine Straße – mit den Beckenvolumina aller Straßen – konfiguriert. Der Mischwasserzufluss wird aufgeteilt in einen Teilstrom für Schmutz- und einen für Niederschlagswasser.



# Skizze KA Stahnsdorf, maßgebliche Beckenvolumina



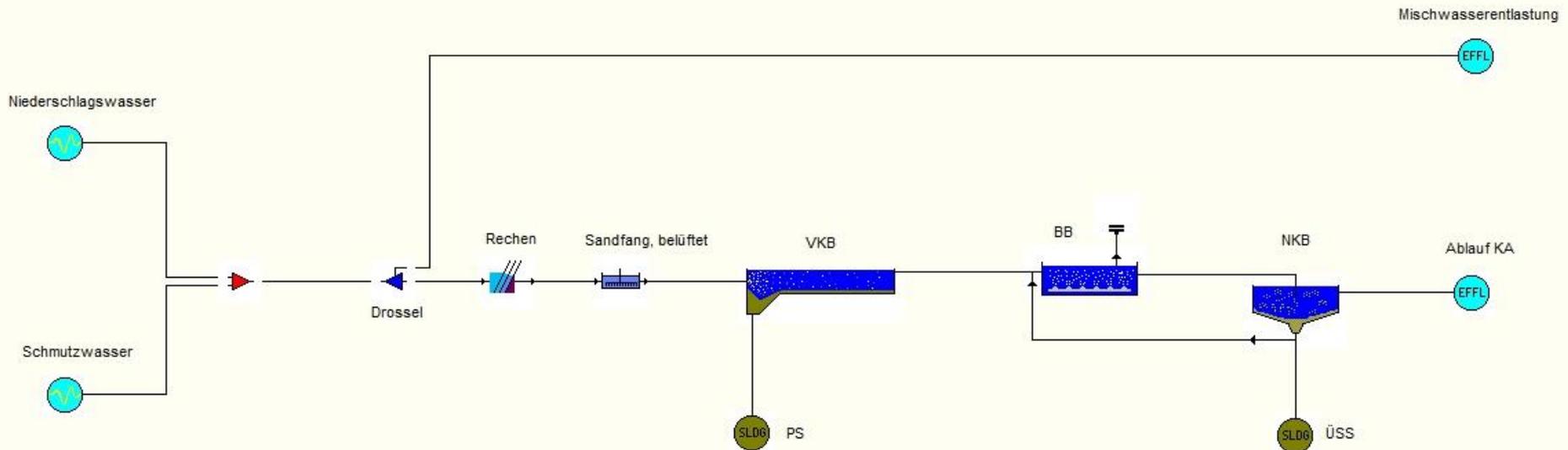
VKB optional	VKB	BB			NKV
		BioP	DN	N	
= 7.800 m <sup>3</sup>	= 2.500 m <sup>3</sup>	= 6.000 m <sup>3</sup>	= 23.000 m <sup>3</sup>	= 37.200 m <sup>3</sup>	= 17.600 m <sup>3</sup>
		= 66.200 m <sup>3</sup>			

# „Plan B“ für KA Stahnsdorf #1 (Grundmodell)

Laden Sie das Verzeichnis „STOAT-Dateien der Kläranlage Stahnsdorf“ für die heutige Lehrveranstaltung von Moodle herunter. Richten Sie unter STOAT die Datenbank

„KA Stahnsdorf #1.mdb“ (im Pfad „Runs“)

als neue Standarddatenbank ein und öffnen Sie das Modell „KA Stahnsdorf #1“ (wie unten abgebildet)!



# KA Stahnsdorf #1 - Rechen, Sandfang, VKB und BB

## Rechen

Edit screen : Page 1 of 1

Name:

Bar spacing (m):

## Sandfang

Edit Grit trap : Page 1 of 1

Name:

Volume (m3):

## VKB

Edit primary tank : Page 1 of 1

Name:

Model:

Number of stages:

Volume (m³):

Surface area (m²):

## BB

Edit activated sludge aeration tank : Page 1 of 1

Name:

Process model:

Volume (m³):

Number of stages:

Number of MLSS recycles:

Wastage method

- None
- Continuous rate
- Variable rate
- Variable time

Stage from which MLSS is wasted:

Stage in which MLSS is measured:

Das Modell #2D wird gewählt, weil wir – neben der Eliminierung von C und N auch die Eliminierung von P mittels BioP und Fällung simulieren wollen.

# KA Stahnsdorf #1 - NKB

NKB

Edit secondary sedimentation tank : Page 1 of 2

Name:

Model:

Number of vertical layers:

Surface area (m<sup>2</sup>):

Depth of tank (m):

Depth of feed (m):

RAS flow

Rate

Ratio

3910 m<sup>2</sup> x 4.5 m ≈ 17600 m<sup>3</sup>  
Der Zulauf zum NKB erfolgt  
üblicherweise in halber Höhe  
des Beckens.

Warum?

Im Zusammenspiel mit entsprechen-  
den Einstellungen auf Run-  
Ebene bewirkt dies, dass die Ent-  
nahme von ÜSS gesteuert wird  
nach dem TS-Gehalt in Stufe 3  
des BB (*MLSS bzw. TS<sub>BB</sub>*)!

NKB

Edit secondary sedimentation tank : Page 2 of 2

Wastage method:

Control aeration tank:

Control aeration stage:

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Einstellungen Vorbehandl.

Drossel Operation data:

$$Q_m = 1.800 \frac{l}{s} \\ = 6.510 m^3/h$$

(Bemessungszufluss bei Regenwetter: „1 + 2“)

		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Change 4
1	Change at time (h):	0.00	0.00			
2	Overflow (m <sup>3</sup> /h):	6510.00	0.00			

OK Cancel Reset Help

Mischwasserzuflüsse, die die hydraulische Kapazität der Kläranlage überschreiten, werden in diesem Modell – via Drossel – in das Gewässer abgeschlagen.

Sandfang Operation data:

		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Change 4
1	Change at (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Grit remove (g/l):	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00

OK Cancel Reset Help

Operation data VKB:

		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Change 4
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sludge solids (%):	5.00	0.01	0.01	0.01	0.01

OK Cancel Reset Help

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Einstellungen BB

Stage data BB:

Flow distribution data

		Stage 1	Stage 2	Stage 3
1	Volume fraction:	0.100	0.350	0.550
2	Feed distribution:	1.000	0.000	0.000
3	RAS distribution:	1.000	0.000	0.000
4	DO Control:	Fixed KLa	PI	PI
5	Minimum KLa (1/h):	0.00	0.00	1.00
6	KLa setting 1 (1/h):	7.00	7.00	7.00
7	KLa setting 2 (1/h):	4.00	4.00	4.00
8	Maximum KLa (1/h):	0.00	0.00	6.00
9	DO Setpoint (mg/l):	0.00	0.00	2.00
10	Nitrate on (mg/l):	0.00	0.00	5.00
11	Nitrate off (mg/l):	20.00	20.00	20.00
12	DO on (mg/l):	1.00	1.00	1.00
13	DO off (mg/l):	3.00	3.00	3.00
14	DO on 1 (mg/l):	1.00	1.00	1.00
15	DO on 2 (mg/l):	2.00	2.00	2.00
16	DO on 3 (mg/l):	3.00	3.00	3.00
17	Aeration on time (h):	0.80	0.80	0.80
18	Aeration cycle time (h):	1.00	1.00	1.00
19	DO Control stage:	1	2	3
20	Gain:	1.30	1.30	1.30
21	Integral time:	0.50	0.50	0.50

anaerob    
 anoxisch    
 aerob

BioP    
 DN    
 N

Einstellungen bewirken, dass diese Stufen des BB nicht belüftet werden.

Siehe folg. Folie!

Gewählt gemäß Angaben BWB

Berechnungen  $k_{La}$  in Excel-Tabelle

Siehe Folie 14!

Einstellungen bewirken, dass diese Stufe des BB belüftet wird.

Alle übrigen Werte werden auf den STOAT-Vorschlägen belassen.

# KA Stahnsdorf, Ü-Werte und maßgebliche Stufen BB

Überwachungswerte		
behördlicher Überwachungswert, CSB	$C_{CSB,ÜW}$	68 mg/l
behördlicher Überwachungswert, $N_{anorg.}$	$S_{anorgN,ÜW}$	13 mg/l
behördlicher Überwachungswert, $P_{ges.}$	$C_{P,ÜW}$	1,0 mg/l

## BB:

	BB		
	BioP	DN	N
Volumen	6000 m <sup>3</sup>	23000 m <sup>3</sup>	37200 m <sup>3</sup>
Anteil	9.1%	34.7%	56.2%
	gewählt: <b>10%</b>	gewählt: <b>35%</b>	gewählt: <b>55%</b>
Volumen gesamt	= 66200 m <sup>3</sup>		

# Belüftung und Belüftungskoeffizient $k_L a$

Sauerstoffkonzentration im BB:

$$c_t = c_S - (c_S - c_0) * e^{-k_L a * t}$$

nach DROSTE, 1997  
und DWA-M 209

Wobei

- $c_t$  Gelöstsauerstoffkonzentration zum Zeitpunkt  $t$
- $c_S$  Sättigungskonzentration des im Wasser gelösten Sauerstoffs
- $c_0$  Gelöstsauerstoffkonzentration zum Zeitpunkt  $t = 0$
- $k_L a$  Belüftungskoeffizient / Sauerstoffübergangskoeffizient
- $t$  Abgelaufene Zeit in Minuten

# Belüftungskoeffizient $k_L a$

Nebenrechnung zur Ermittlung des Belüftungskoeffizienten  $k_L a$ :

erforderliche Sauerstoffzufuhr (*erf.  $\alpha OC$* ) = 1920 kg  $O_2/h$

mit  $\alpha = 0,7$  ergibt sich *erf.  $OC$*

**$\approx 2700 \text{ kg } O_2/h$**

Min. $k_L a$	Minimum energy input required	aerator efficiency	max. Temperature	$C_{\text{Oxygen Saturation}}$	$C_{\text{Oxygen}}$	Min $k_L a$
	W/m <sup>3</sup>	kg O <sub>2</sub> /kWh	°C	mg/l	mg/l	1/h
$\text{Min. } k_{La} = \frac{\text{Minimum energy required} * \text{Aerator efficiency}}{C_{\text{Oxygen saturation}} - C_{\text{Oxygen}}}$	3,0 W/m <sup>3</sup>	2,0 kg O <sub>2</sub> /kWh	20,0°C	9,1 mg O <sub>2</sub> /l	2,0 mg O <sub>2</sub> /l	0,8/h

Max. $k_L a$	Max. Oxygen uptake	Maximum oxygen supplied	Volume of the tank	max. Temperature	$C_{\text{Oxygen Saturation}}$	Max $k_L a$	
	%	kg/h	m <sup>3</sup>	°C	mg/l	1/h	
$\text{Max. } k_{La} = \frac{\text{Maximum oxygen supplied} * 1000}{\text{Volume of the tank} * C_{\text{Oxygen saturation}}}$	Berechnung von $C_{\text{Oxygen}}$ nach PÖPEL, 1985:	30%	2700 kg O <sub>2</sub> /h	66.200 m <sup>3</sup>	20,0°C	9,1 mg O <sub>2</sub> /l	5,7/h
	Berechnung von $C_{\text{Oxygen}}$ nach APHA, 1995:	30%	2700 kg O <sub>2</sub> /h	66.200 m <sup>3</sup>	20,0°C	9,1 mg O <sub>2</sub> /l	5,8/h

Formeln für *Min.  $k_L a$*  und *Max.  $k_L a$*  gemäß STOAT Handbüchern

gewählt: ***Min.  $k_L a = 1,0$***   
***Max.  $k_L a = 6,0$***

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 – Einstellungen BB

MLSS recycle data BB:

MLSS recycle data

		Recycle 1
1	Stage from where MLSS recycle leaves:	3
2	Stage to which MLSS recycle goes:	2
3	MLSS recycle flowrate (m <sup>3</sup> /h):	5000.000

OK Cancel Reset Help

Einstellung bewirkt, dass die interne Rezirkulation von Stufe 3 (N) zu Stufe 2 (DN) des BB erfolgt.

Operation data BB:

Operation data

		Initial
1	Change at time (h):	0.00
2	MLSS set point (mg/l):	3000.00
3	Max. wastage flowrate (m <sup>3</sup> /h):	0.00
4	Max. pumping time per wastage event (h):	24.00
5	Period between wastage events (h):	24.00
6	Metal salt dosing tank:	1
7	Metal salt concentration (mg/l):	20000.00
8	Metal salt flowrate (m <sup>3</sup> /h):	0.50

Volumenstrom der internen Rezirkulation gemäß Bilanzberechnung (siehe folg. Folie)

<b>P-Fällung</b>	120.0 kg Fe/d	mit $\beta \approx 2$			
	240.0 kg Fe/d	= <b>10.0 kg Fe/h</b>	= 0.10 m <sup>3</sup> /h	mit	100,000 mg Fe/l
			oder	= 0.05 m <sup>3</sup> /h	mit 200,000 mg Fe/l
			oder	= <b>0.50 m<sup>3</sup>/h</b>	mit <b>20,000 mg Fe/l</b> (gewählt)
			oder	= 1.25 m <sup>3</sup> /h	mit 8,000 mg Fe/l

# Volumenstrombilanz KA Stahnsdorf für $Q_t$

(Trockenwetterfall)

$$Q_{ZB} = Q_t = 2.167 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$RF = 3$$

$$RV = 0,7$$

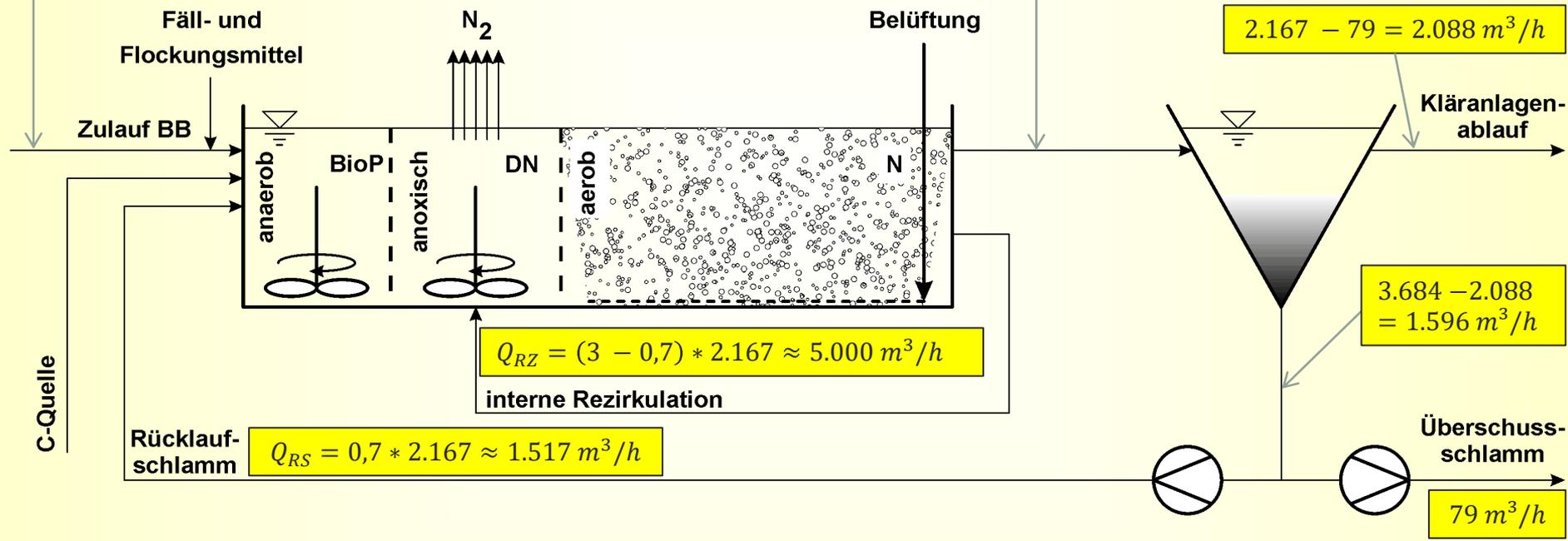
$$Q_{\text{ÜS,d}} = 1.900 \text{ m}^3/\text{d} \approx 79 \text{ m}^3/\text{h}$$

**BB**  
66.200 m<sup>3</sup>

$$2.167 + 1.517 = 3.684 \text{ m}^3/\text{h}$$

**NKB**  
17.600 m<sup>3</sup>

$$2.167 \text{ m}^3/\text{h}$$



$$RF = \frac{Q_{RS} + Q_{RZ}}{Q_{ZB}}$$

$$Q_{RS} = RV * Q_{ZB}$$

$$Q_{RZ} = (RF - RV) * Q_{ZB}$$

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 – Einstellungen NKB

Operation data NKB:

Operation data		
		Initial
1	Change at time (h):	0.00
2	RAS flow (m <sup>3</sup> /h):	0.00
3	RAS ratio:	0.70
4	Sludge wastage flow (m <sup>3</sup> /h):	100.00
5	Wastage pump run time (h):	24.00
6	Wastage cycle time (h):	24.00
7	MLSS set-point (mg/l):	3300.00

RAS ratio (Rücklaufverhältnis) = 0,7

Sludge wastage flow (Überschuss-schlammentnahme) = 79 m<sup>3</sup>/h i. M.  
Eintrag hier ist Maximalwert, deshalb gewählt max. ÜSS = 100 m<sup>3</sup>/h

MLSS set-point ( $TS_{BB}$ ) = 3.300 mg/l

Im Zusammenspiel mit der Einstellung des NKB auf Works-Ebene bewirkt die oben gewählte Einstellung, dass genau so viel ÜSS entnommen wird, dass sich in Stufe 3 des BB eine Feststoffkonzentration von 3.300 mg/l einstellt und erhalten bleibt.

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 – Einstellungen NKB

Initial data NKB:

	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6	Stage7	Stage8
1	15	15	15	15	15	15	15	15
2								
3								
4								
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	200	500	2000
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	10	200	500
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	10	25	50
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	10	50	100
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	50	100	1000
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	50	100	500
24	0	0	0	0	0	0	0	0

$$\text{Volatile solids} \geq \sum \text{viable heterotrops} + \text{viable autotrops} + \text{BioP} - \text{organisms}$$

erforderlich für Initialisierung N

erforderlich für Initialisierung DN

erforderlich für Initialisierung BioP

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Einstellungen NKB

Initial data NKB:

Initial data

		Stage1	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5	Stage6	Stage7	Stage8
1	Temperature:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	BOD of volatile fatty acids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Soluble BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Soluble inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Particulate BOD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Particulate inert COD (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Volatile solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	500.00	1000.00	2500.00
8	Non-volatile solids (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Ammonia (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Nitrate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Soluble organic nitrogen (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Particulate organic N (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Phosphate (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Dissolved oxygen (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	PolyP in viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	50.00	100.00
16	PolyP in non-viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	PHB in viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	25.00	50.00
18	PHB in non-viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	Viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	50.00	100.00
20	Non-viable autotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	500.00	1000.00
22	Non-viable heterotrophs (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	250.00	500.00
24	Non-viable P removers (mg/l):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

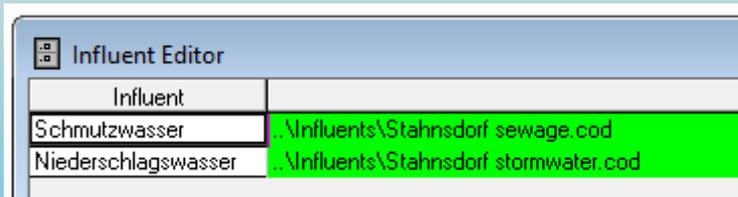
OK Cancel Reset Help

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Zulaufdateien

Aus didaktischen Gründen wurde der Mischwasserzulauf zur KA Stahnsdorf im Modell aufgeteilt in einen Schmutzwasserzulauf und einen Regenwetterzulauf. Somit entsteht im Modell der tatsächlich vorhandene Mischwasserzulauf hinter dem *Mixer*, der beide Teilströme rechnerisch zusammenführt.

Die Inputdateien für diese beiden Zuläufe beruhen nicht auf Originaldaten der KA Stahnsdorf, sondern auf Daten eines anderen Klärwerks. Diese wurden entsprechend der angeschlossenen Einwohner proportional umgerechnet.

Zulaufdateien:



Influent	
Schmutzwasser	.\\Influents\Stahnsdorf sewage.cod
Niederschlagswasser	.\\Influents\Stahnsdorf stormwater.cod

(STOAT Menü → Edit → Influxents)

# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Zulaufdateien

Stahnsdorf\_cod.xlsx - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	Elapsed time (h)	Flow (m³/h)	Temperature (deg. C)	Volatille fatty acids (mg COD/l)	Soluble biodegradable COD (mg/l)	Soluble nondegradable COD (mg/l)	Particulate biodegradable COD (mg/l)	Particulate nondegradable COD (mg/l)	Volatle solids (mg/l)	Non-volatile solids (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrates (mg/l)	Soluble org. nitrogen (mg/l)	Particulate org. nitrogen (mg/l)	Soluble phosphate (mg/l)	Dissolved oxygen (mg/l)	Sol. non-deg. org. N (mg N/l)	Part. non-deg. org. N (mg N/l)	Particulate degradable org. P (mg P/l)	Particulate nondegradable org. P (mg P/l)	Soluble degradable org. P (mg P/l)	Soluble nondegradable org. P (mg P/l)	Rest
1	0	1397.6	11.9	5	262	30	160	53	213	36	38.6	0	9.7	9.7	7.7	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1373.5	11.93	5	262	30	160	53	213	36	37.4	0	9.4	9.4	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1399.3	12	5	262	30	160	53	213	36	38.1	0	9.6	9.6	8.6	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	1370.1	12.05	5	262	30	160	53	213	36	37.2	0	9.3	9.3	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	1351.7	12.07	5	262	30	160	53	213	36	37.6	0	9.4	9.4	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	1344.6	12.04	5	262	30	160	53	213	36	38.1	0	9.6	9.6	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	1366.7	12.11	5	262	30	160	53	213	36	38.7	0	9.7	9.7	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0
8	7	1399.2	12.19	5	262	30	160	53	213	36	38.7	0	9.7	9.7	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	8	1163.5	12.14	5	262	30	160	53	213	36	39.4	0	9.9	9.9	10.8	0	0	0	0	0	0	0	0
10	9	1434.7	12.17	5	262	30	160	53	213	36	39.4	0	9.9	9.9	5.3	0	0	0	0	0	0	0	0
11	10	1410.8	12.21	5	262	30	160	53	213	36	39.3	0	9.9	9.9	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0
12	11	1358.4	12.23	5	262	30	160	53	213	36	39.2	0	9.9	9.9	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0
13	12	1384.2	12.37	5	262	30	160	53	213	36	38.7	0	9.7	9.7	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0
14	13	1394.3	12.49	5	262	30	160	53	213	36	39.3	0	9.9	9.9	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0
15	14	1394.1	12.48	5	262	30	160	53	213	36	39.9	0	10	10	5.8	0	0	0	0	0	0	0	0
16	15	1419.0	12.53	5	262	30	160	53	213	36	41.2	0	10.3	10.3	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
17	16	1357.3	12.52	5	262	30	160	53	213	36	42.1	0	10.6	10.6	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	1410.7	12.49	5	262	30	160	53	213	36	43.5	0	10.9	10.9	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
19	18	1396.8	12.62	5	262	30	160	53	213	36	43.4	0	10.9	10.9	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
20	19	1409.5	12.82	5	262	30	160	53	213	36	45.2	0	11.3	11.3	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0
21	20	1387.2	12.79	5	262	30	160	53	213	36	44.9	0	11.2	11.2	6.4	0	0	0	0	0	0	0	0
22	21	1339.1	12.97	5	262	30	160	53	213	36	45.6	0	11.5	11.5	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0
23	22	1395.7	13.09	5	262	30	160	53	213	36	43.3	0	10.9	10.9	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0
24	23	1402.6	13.04	5	262	30	160	53	213	36	44.2	0	11	11	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0
25	24	1393.1	13.02	5	287	34	178	60	238	41	42.2	0	10.6	10.6	10.4	0	0	0	0	0	0	0	0
26	25	1419.0	13.03	5	287	34	178	60	238	41	43.6	0	10.9	10.9	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0
27	26	1378.4	13.07	5	287	34	178	60	238	41	42.7	0	10.7	10.7	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0
28	27	1136.2	13.48	5	287	34	178	60	238	41	43.3	0	10.9	10.9	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0
29	28	1144.5	13.7	5	287	34	178	60	238	41	40.8	0	10.1	10.1	9.3	0	0	0	0	0	0	0	0
30	29	1128.1	13.83	5	287	34	178	60	238	41	41.1	0	10.3	10.3	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0
31	30	946.4	14.08	5	287	34	178	60	238	41	39.9	0	10	10	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0
32	31	838.6	14.75	5	287	34	178	60	238	41	38.6	0	9.7	9.7	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0
33	32	894.8	15.13	5	287	34	178	60	238	41	36.9	0	9.3	9.3	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0
34	33	1127.3	14.92	5	287	34	178	60	238	41	35.9	0	9	9	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0
35	34	1132.0	14.65	5	287	34	178	60	238	41	35.6	0	9	9	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0
36	35	1175.6	14.46	5	287	34	178	60	238	41	35.4	0	8.8	8.8	6.9	0	0	0	0	0	0	0	0
37	36	1124.7	14.31	5	287	34	178	60	238	41	36.9	0	9.3	9.3	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0
38	37	1083.0	14.3	5	287	34	178	60	238	41	37.2	0	9.3	9.3	7.4	0	0	0	0	0	0	0	0
39	38	1085.2	14.25	5	287	34	178	60	238	41	38.6	0	9.7	9.7	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0
40	39	1090.6	14.28	5	287	34	178	60	238	41	39.2	0	9.9	9.9	8.3	0	0	0	0	0	0	0	0
41	40	1119.5	14.26	5	287	34	178	60	238	41	40.5	0	10.1	10.1	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0
42	41	1095.4	14.29	5	287	34	178	60	238	41	40.5	0	10.1	10.1	9.7	0	0	0	0	0	0	0	0
43	42	1100.8	14.42	5	287	34	178	60	238	41	41.9	0	10.4	10.4	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0
44	43	1069.9	14.44	5	287	34	178	60	238	41	43.1	0	10.6	10.6	8.8	0	0	0	0	0	0	0	0

Excel-Datei für Schmutzwasser

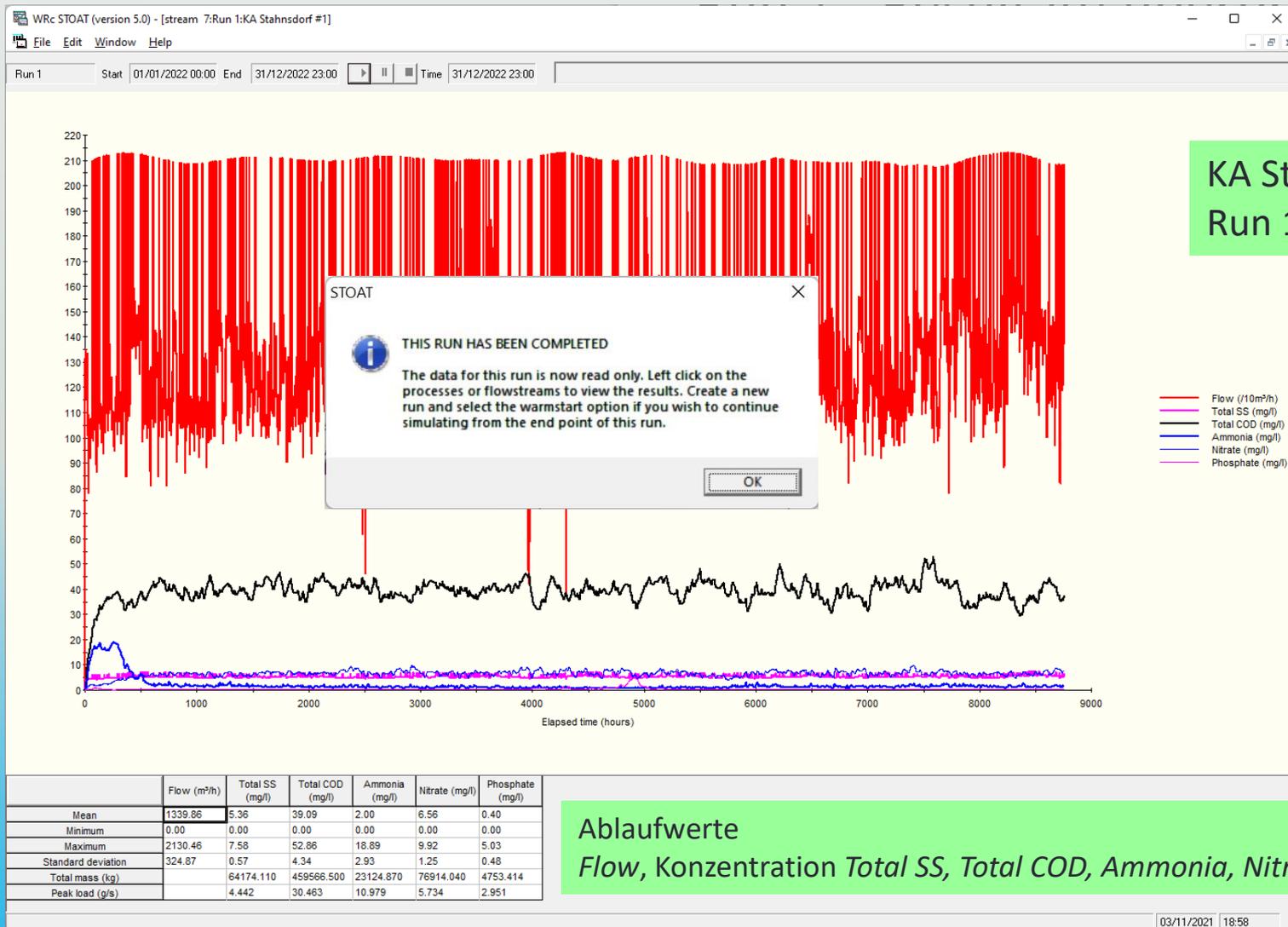
# KA Stahnsdorf #1, Run 1 - Zulaufdateien

Stahnsdorf\_cod.xlsx - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
	Elapsed time (h)	Flow (m³/h)	Temperature (deg. C)	Volatile fatty acids (mg COD/l)	Soluble biodegradable COD (mg/l)	Soluble nondegradable COD (mg/l)	Particulate biodegradable COD (mg/l)	Particulate nondegradable COD (mg/l)	Volatile solids (mg/l)	Non-volatile solids (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrates (mg/l)	Soluble org. nitrogen (mg/l)	Particulate org. nitrogen (mg/l)	Soluble phosphate (mg/l)	Dissolved oxygen (mg/l)	Sol. non-deg. org. N (mg N/l)	Part. non-deg. org. N (mg N/l)	Particulate degradable org. P (mg P/l)	Particulate nondegradable org. P (mg P/l)	Soluble degradable org. P (mg P/l)	Soluble nondegradable org. P (mg P/l)	
1																							
2	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	2	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	4	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	6	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	7	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	9	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	10	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	11	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	12	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	13	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	14	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	15	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	16	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	17	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	18	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	19	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	20	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	21	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	22	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	23	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	24	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	25	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	26	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	27	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	28	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	29	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	30	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	31	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	32	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	33	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	34	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	35	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	36	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	37	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	38	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	39	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	40	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	41	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	42	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	43	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Excel-Datei für Niederschlagswasser

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



KA Stahnsdorf #1  
Run 1

Ablaufwerte  
Flow, Konzentration Total SS, Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

## Prozess, Reaktor

## Prüfkriterien

Feststoffkreislauf, BB + NKB:

Ablaufwerte der *Total Suspended Solids*, Konzentration der Feststoffe im BB (*MLSS*), Überschussschlamm-entnahme (*WAS*), Rücklaufschlammförderung (*RAS*)

Eliminierung Organika, BB:

Ablaufwerte *BOD/COD*, Heterotrophe im BB

Nitrifikation, BB:

Ablaufwerte *Ammonia*, Autotrophe im BB

Denitrifikation, BB:

Ablaufwerte *Nitrate*

Phosphatelimierung, BB:

Ablaufwerte *Phosphate*, BioP – Phosphorakkumulierende Mikroorganismen (*PAO's*) im BB

# Zulauf- und Ablaufwerte der KA Stahnsdorf

Parameter	Zulaufmengen	Resultierende Zulaufkonzentration bei 52 000 m <sup>3</sup> /d	Ablaufwerte (gerundet)	Eliminierung
BSB	22,80 t/d	438 mg/l	5 mg/l	98,9%
CSB	54,68 t/d	1052 mg/l	41 mg/l	96,1%
TKN	4,70 t/d	90 mg/l		
NH <sub>4</sub> -N	3,42 t/d	66 mg/l	0,2 mg/l	99,7%
TIN	3,42 t/d	66 mg/l	11,3 mg/l	82,9%
P gesamt	0,60 t/d	12 mg/l	0,6 mg/l	95,0%
AFS	23,90 t/d	460 mg/l	7 mg/l	98,5%

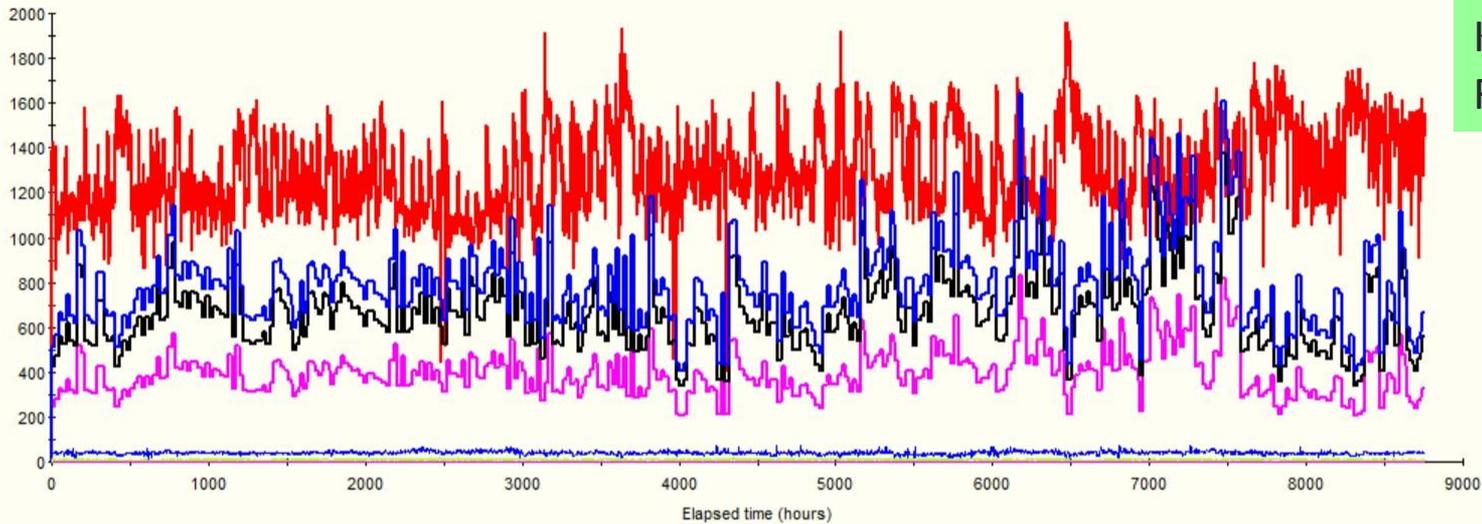
(nach Angaben der BWB)

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

WRc STOAT (version 5.0) - [stream 13:Run 1:KA Stahnsdorf #1]

File Edit Window Help

Run 1 Start 01/01/2022 00:00 End 31/12/2022 23:00 Time 01/01/2022 00:00



KA Stahnsdorf #1  
Run 1

- Flow (m³/h)
- Total SS (mg/l)
- Biodegradable COD (mg/l)
- Total COD (mg/l)
- Ammonia (mg/l)
- Nitrate (mg/l)
- Phosphate (mg/l)

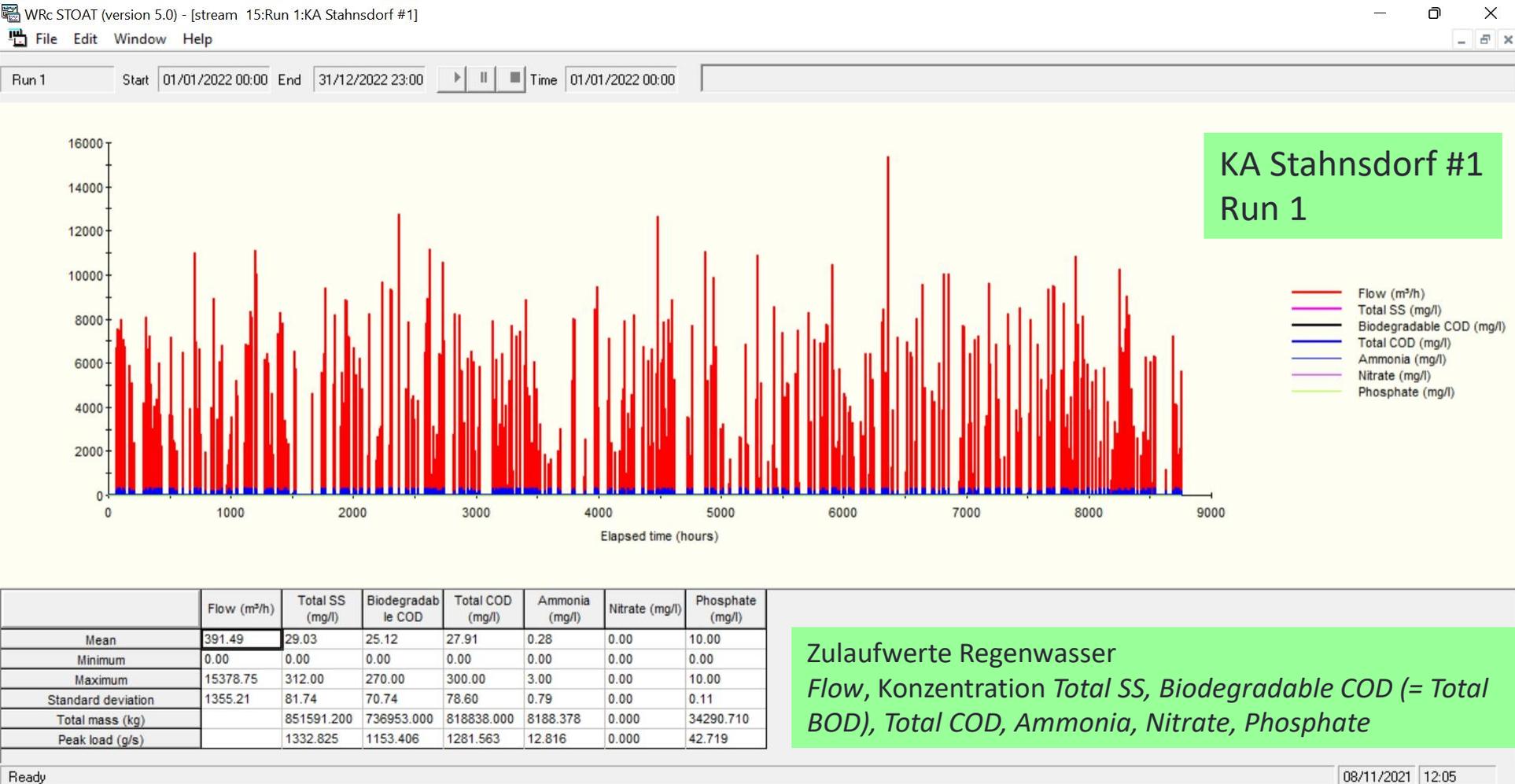
	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Biodegradable COD	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)
Mean	1299.79	395.07	669.95	793.71	40.71	0.00	9.82
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	1958.28	829.00	1399.00	1639.00	72.80	0.00	17.78
Standard deviation	183.06	101.78	171.77	196.14	6.90	0.00	2.31
Total mass (kg)		4481788.000	7600129.000	9004656.000	460467.500	0.000	111580.100
Peak load (g/s)		382.319	645.192	755.875	29.660	0.000	7.699

Zulaufwerte Schmutzwasser  
Flow, Konzentration Total SS, Biodegradable COD (= Total BOD), Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate

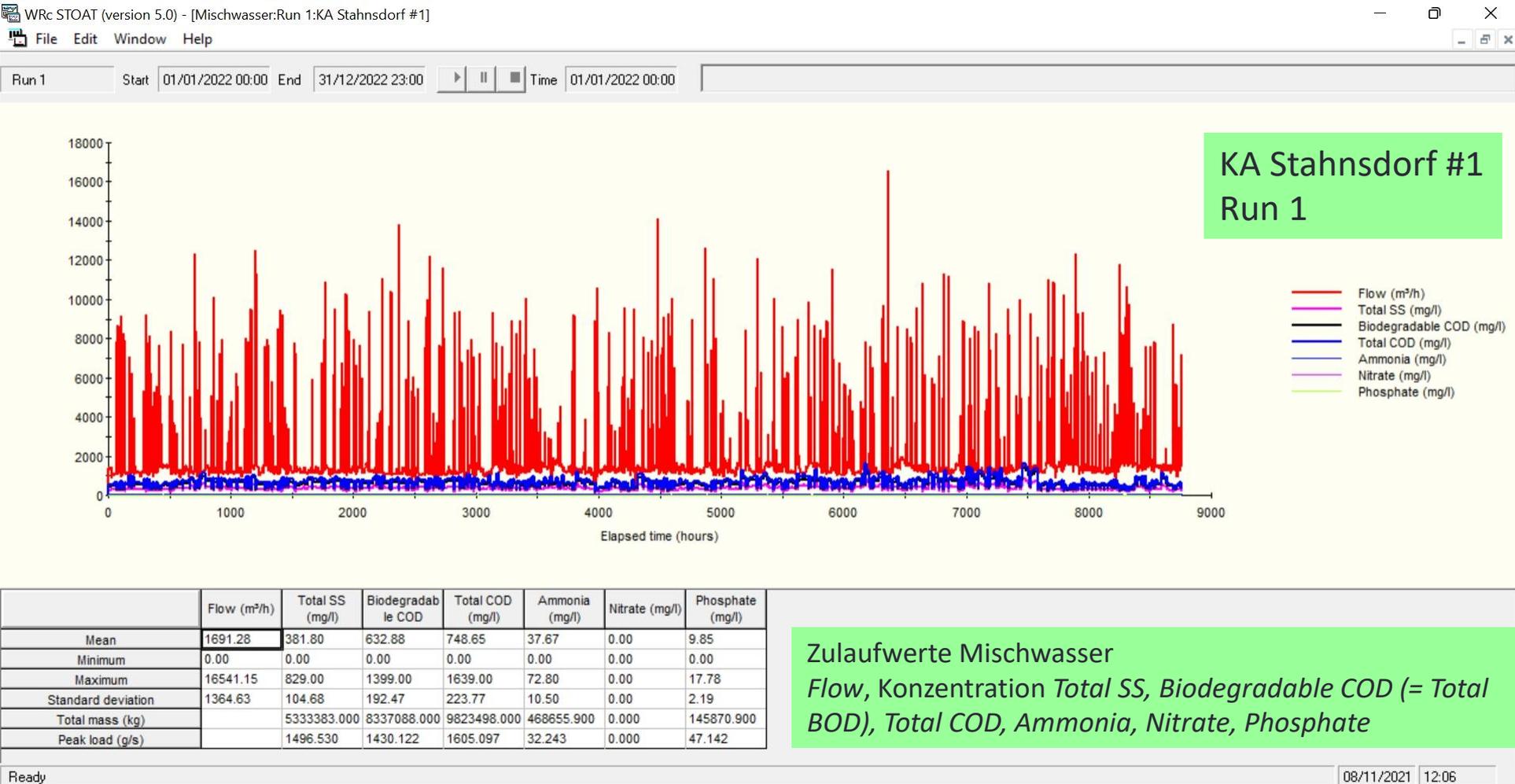
Ready

08/11/2021 12:03

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

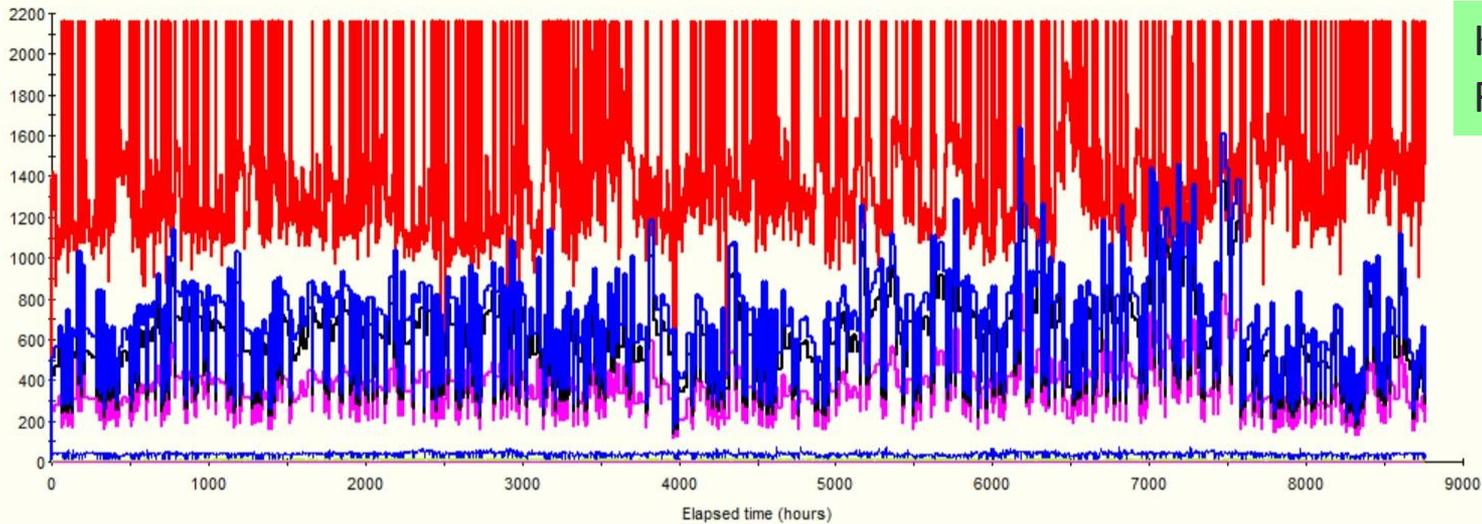


# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

WRC STOAT (version 5.0) - [stream 11:Run 1:KA Stahnsdorf #1]

File Edit Window Help

Run 1 Start 01/01/2022 00:00 End 31/12/2022 23:00 Time 01/01/2022 00:00



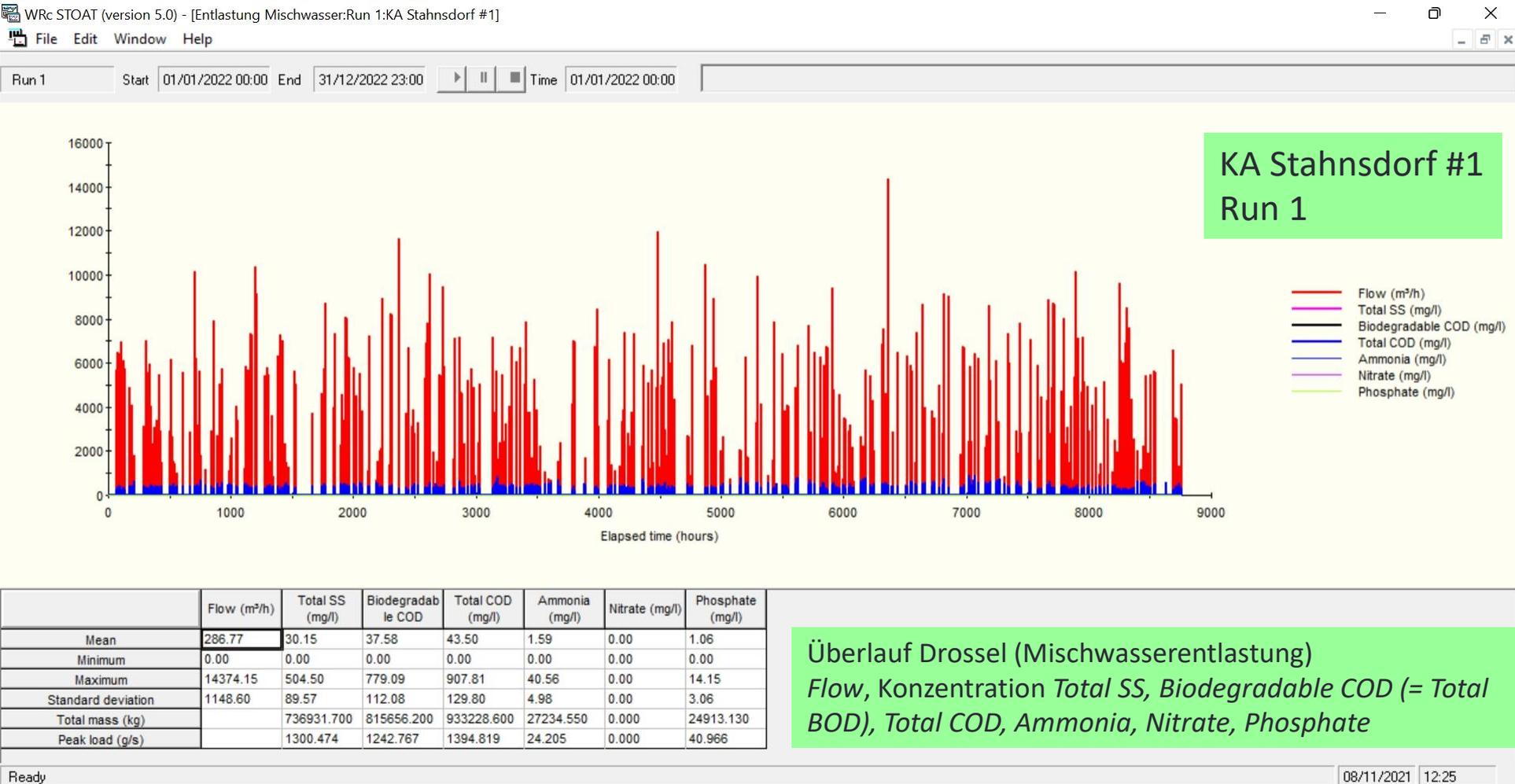
KA Stahnsdorf #1  
Run 1

- Flow (m³/h)
- Total SS (mg/l)
- Biodegradable COD (mg/l)
- Total COD (mg/l)
- Ammonia (mg/l)
- Nitrate (mg/l)
- Phosphate (mg/l)

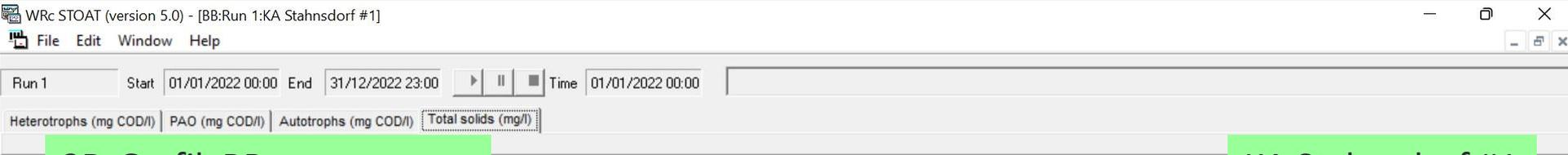
	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)	Biodegradable COD (mg/l)	Total COD (mg/l)	Ammonia (mg/l)	Nitrate (mg/l)	Phosphate (mg/l)
Mean	1404.52	381.80	632.88	748.65	37.67	0.00	9.85
Minimum	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Maximum	2167.00	829.00	1399.00	1639.00	72.80	0.00	17.78
Standard deviation	324.90	104.68	192.47	223.77	10.50	0.00	2.19
Total mass (kg)		4596449.000	7521428.000	8890266.000	441421.700	0.000	120957.700
Peak load (g/s)		382.319	645.192	755.875	25.884	0.000	8.519

Ablauf Drossel zur KA  
*Flow, Konzentration Total SS, Biodegradable COD (= Total BOD), Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

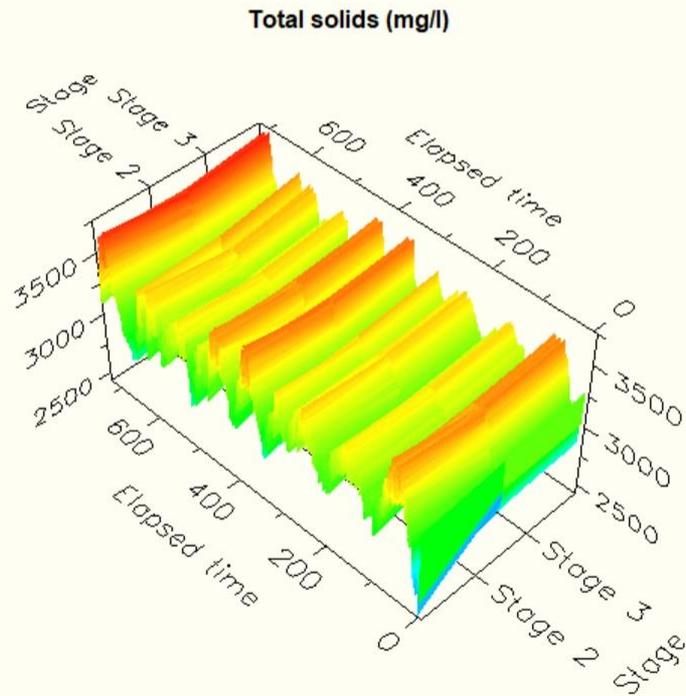


# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



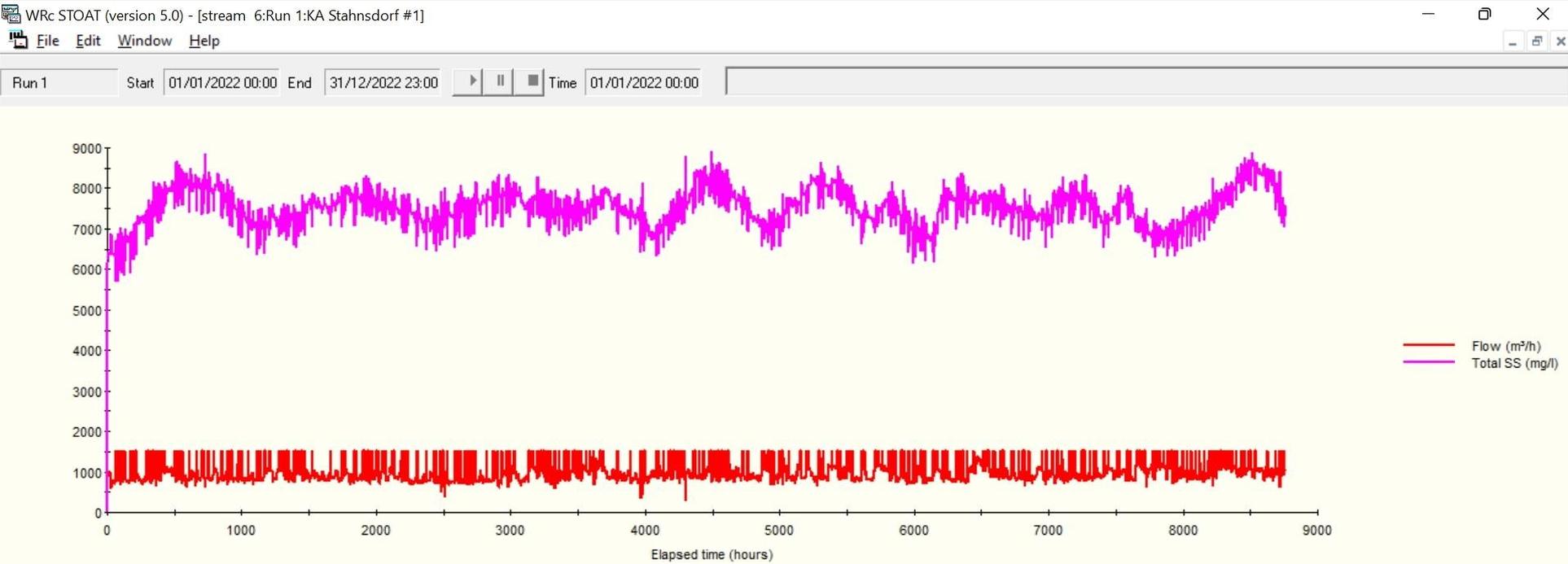
3D-Grafik BB  
Konzentration *Total solids*

KA Stahnsdorf #1  
Run 1



Mausklick rechts auf BB → *Results...* → *Total solids (mg/l)* → Graph only

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)
Mean	981.58	7552.82
Minimum	0.00	0.00
Maximum	1516.50	8908.49
Standard deviation	227.45	450.81
Total mass (kg)		64712540.00
Peak load (g/s)		3644.070

Rücklaufschlamm (RAS)  
Flow, Konzentration Total SS

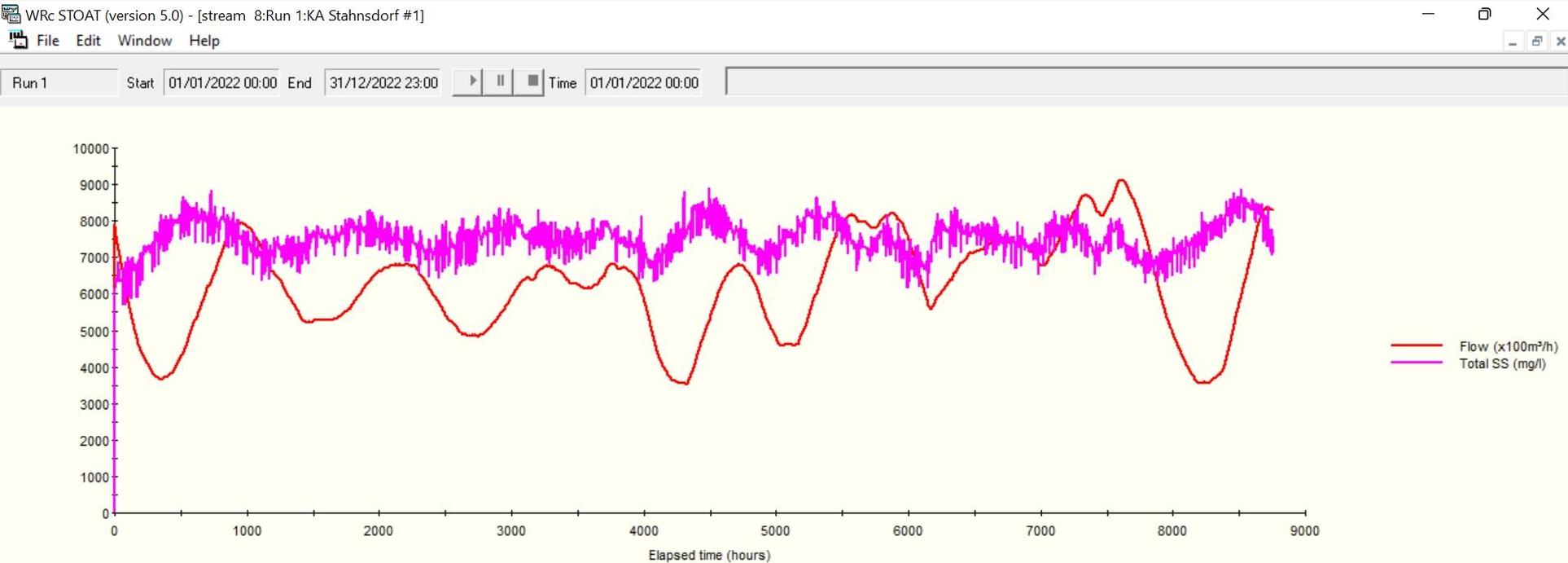
KA Stahnsdorf #1  
Run 1

Ready

07/11/2021 12:01

Mausklick rechts auf Rücklaufschlamm (vom NKB zum BB) → Results... → Flow (m³/h) + Total SS (mg/l) → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: x1

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



	Flow (m³/h)	Total SS (mg/l)
Mean	62.39	7552.82
Minimum	0.00	0.00
Maximum	91.13	8908.49
Standard deviation	13.48	450.81
Total mass (kg)		4123972.000
Peak load (g/s)		203.961

Überschussschlamm (WAS)  
Flow, Konzentration Total SS

KA Stahnsdorf #1  
Run 1

Ready

07/11/2021 12:06

Mausklick rechts auf ÜSS → Results → Flow (m³/h) + Total SS (mg/l) → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: x100

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Zusammenfassende Statistik BB

Konzentration *Heterotrophs*, *Autotrophs*, *PAO's*, *Total solids*

KA Stahnsdorf #1

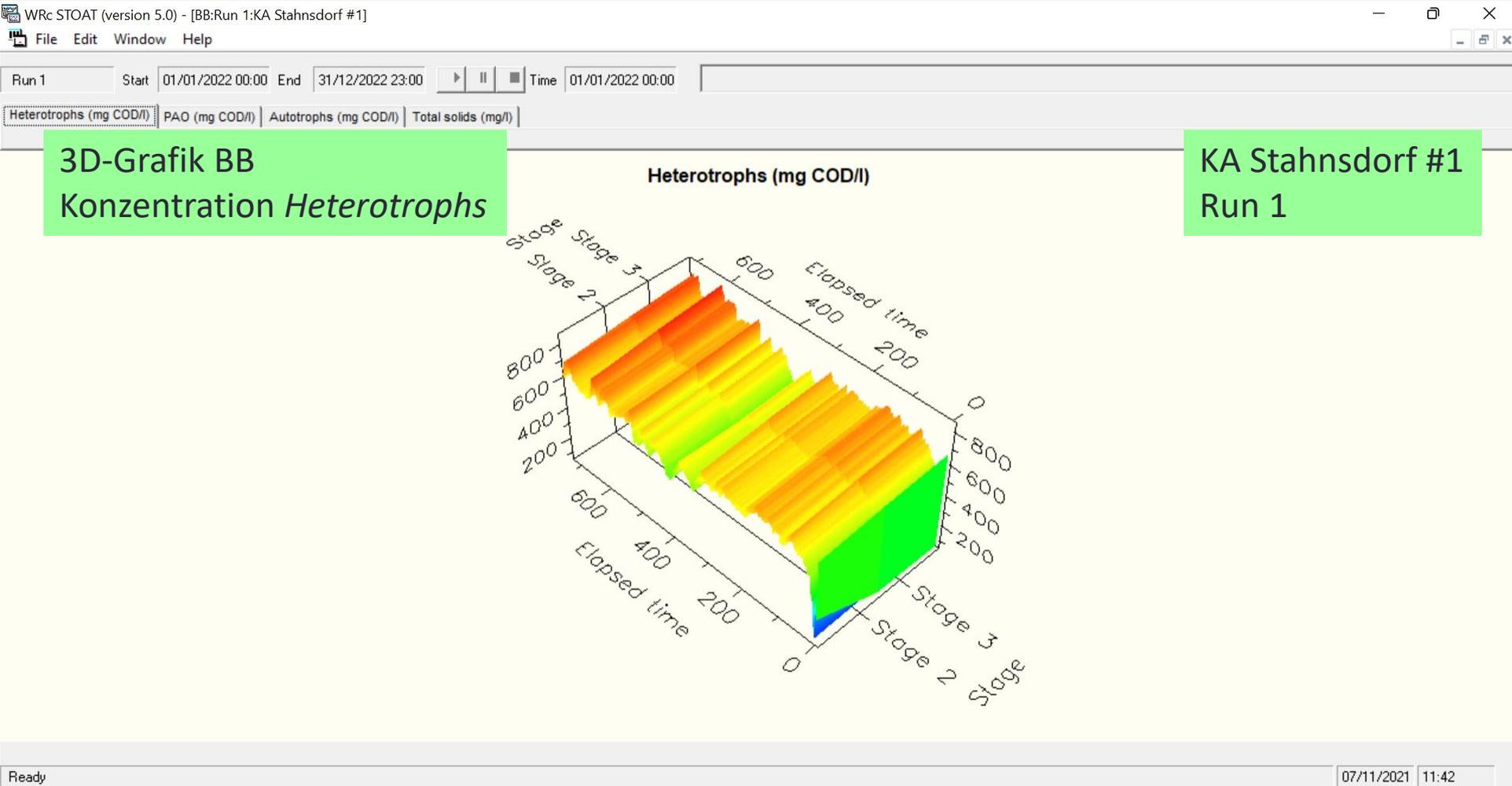
Run 1

BB:Run 1:KA Stahnsdorf #1

	Stage	Heterotrophs (mg COD/l)	PAO (mg COD/l)	Autotrophs (mg COD/l)	Total solids (mg/l)
Mean	1	588.5	475.2	32.8	3203.8
	2	615.3	495.6	34.1	3245.0
	3	635.1	513.4	35.3	3300.2
Minimum	1	93.6	29.6	5.4	2430.0
	2	60.6	11.3	2.2	2756.8
	3	50.3	5.5	1.1	2803.1
Maximum	1	736.3	677.3	44.7	3713.1
	2	773.7	712.5	45.1	3643.7
	3	809.3	749.3	46.1	3708.4

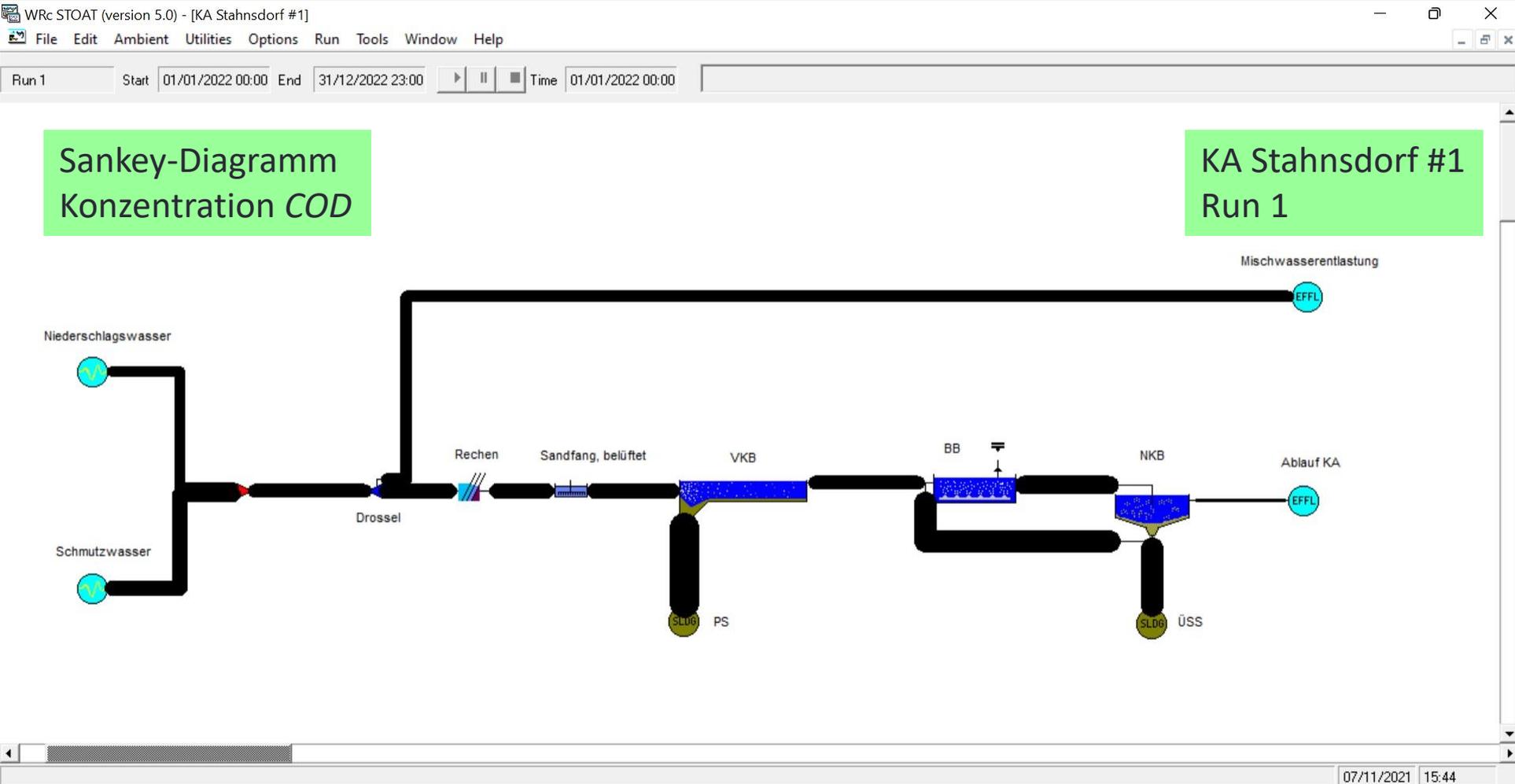
Mausklick rechts auf BB → *Results...* → *Heterotrophs (mg COD/l)* + PAO + *Autotrophs* + *Total solids* → Summary Statistics only

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



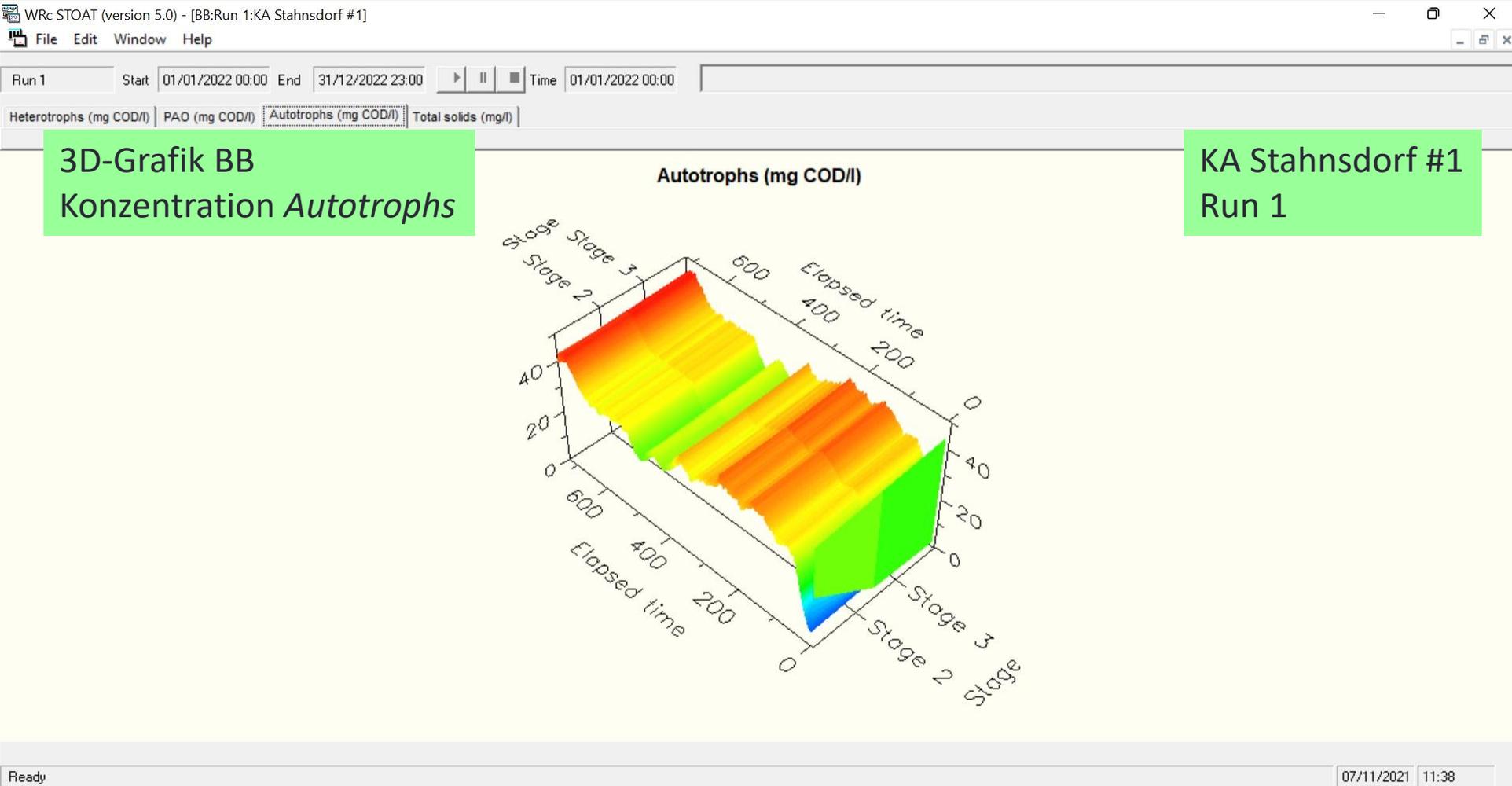
Mausklick rechts auf BB → *Results...* → *Heterotrophs (mg COD/l)* → Graph only

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



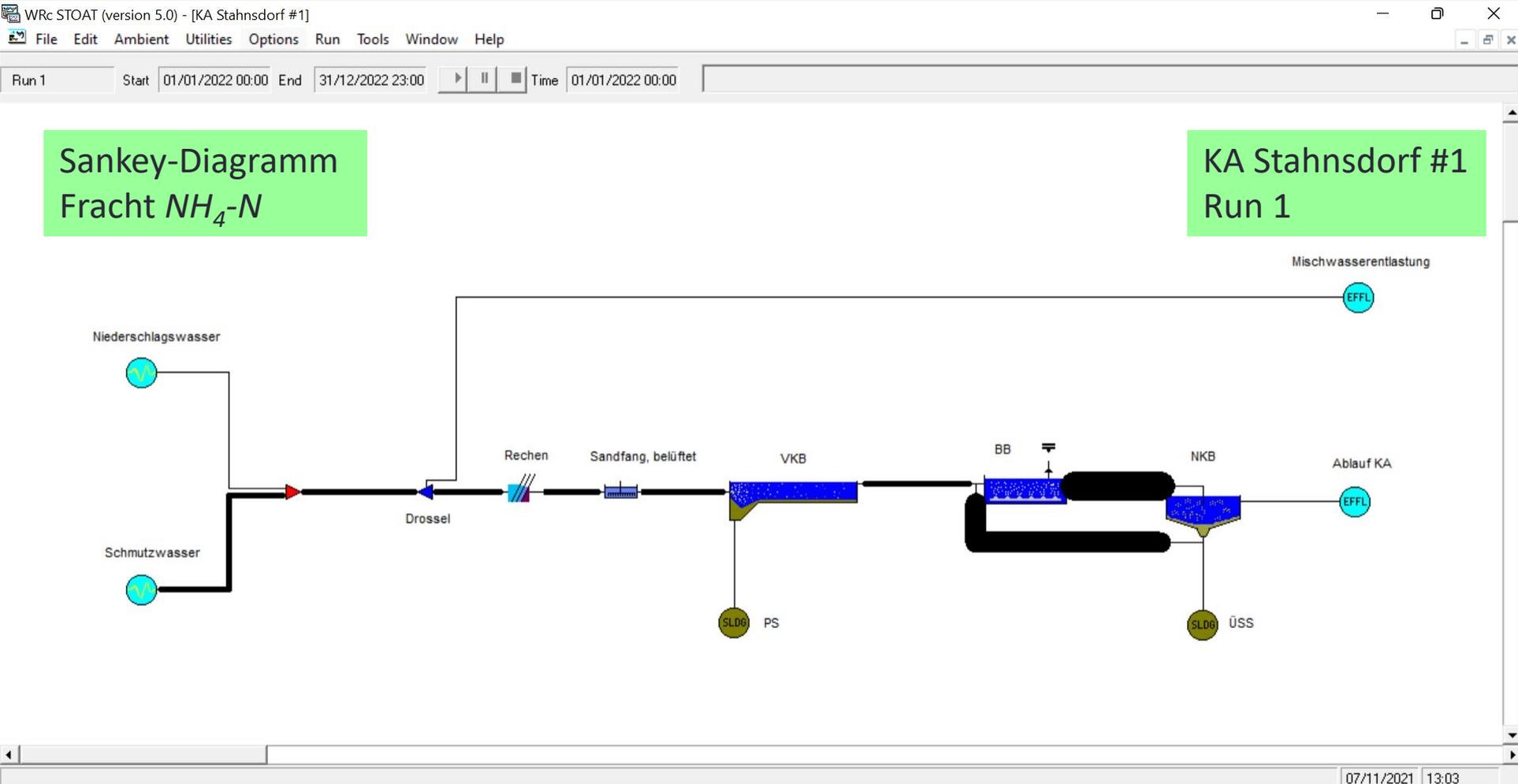
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Options* → *Logarithmic + Concentration*  
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *COD*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



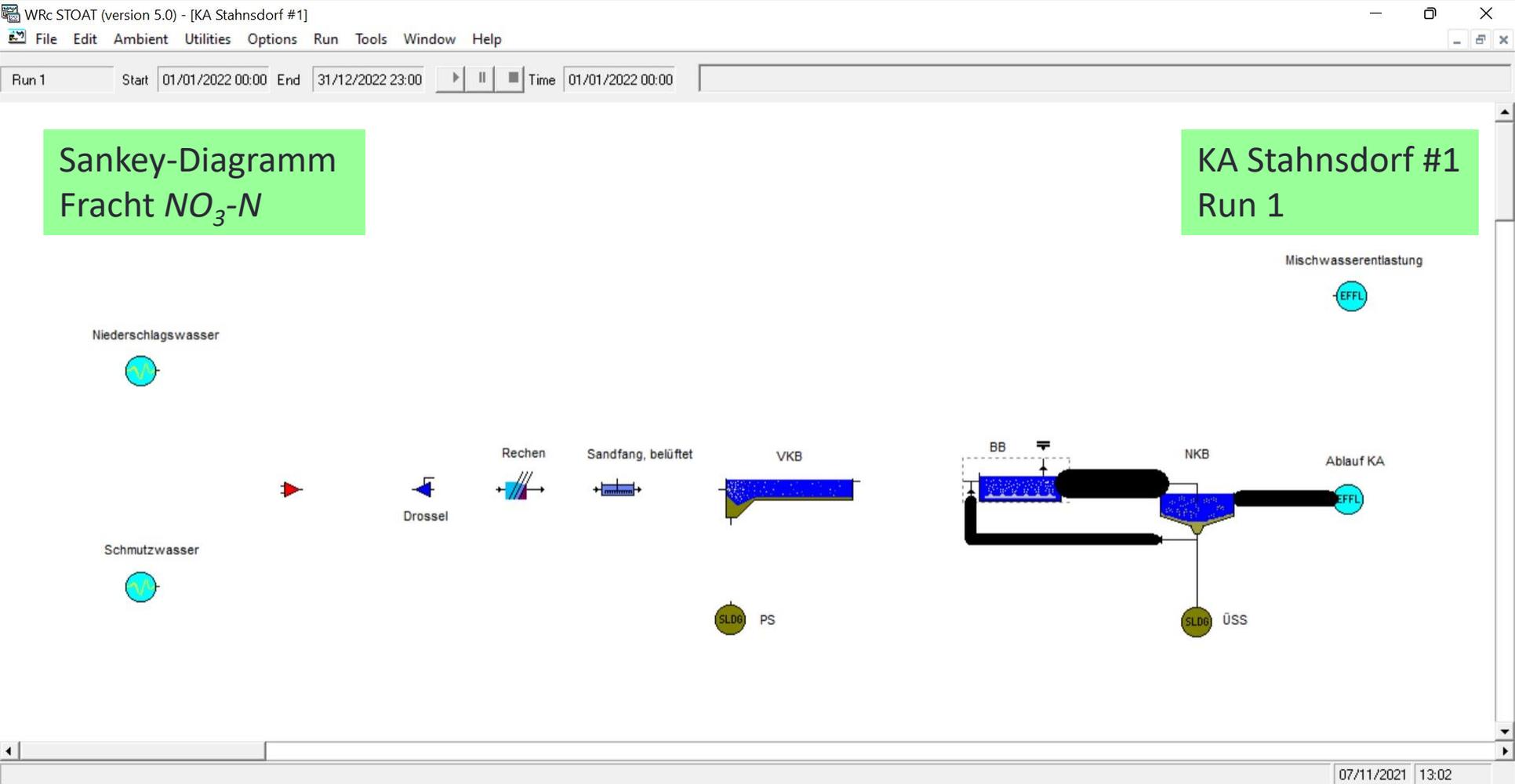
Mausklick rechts auf BB → *Results...* → *Autotrophs (mg COD/l)* → Graph only

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Options* → *Linear + Load*  
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *NH3*

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

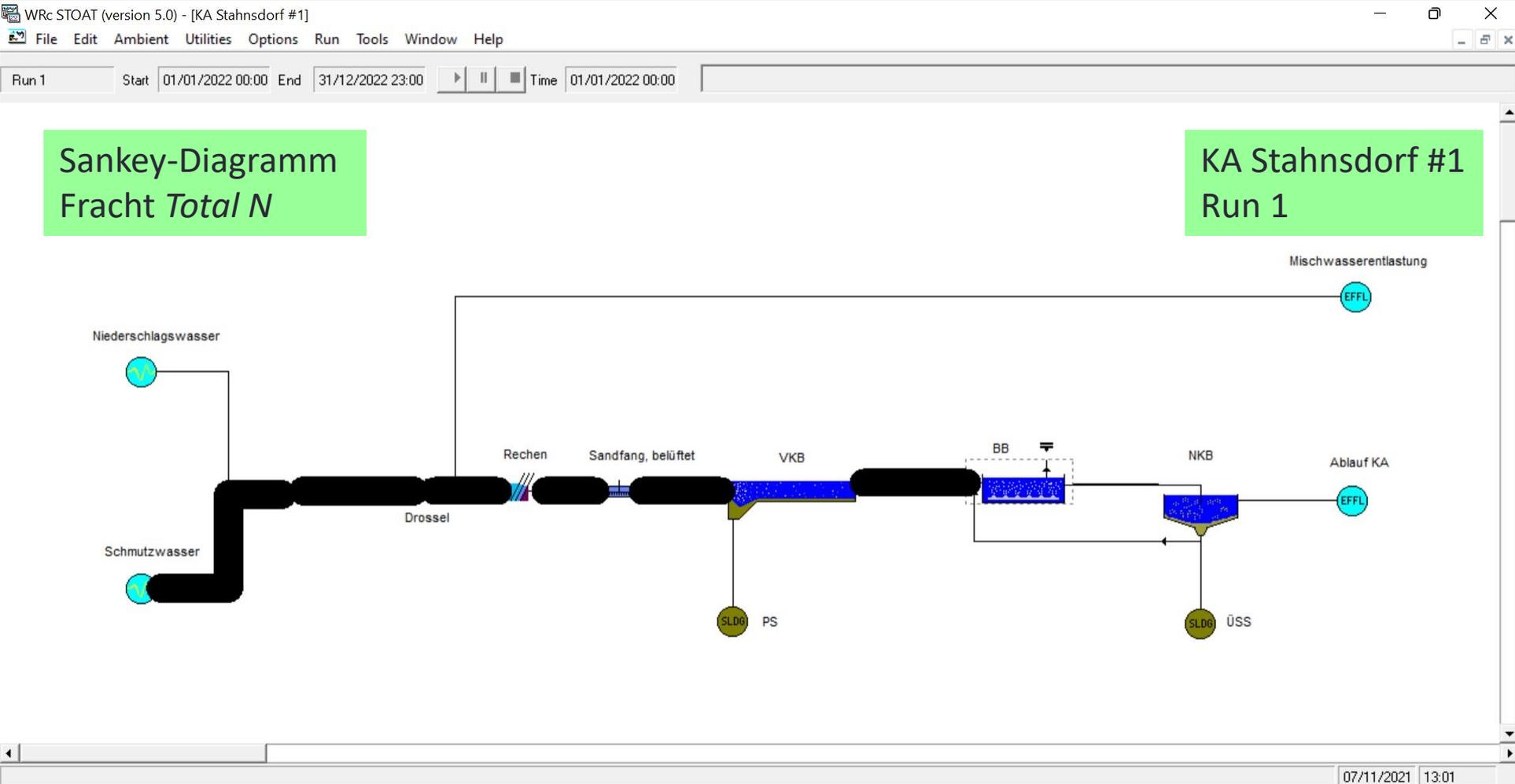


Sankey-Diagramm  
Fracht NO<sub>3</sub>-N

KA Stahnsdorf #1  
Run 1

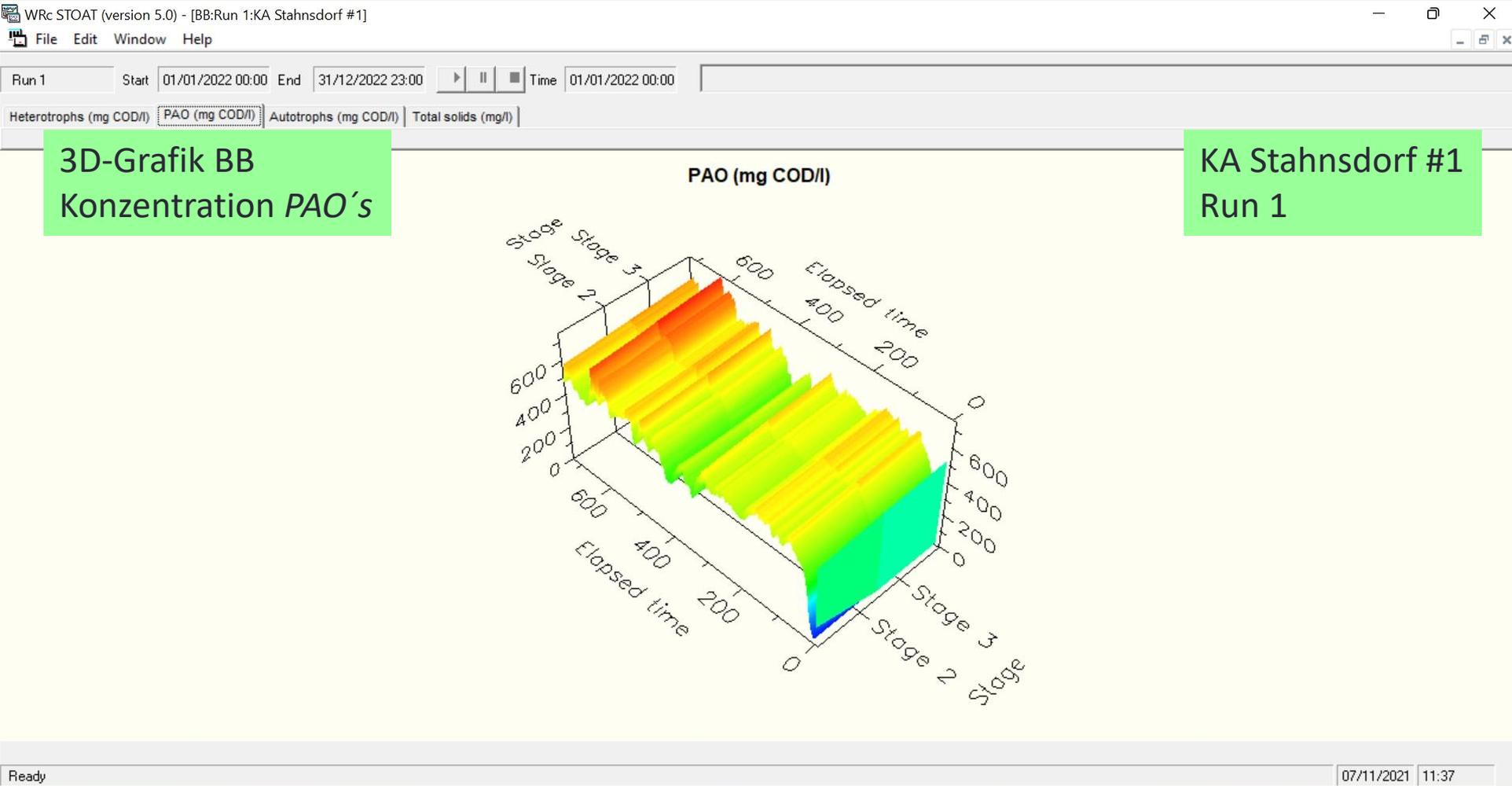
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Options* → *Linear + Load*  
 STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *NO3*

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



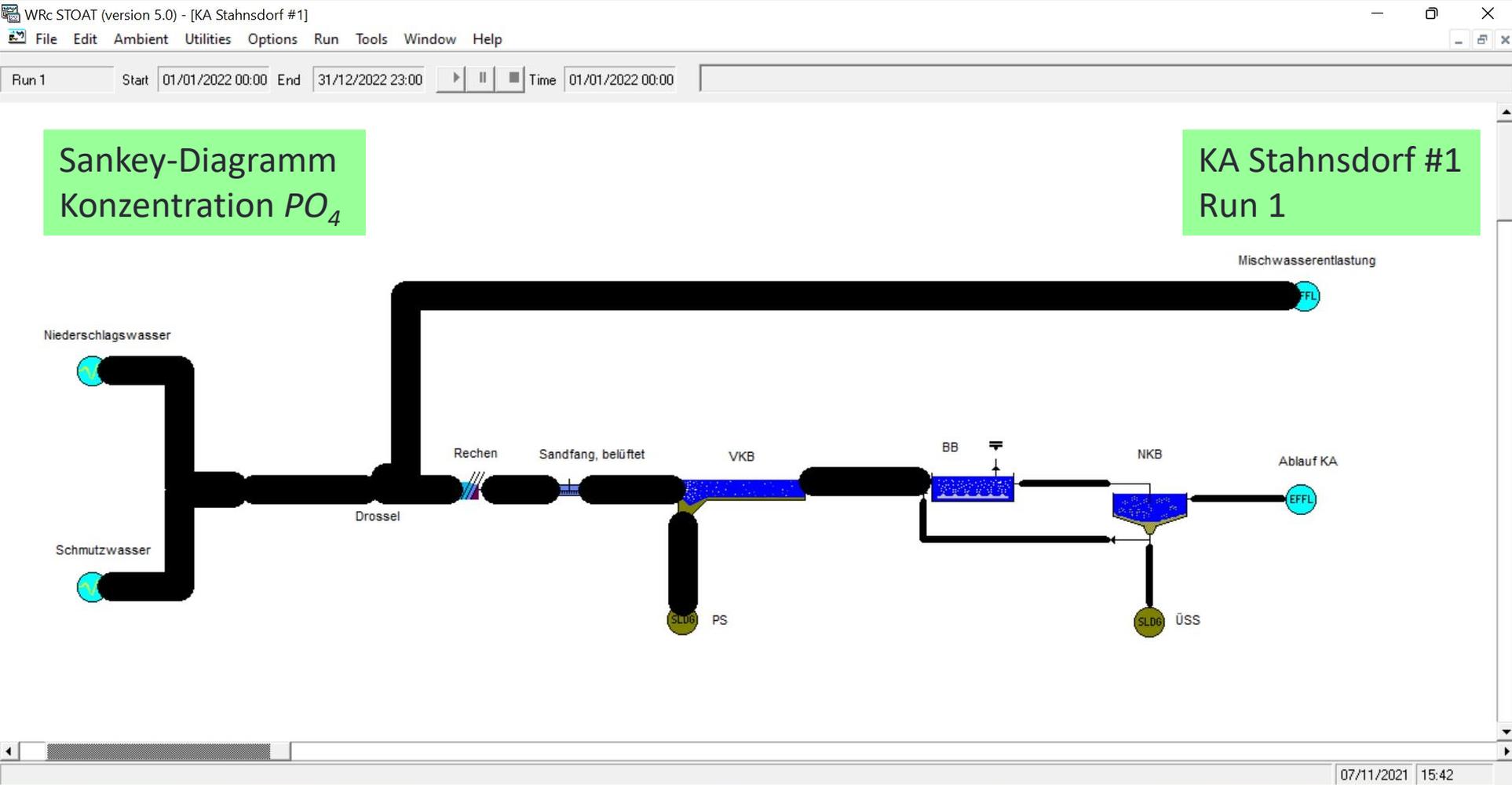
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Options* → *Linear + Load*  
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Total N*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



Mausklick rechts auf BB → Results... → PAO (mg COD/l) → Graph only

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *Options* → *Logarithmic + Concentration*  
STOAT Menü → *Tools* → *Stream reports* → *Sankey diagram* → *PO4*

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Feststoffe (*Suspended Solids*):

o.k. (top!)

Organika (*BOD/COD*):

o.k. (top!)

Nitrifikation (*Ammonia*):

o.k.

Denitrifikation (*Nitrate*):

o.k.

Phosphatelimierung (*Phosphate*):

o.k.

Die überaus positive Bewertung der Simulationsergebnisse beruht allerdings nur auf den uns zugänglichen langjährigen Mittelwerten des Ablaufs der KA Stahnsdorf. Eine besser belastbare Aussage über die Simulationsqualität erzielt man, wenn die Simulationsergebnisse anhand von Ganglinien der Ablaufwerte, z.B. mit stündlicher Auflösung beurteilt werden.

Die „hohe Schule“ der Simulation besteht darin, auch kurzzeitig auftretende Peaks der Ablaufwerte nachzuvollziehen und damit Störungen im Betriebsgeschehen abzubilden und analysieren zu können!

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

KA Stahnsdorf #1  
Run 1

Stream summary for KA Stahnsdorf #1, Run 1

Parameter	Zulauf Sandfang	Zulauf VKB	Zulauf BB	Zulauf NKB	Rücklaufamm	Ablauf KA zum Vorfluter	Üerschusschlamm	Primärschlamm	stream 10	Zulauf Rechen	Mischwasserzulauf	Zulauf Schmutzwasser	Entlastung Mischwasser (Drossel)	Zulauf Niederschlagswasser
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	6.05	6.05	6.04	6.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	10.26	9.84	9.92	9.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (mg/l)	48.55	48.55	46.97	160.87	291.69	9.18	302.22	1283.61	0.00	48.55	47.42	60.67	10.76	2.39
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	109.20	109.20	98.85	192.47	403.11	24.61	403.11	3585.65	0.00	109.20	109.20	109.20	22.28	3.00
Av. PO4 (mg/l)	9.84	9.84	9.84	0.45	0.45	0.46	0.42	9.94	0.00	9.84	9.85	9.80	9.99	10.00
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	17.77	17.77	16.29	3.95	3.15	3.71	3.15	17.77	0.00	17.77	17.77	17.77	10.79	10.00
Av. BOD (kg/h)	917.68	917.68	866.38	3468.08	3259.24	4.89	210.63	57.73	0.00	917.68	933.14	850.98	15.46	82.16
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	3058.07	3058.07	4192.14	18191.31	13778.17	64.67	414.98	226.29	0.00	3058.07	5131.00	2286.16	3114.73	4152.26
Av. COD (kg/h)	1095.72	1095.72	1025.94	6133.52	5709.16	67.88	368.01	76.93	0.00	1095.72	1113.31	1022.02	17.59	91.29
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	3515.57	3515.57	4889.52	29689.30	23456.94	425.32	0.00	0.00	0.00	3515.57	5770.21	2706.21	3502.75	4613.63
Av. SS (kg/h)	581.10	581.02	474.34	9134.57	8593.78	9.90	0.00	0.00	0.00	581.10	596.37	501.43	15.26	94.94
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	2616.56	2616.23	2376.47	41010.57	33939.64	162.56	0.00	0.00	0.00	2616.56	5375.88	1348.12	3263.38	4798.17
Av. NH3 (kg/h)	53.09	53.09	53.10	7.94	3.25	4.48	0.00	0.00	0.00	53.09	53.49	52.58	0.40	0.91
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	116.07	116.07	211.31	221.28	86.24	124.84	0.94	0.00	0.00	116.07	116.07	106.78	60.87	46.14
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	16.77	6.91	9.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	85.50	42.21	59.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (kg/h)	79.23	79.23	76.55	445.69	332.75	14.30	21.45	2.78	0.00	79.23	79.78	78.86	0.55	0.91
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	169.73	169.73	306.08	2116.32	1375.90	145.67	39.45	7.34	0.00	169.73	169.73	160.44	77.42	46.14
Av. PO4 (kg/h)	16.06	16.06	16.04	1.26	0.51	0.71	0.03	0.02	0.00	16.06	16.57	12.74	0.51	3.83
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	70.16	70.16	72.64	43.46	13.39	18.43	0.19	0.09	0.00	70.16	169.71	27.72	103.02	153.79

Ein Vergleich zwischen Mischwasserzulauf und Ablauf der KA zum Vorfluter zeigt die hohe Reinigungsleistung.

Allerdings gelangen über die Mischwasserentlastung hohe Schadstofffrachten in den Vorfluter. Bei BOD und Feststoffen (SS) sind diese sogar noch höher als der Ablauf der KA!

Bilanz der Massenströme

STOAT Menü → Tools → Stream reports → Mass balance

# Zum Problem der Mischwasserentlastungen

*„Infectionsstoffe sollten also unter allen Umständen von den öffentlichen Wasserläufen fern gehalten werden. In der Praxis wird sich diese Forderung indessen nicht vollständig durchführen lassen... Die jetzt bestehenden Einrichtungen sind sämtlich darauf berechnet, daß die Abzugskanäle das Regenwasser nur theilweise abführen und daß, wenn die Regenmenge über die Leistungsfähigkeit des Kanalsystems hinausgeht, Nothauslässe in Function treten, welche sowohl das überschüssige Regenwasser als die dann noch in die Kanäle gelangenden Fäcalien und Haus-Schmutzwässer direct in den nächsten öffentlichen Wasserlauf fließen lassen. Bei dieser Gelegenheit können selbstverständlich auch Infectionsstoffe in die Wasserläufe gespült werden... Immerhin ist die Benutzung der Nothauslässe im Stande, recht bedenkliche Stoffe in die öffentlichen Wasserläufe zu führen. Sie sind aber nun einmal nicht zu entbehren und es bleibt nur übrig, ihre Thätigkeit auf das allernothwendigste Maaß zu beschränken.“ (Robert Koch)*

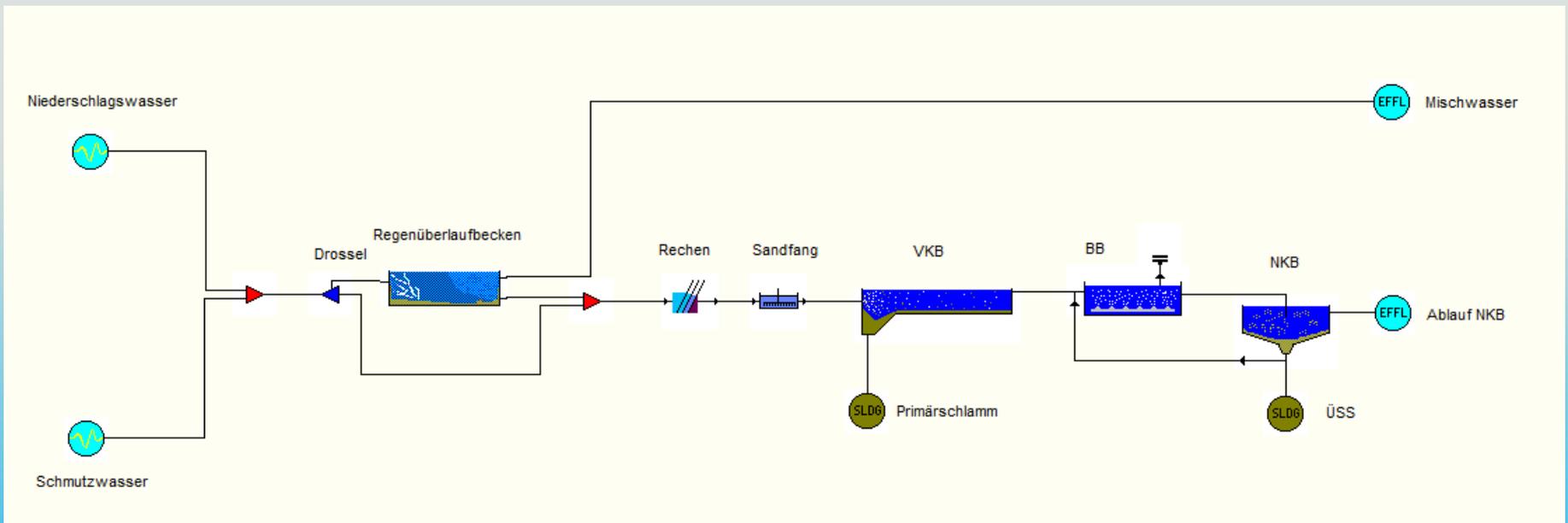
zitiert in Jurisch, K. W.: Die Verunreinigung der Gewässer

Eine Denkschrift im Auftrage der Flusscommission des Vereins zur Wahrung der Interessen der Chemischen Industrie Deutschlands...

R. Gaertner's Verlagsbuchhandlung, Berlin 1890

# Grundmodell erweitern mit «*Build*»-Menü

Bauen Sie das eben benutzte Grundmodell mit Hilfe des «*Build*»-Menüs so um, dass das unten abgebildete neue Modell der KA Stahnsdorf - mit Regenüberlaufbecken - entsteht!



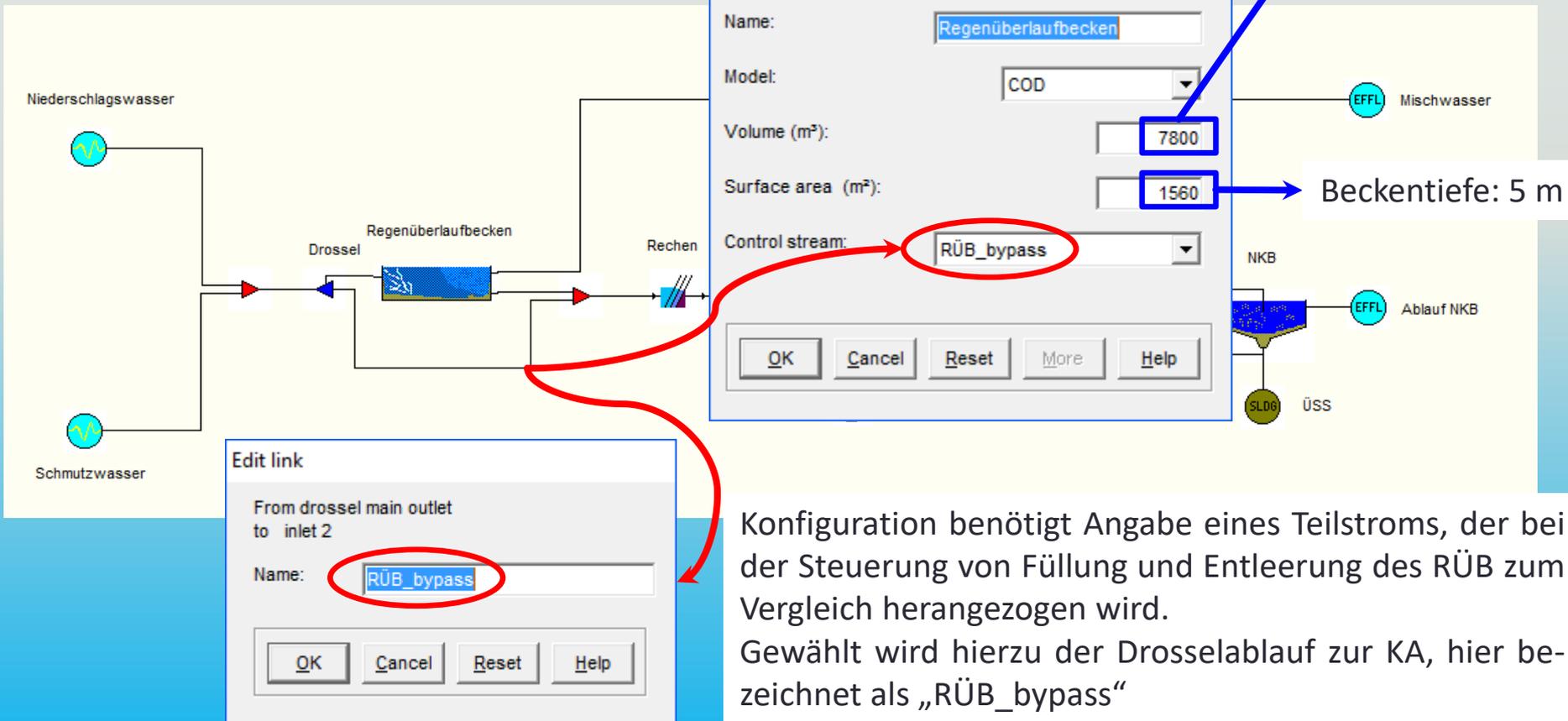
# «*Build*»-Menü zum Umbau eines Modells

1. Öffnen des Modells, das die Grundlage für das neue Modell bilden soll (z.B. Works #3)
2. Anlegen eines «*New run*» - um die gewünschten Einstellungen zu übernehmen z.B. als «*Start of old run (repeat run)*» mit jenem run, der als Ausgangspunkt für die Arbeit mit dem Folgemodell dienen soll (z. B. jener Rechnerlauf, der bisher die beste Simulationsgüte aufwies)
3. «*Build*» aktivieren
4. Basis-Modell entsprechend dem gewünschten Design verändern
5. «*Save works As*» (neuer Name für das geänderte Modell, z.B. Works #4)
6. STOAT bietet an, den Rechnerlauf unter dem neuen Modell sofort zu sichern: «*Save run as New run*» („Run 1“)
7. «*Build*» deaktivieren

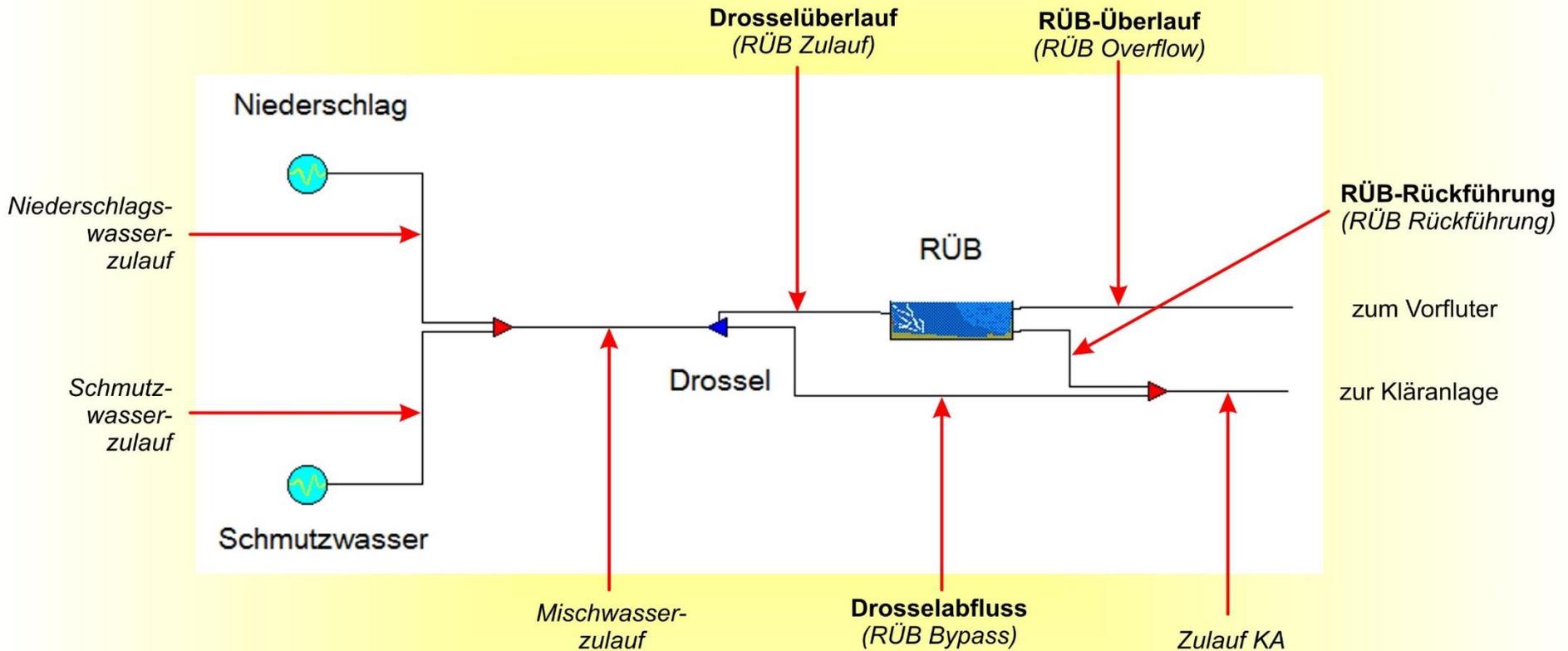
**Diese Schritte sind exakt zu befolgen, anderenfalls droht Datenverlust!**

# KA Stahnsdorf #2, Regenüberlaufbecken

Volumen gemäß Angaben BWB  
(„Zwischenspeicherbecken bei  
Regenwetter“ bzw. VKB optional)



# KA Stahnsdorf #2



## Erläuterungen zum Teilsystem Drossel-Regenüberlaufbecken (RÜB)

# KA Stahnsdorf #2, Einstellungen Run 1

Die Einstellungen jener *bits*, die bereits im Modell KA Stahnsdorf #1 vorhanden waren (also Drossel, Rechen, Sandfang, VKB, BB und NKB) werden nicht verändert, sondern allenfalls sicherheitshalber noch einmal überprüft. Auch die Zulaufdateien bleiben dieselben wie bisher. Einstellungen sind lediglich für das neu hinzugekommene RÜB erforderlich.

Volumenstrom, der beim Entleeren des RÜB zur KA geleitet werden soll

RÜB Operation data

Operation data

		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Change 4	Change 5	Change 6	Change 7
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Return pump rate (m <sup>3</sup> /h):	5500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Control stream flow (m <sup>3</sup> /h):	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

OK Cancel Reset Help

Volumenstrom, der im *Control stream* maximal fließen darf, damit das RÜB mit der gewählten *Return pump rate* entleert werden kann

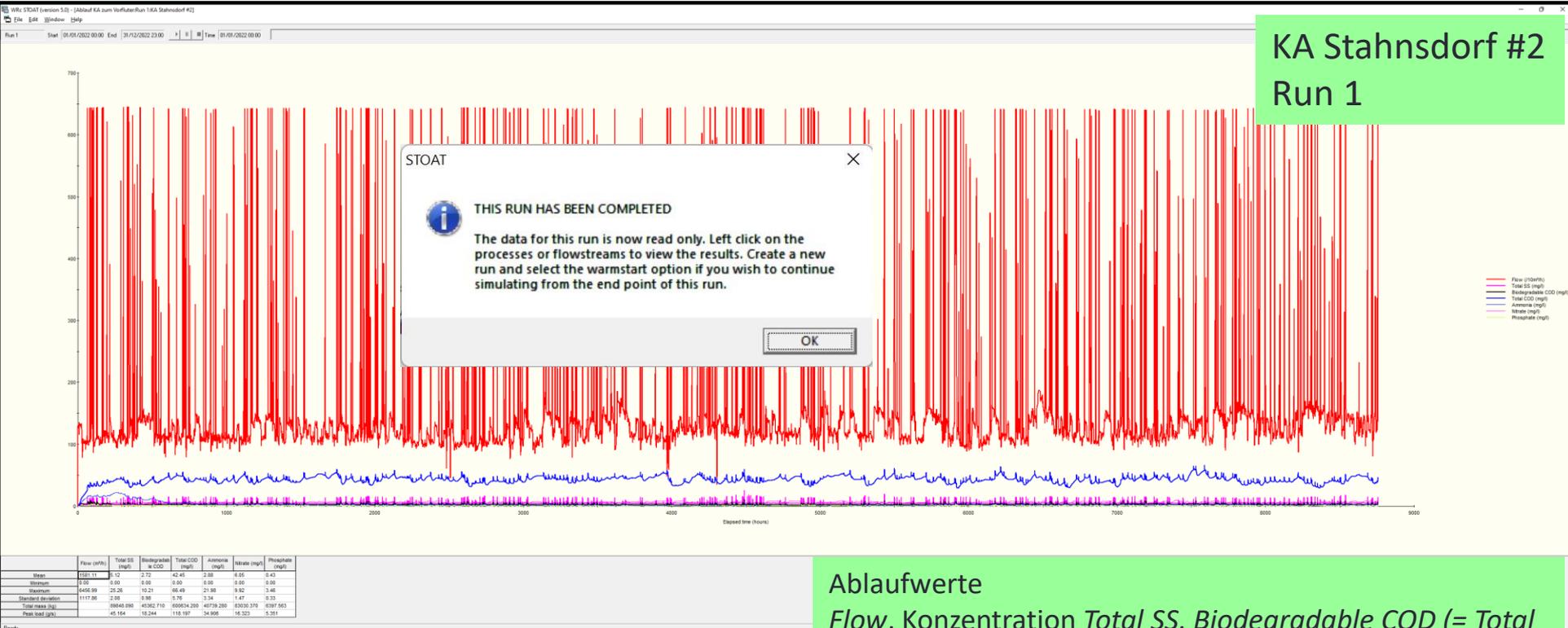
Bemessungszufluss der KA Stahnsdorf bei Regenwetter:

$$Q_m = 156000 \frac{m^3}{d} = 6500 \frac{m^3}{h}$$

$Return\ pump\ rate + Control\ stream\ flow \leq 6500\ m^3/h$

D.h.: Solange in RÜB\_bypass (= *Control stream*) nicht mehr als 1000 m<sup>3</sup>/h fließen, kann das RÜB mit 5500 m<sup>3</sup>/h zur KA entlasten.

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



Ablaufwerte  
Flow, Konzentration Total SS, Biodegradable COD (= Total BOD), Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate

Mausklick rechts auf «Ablauf KA» → Results... → Flow, Total SS, Biodegradable COD, Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: /10

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Im Prinzip keine Änderungen im Vergleich zu KA Stahnsdorf #1, Run 1:

Feststoffe (*Suspended Solids*):

o.k. (top!)

Organika (*BOD/COD*):

o.k. (top!)

Nitrifikation (*Ammonia*):

o.k.

Denitrifikation (*Nitrate*):

o.k.

Phosphatelimierung (*Phosphate*):

o.k.

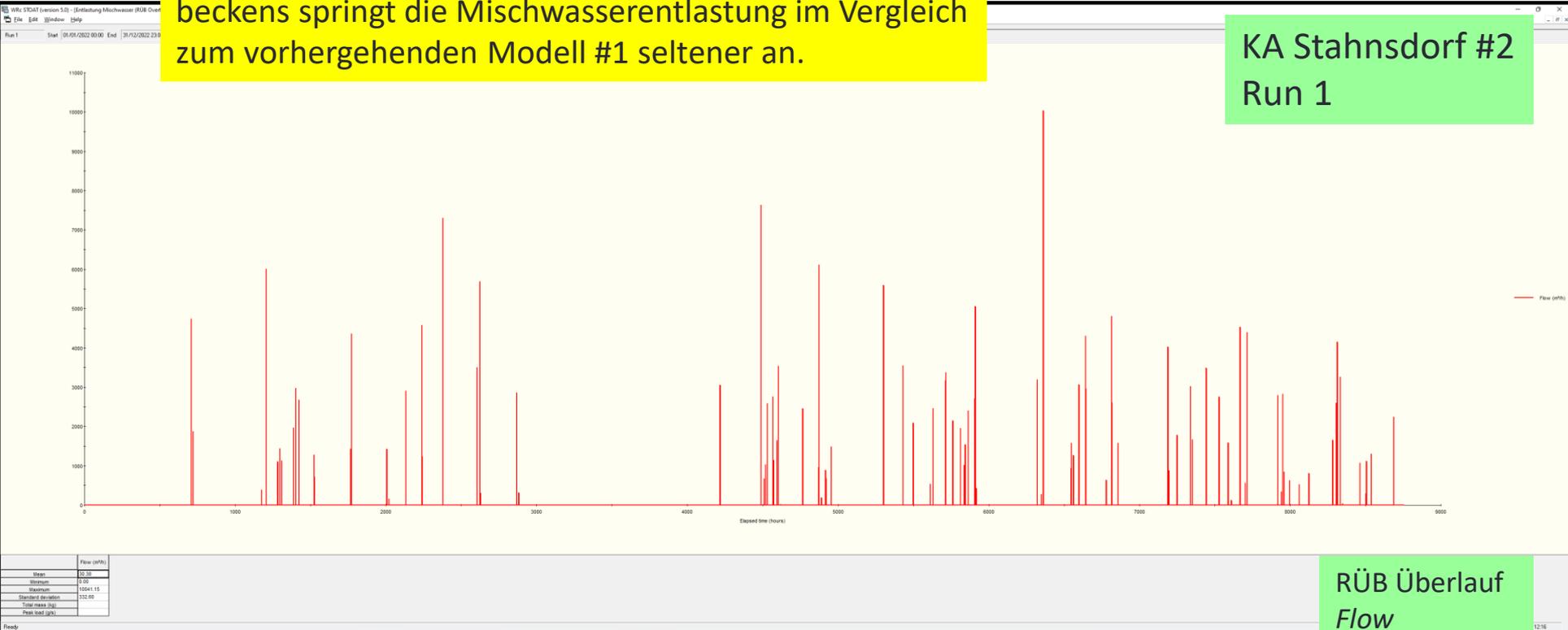
Der Unterschied zum Vorläufermodell besteht – wie nicht anders zu erwarten - in einer verringerten Mischwasserentlastung und damit in einer insgesamt geringeren Belastung des aufnehmenden Gewässers.

Lohnt sich die Mühe auch für die BWB als Betreiber der Anlage?

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Durch die Zwischenschaltung eines Regenüberlaufbeckens springt die Mischwasserentlastung im Vergleich zum vorhergehenden Modell #1 seltener an.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



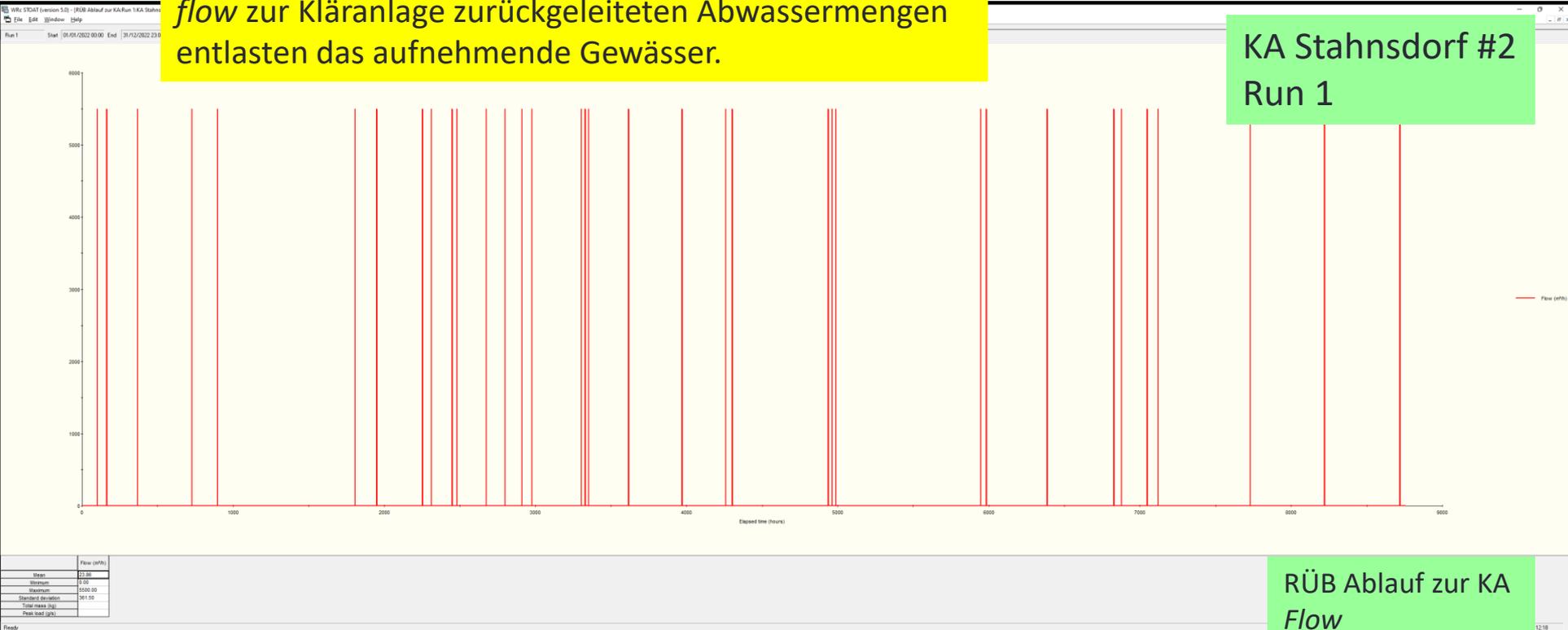
RÜB Überlauf  
Flow

Mausklick rechts auf «Mischwasserentlastung» → Results... → Flow → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: x1

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Die aus dem Regenüberlaufbecken über den *Return flow* zur Kläranlage zurückgeleiteten Abwassermengen entlasten das aufnehmende Gewässer.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



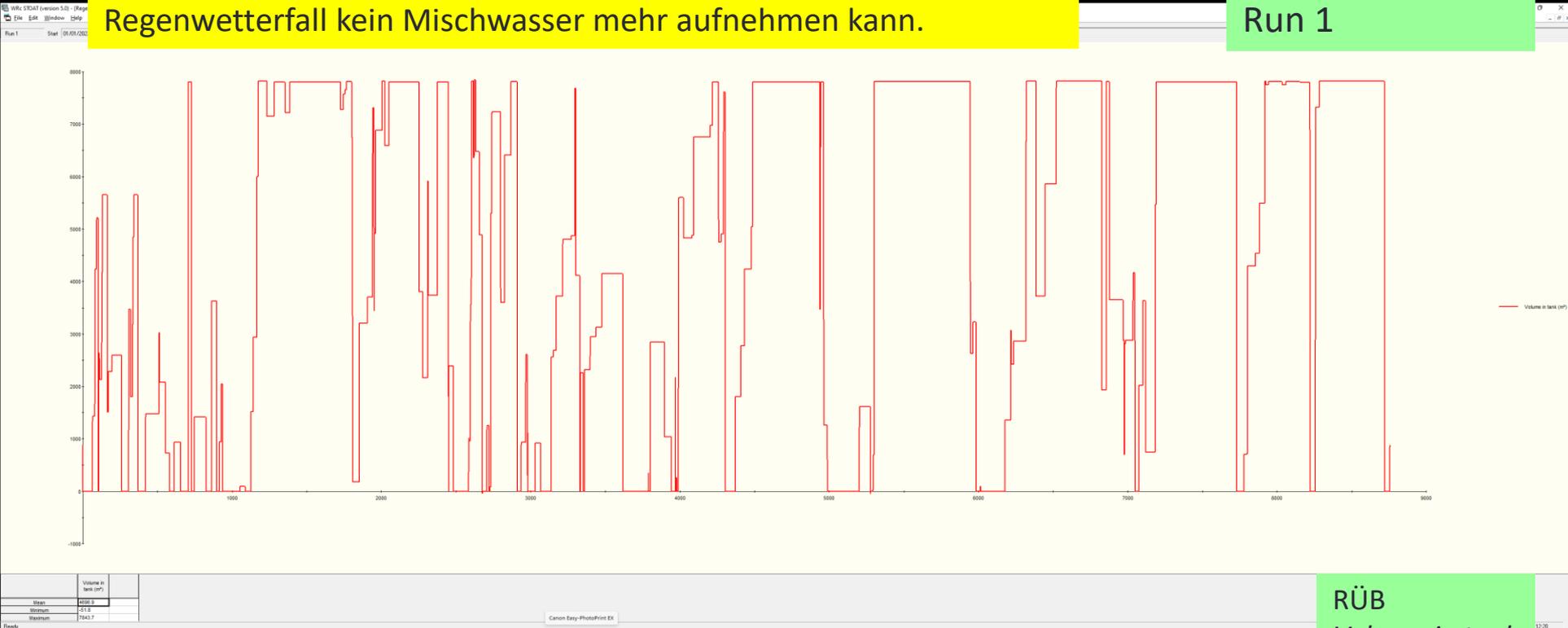
RÜB Ablauf zur KA  
Flow

Mausklick rechts auf Ablauf des RÜB zum 2 Way Mixer → Results... → Flow → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: x1

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Es ist erkennbar, dass das Regenüberlaufbecken mit der gewählten Einstellung des öfteren über längere Zeit gefüllt bleibt – also im Regenwetterfall kein Mischwasser mehr aufnehmen kann.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



RÜB  
Volume in tank

Mausklick rechts auf «Regenüberlaufbecken» → *Results...* → *Volume in tank* → *Graph and summary statistics*

# Vergleich KA Stahnsdorf #1 mit KA Stahnsdorf #2

Vergleichen Sie die Frachten, die im Regenwetterfall nach Inbetriebnahme des Regenüberlaufbeckens vermieden werden!

- Feststoffe
- CSB
- $\text{NH}_4\text{-N}$
- P

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

KA Stahnsdorf #2  
Run 1

Stream summary for KA Stahnsdorf #2, Run 1

Parameter	Mischwasser (Zulauf Drossel)	Zulauf andfang	Zulauf VKB	Zulauf BB	Zulauf NKB	Rücklaufschlamm	Ablauf KA zum Vorfluter	Überschussschlamm	Primärschlamm	stream 10	Zulauf Schmutzwasser	Zulauf Niederschlagswasser	Zulauf Rechen	RÜB Ablauf zur KA	RÜB Zulauf (Drossel Overflow)	RÜB_by pass	Entlastung Mischwasser (RÜB Overflow)
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	6.00	6.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	10.04	9.84	9.92	9.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (mg/l)	47.42	48.04	48.04	46.35	160.71	291.67	9.20	302.88	1228.82	0.00	60.67	2.39	48.04	12.61	10.76	48.55	9.67
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	109.20	109.20	109.20	98.85	192.21	402.81	24.97	402.81	3577.74	0.00	109.20	3.00	109.20	57.01	22.28	109.20	11.71
Av. PO4 (mg/l)	9.85	9.84	9.84	9.84	0.46	0.45	0.46	0.42	9.90	0.00	9.80	10.00	9.84	9.99	9.99	9.84	10.01
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	17.77	17.77	17.77	16.29	4.05	3.14	3.46	3.14	17.77	0.00	17.77	10.00	17.77	10.52	10.79	17.77	10.39
Av. BOD (kg/h)	933.14	930.12	930.12	873.08	3536.65	3320.75	5.08	214.78	59.67	0.00	850.98	82.16	930.12	12.45	15.46	917.68	7.43
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	5131.00	32116.31	32116.31	5099.25	18203.32	13960.13	65.04	414.21	11012.50	0.00	2286.16	4152.26	32116.31	31447.62	3114.73	3058.07	2875.47
Av. COD (kg/h)	1113.31	1110.05	1110.05	1081.53	6314.58	5730.04	68.48	372.89	79.15	0.00	1833.03	81.16	1110.05	14.33	17.59	1095.72	8.37
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	5770.21	32116.31	32116.31	5099.25	18203.32	13960.13	425.26	666.85	12959.57	0.00	2286.16	4152.26	32116.31	31447.62	3114.73	3058.07	2875.47
Av. SS (kg/h)	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	10.26	558.22	119.23	0.00	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	162.59	904.82	29763.54	0.00	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88
Av. NH3 (kg/h)	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	4.65	0.20	0.09	0.00	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	116.07	116.07	116.07	304.21	222.78	86.53	125.66	1.09	7.32	0.00	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	16.87	6.96	9.48	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	87.72	42.09	58.76	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (kg/h)	79.78	79.53	79.53	76.64	451.66	337.53	14.55	21.77	2.79	0.00	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53	79.53
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	169.73	375.12	375.12	435.16	2113.58	1410.36	145.78	39.32	128.68	0.00	160.44	46.14	375.12	313.56	77.42	169.73	89.13
Av. PO4 (kg/h)	16.57	16.30	16.30	16.27	1.29	0.52	0.73	0.03	0.02	0.00	12.74	3.83	16.30	0.24	0.51	16.06	0.30
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	169.71	70.32	70.32	72.64	43.05	13.90	19.26	0.18	5.31	0.00	27.72	153.79	70.32	57.87	103.02	70.16	102.76

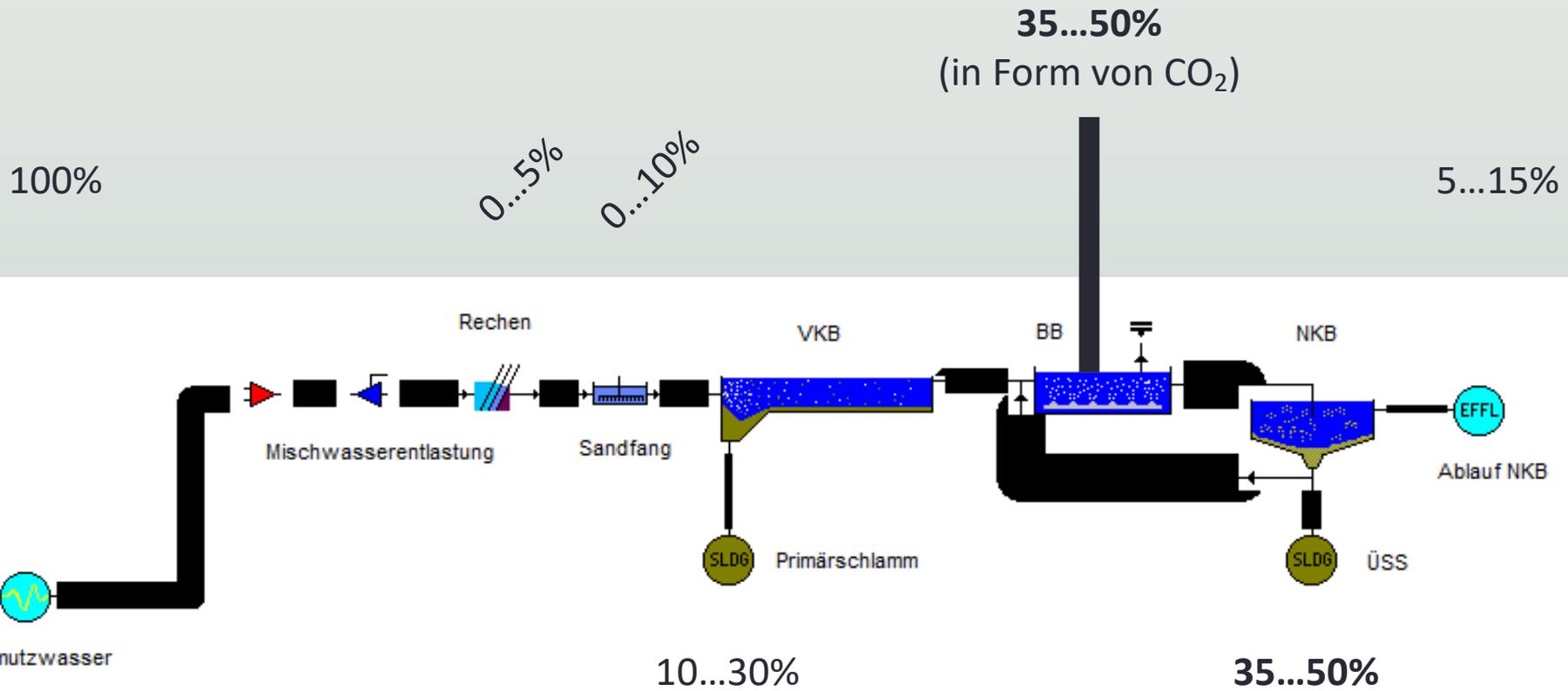
Ein Vergleich zwischen Mischwasserzulauf und Ablauf der KA zum Vorfluter zeigt die hohe Reinigungsleistung.

Über die Mischwasserentlastung werden jetzt geringere Schadstofffrachten in den Vorfluter geleitet als in Modell #1, diese sind aber immer noch viel zu hoch und bei BOD sogar noch höher als der Ablauf der KA!

Bilanz der Massenströme

STOAT Menü → Tools → Stream reports → Mass balance

# KA mit vorgeschalteter Denitrifikation: C-Bilanz



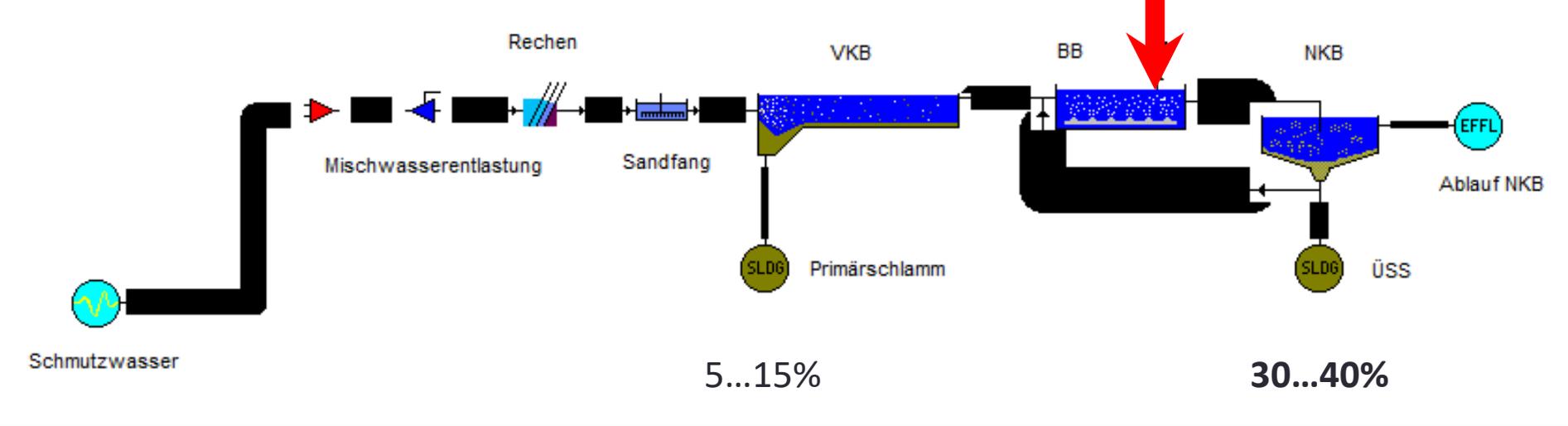
# KA mit vorgeschalteter Denitrifikation: O<sub>2</sub>/CSB-Bilanz

Zulauf  
100%

0...5%  
0...5%

Belüftung  
30...50%

Ablauf  
5...15%



# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lützner, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014

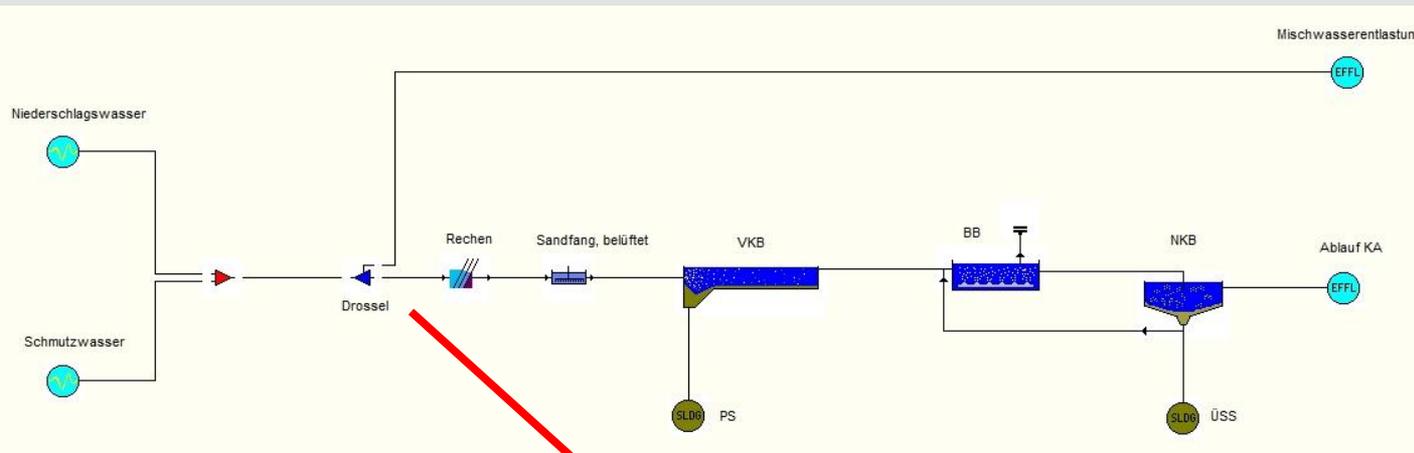
# Abwasserbehandlung (Wastewater Treatment)

Dynamische Simulation der Kläranlage Stahnsdorf  
mit dem Programmsystem STOAT

- Zusammenspiel von Drossel & RÜB /  
Einsatz von Steuer- und Regeleinrichtungen -

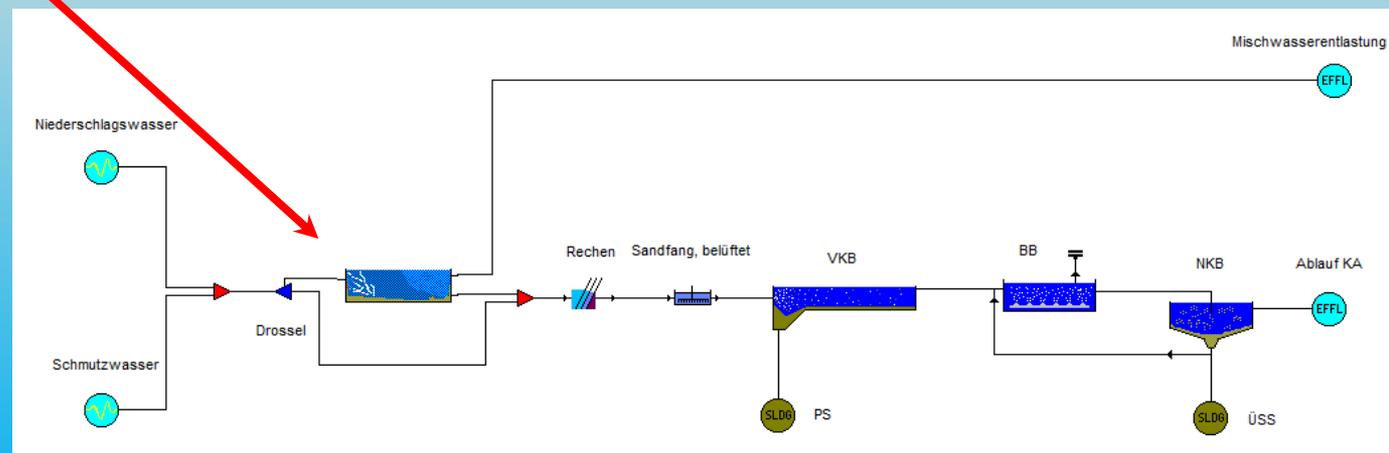
# KA Stahnsdorf #2 (Modell #1 zuzügl. RÜB)

Laden Sie die gezippten STOAT Dateien für die heutige LV von Moodle herunter und entpacken Sie diese. Starten Sie STOAT und wählen Sie „KA Stahnsdorf #1\_4.mdb“ als Standarddatenbank aus. Öffnen Sie dann Modell „KA Stahnsdorf #2“!



Modell  
KA Stahnsdorf #1

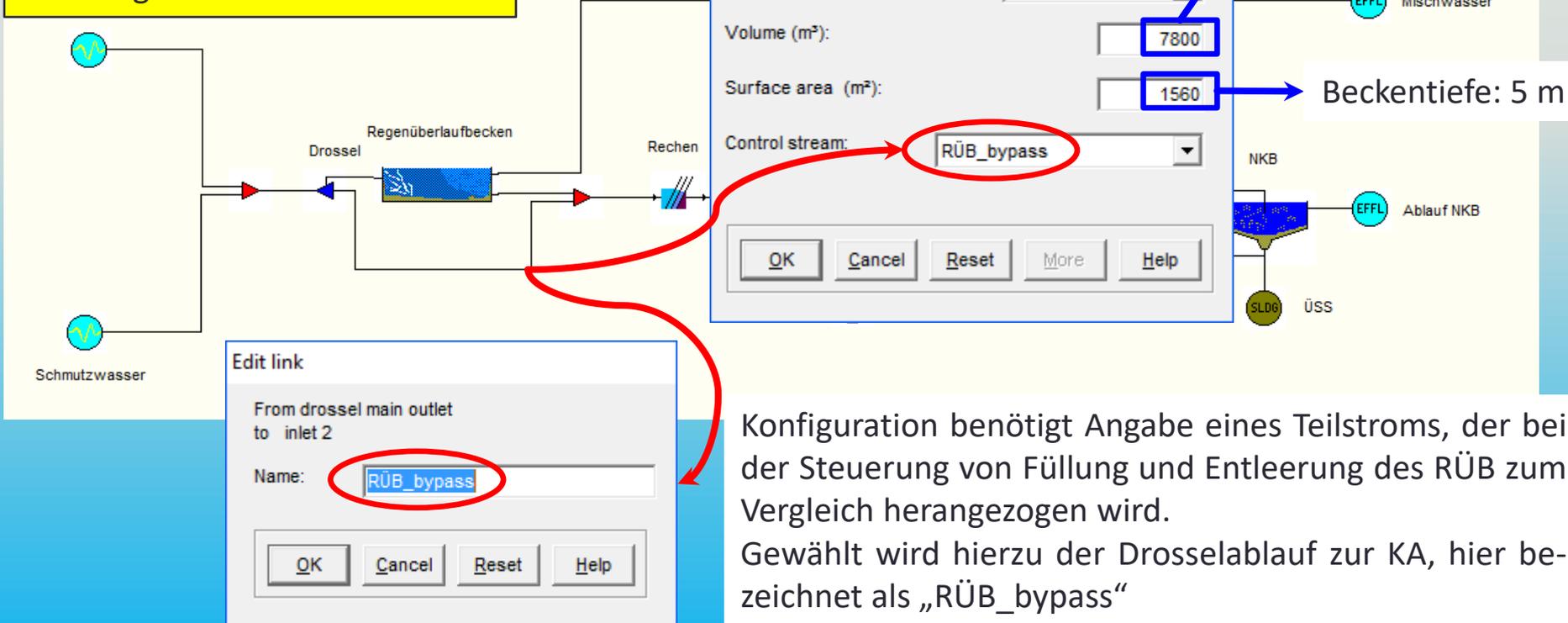
Modell  
KA Stahnsdorf #2



# KA Stahnsdorf #2, Regenüberlaufbecken

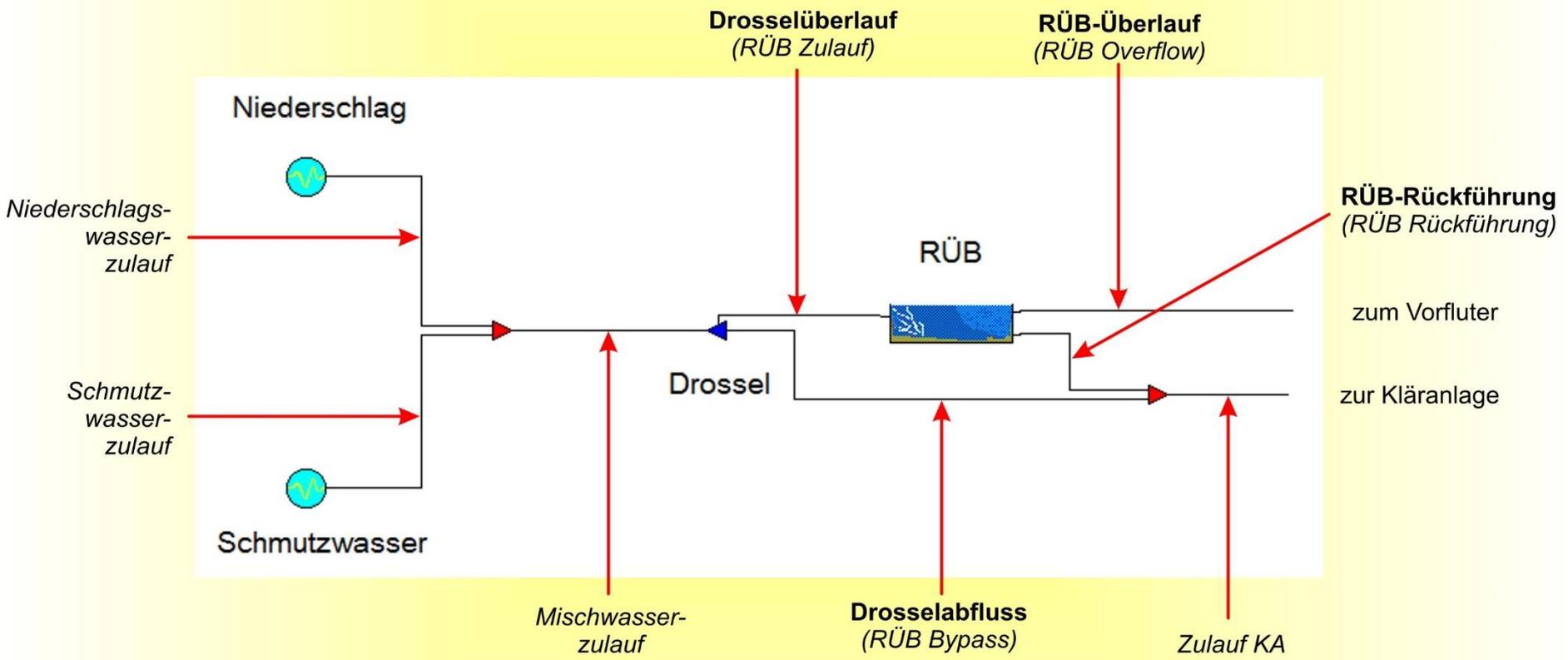
Mischwasserzuflüsse, die die hydraulische Kapazität der Kläranlage überschreiten, werden – via Drossel – in diesem Modell **nicht in das Gewässer abgeschlagen**, sondern in das Regenüberlaufbecken geleitet.

Volumen gemäß Angaben BWB („Zwischenspeicherbecken bei Regenwetter“ bzw. VKB optional)



Konfiguration benötigt Angabe eines Teilstroms, der bei der Steuerung von Füllung und Entleerung des RÜB zum Vergleich herangezogen wird. Gewählt wird hierzu der Drosselablauf zur KA, hier bezeichnet als „RÜB\_bypass“

# KA Stahnsdorf #2



## Erläuterungen zum Teilsystem Drossel-Regenüberlaufbecken (RÜB)

# KA Stahnsdorf #2, Einstellungen Run 1

Die Einstellungen jener *bits*, die bereits im Modell KA Stahnsdorf #1 vorhanden waren (also Drossel, Rechen, Sandfang, VKB, BB und NKB) werden nicht verändert, sondern allenfalls sicherheitshalber noch einmal überprüft. Auch die Zulaufdateien bleiben dieselben wie bisher. Einstellungen sind lediglich für das neu hinzugekommene RÜB erforderlich.

Volumenstrom, der beim Entleeren des RÜB zur KA geleitet werden soll

RÜB Operation data

Operation data		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Change 4	Change 5	Change 6
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Return pump rate (m <sup>3</sup> /h):	5510.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Control stream flow (m <sup>3</sup> /h):	1000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Buttons: OK, Cancel, Reset, Help

Volumenstrom, der im *Control stream* maximal fließen darf, damit das RÜB mit der gewählten *Return pump rate* entleert werden kann

Bemessungszufluss der KA Stahnsdorf bei Regenwetter:

$$Q_m = 156000 \frac{m^3}{d} = 6510 \frac{m^3}{h}$$

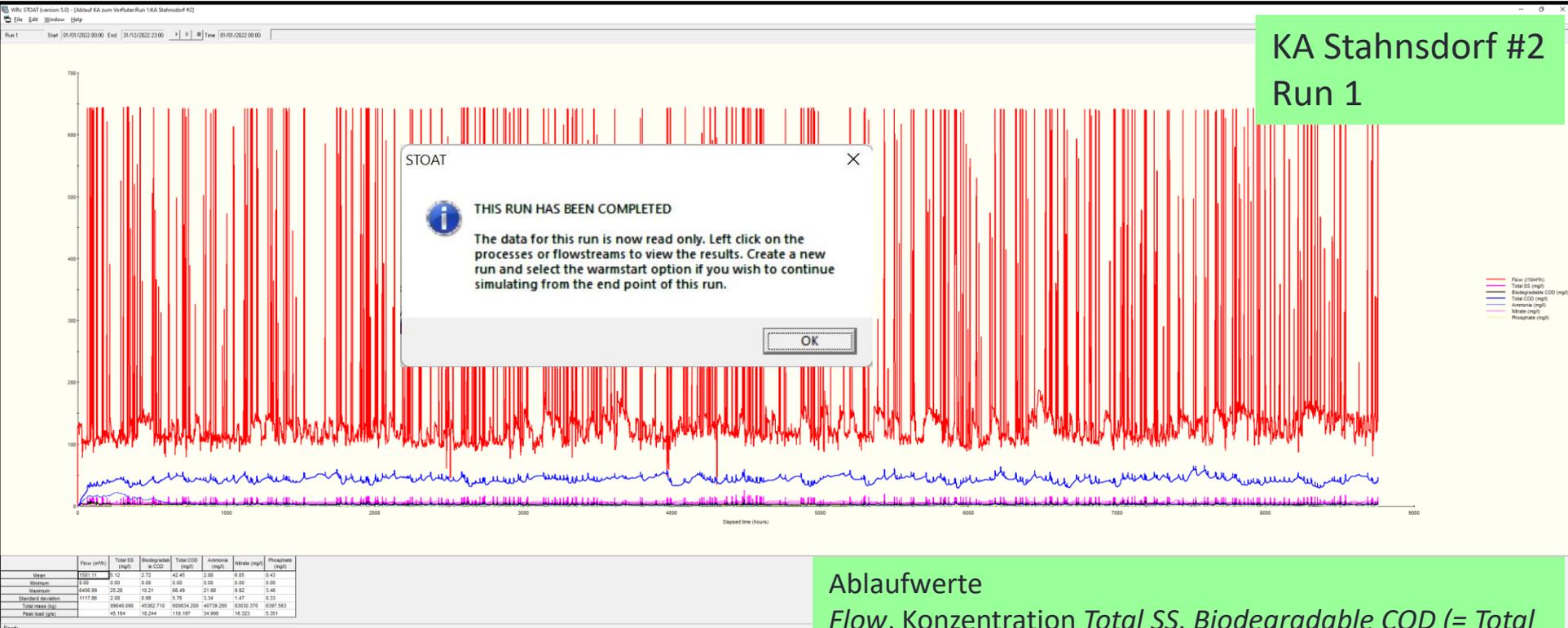
*Return pump rate* + *Control stream flow* ≤ 6510 m<sup>3</sup>/h

D.h.: Solange in RÜB\_bypass (= *Control stream*) nicht mehr als 1000 m<sup>3</sup>/h fließen, kann das RÜB mit 5510 m<sup>3</sup>/h zur KA entlasten.

# KA Stahnsdorf #2, Run 1

Starten Sie den  
Rechnerlauf!

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?



Mausklick rechts auf «Ablauf KA» → Results... → Flow, Total SS, Biodegradable COD, Total COD, Ammonia, Nitrate, Phosphate → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: /10

# ...Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Im Prinzip keine Änderungen im Vergleich zu KA Stahnsdorf #1, Run 1:

Feststoffe (*Suspended Solids*):

o.k. (top!)

Organika (*BOD/COD*):

o.k. (top!)

Nitrifikation (*Ammonia*):

o.k.

Denitrifikation (*Nitrate*):

o.k.

Phosphatelimierung (*Phosphate*):

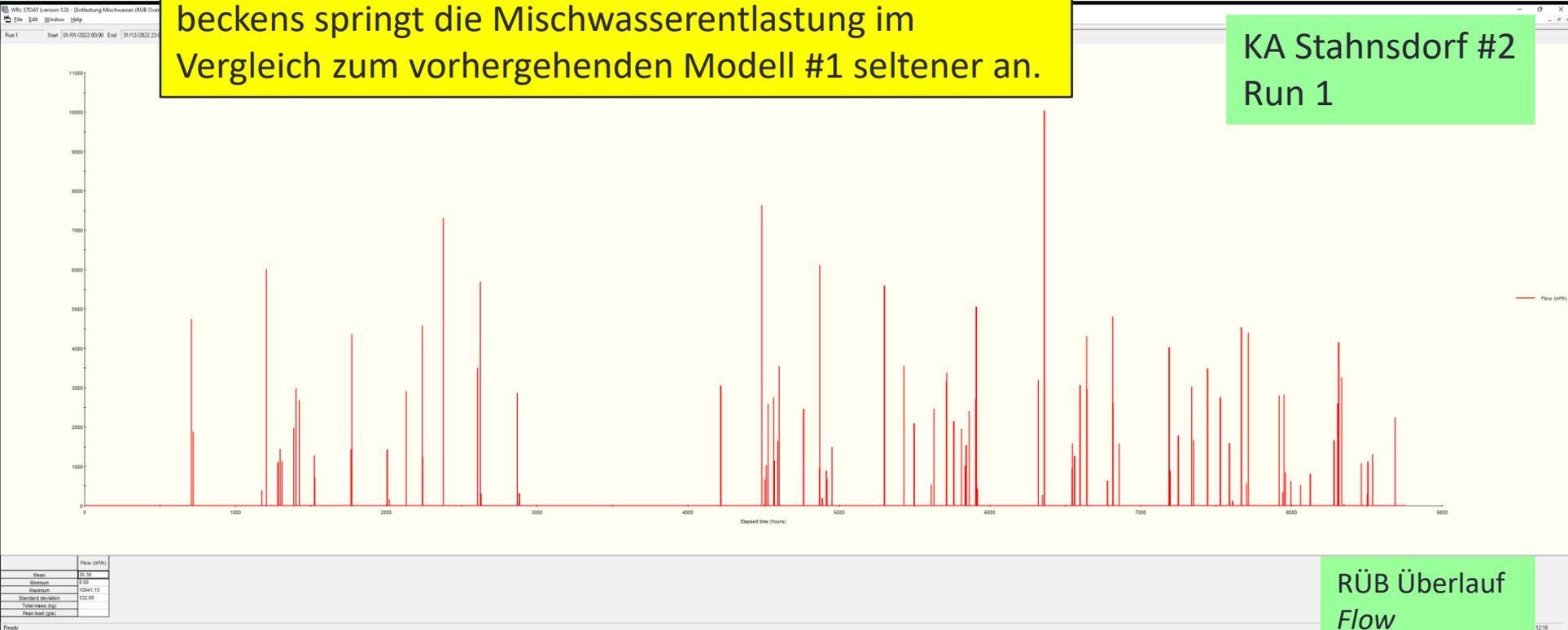
o.k.

Der Unterschied zum Vorläufermodell besteht – wie nicht anders zu erwarten - in einer verringerten Mischwasserentlastung und damit in einer insgesamt geringeren Belastung des aufnehmenden Gewässers.

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Durch die Zwischenschaltung eines Regenüberlaufbeckens springt die Mischwasserentlastung im Vergleich zum vorhergehenden Modell #1 seltener an.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



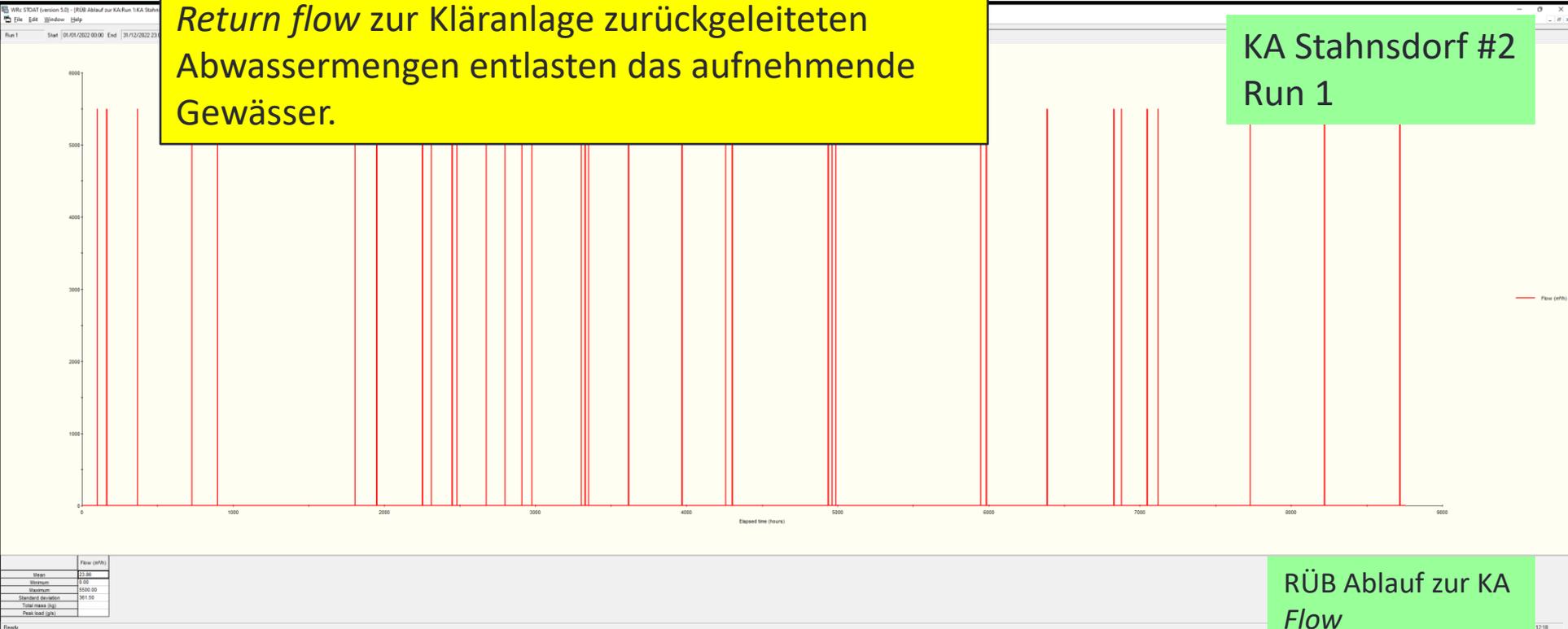
RÜB Überlauf  
Flow

Mausklick rechts auf «Mischwasserentlastung» → *Results...* → *Flow* → *Graph and summary statistics*, *Flow graph scale factor: x1*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Die aus dem Regenüberlaufbecken über den *Return flow* zur Kläranlage zurückgeleiteten Abwassermengen entlasten das aufnehmende Gewässer.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



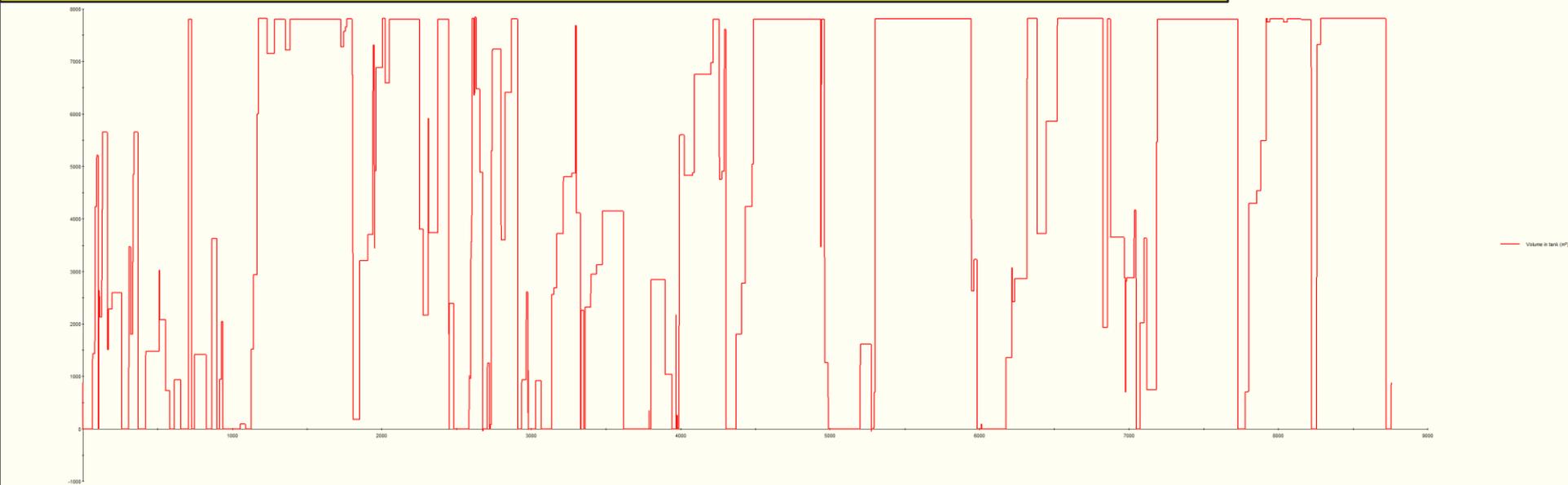
RÜB Ablauf zur KA  
*Flow*

Mausklick rechts auf Ablauf des RÜB zum 2 Way Mixer → Results... → Flow → Graph and summary statistics, Flow graph scale factor: x1

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Es ist erkennbar, dass das Regenüberlaufbecken mit der gewählten Einstellung des Öfteren über längere Zeit gefüllt bleibt – also im Regenwetterfall kein Mischwasser mehr aufnehmen kann.

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



	Volume in tank (m³)
Start	0.0
Stop	51.5
Maximum	7343.7

Canon Easy-PhotoPrint EX

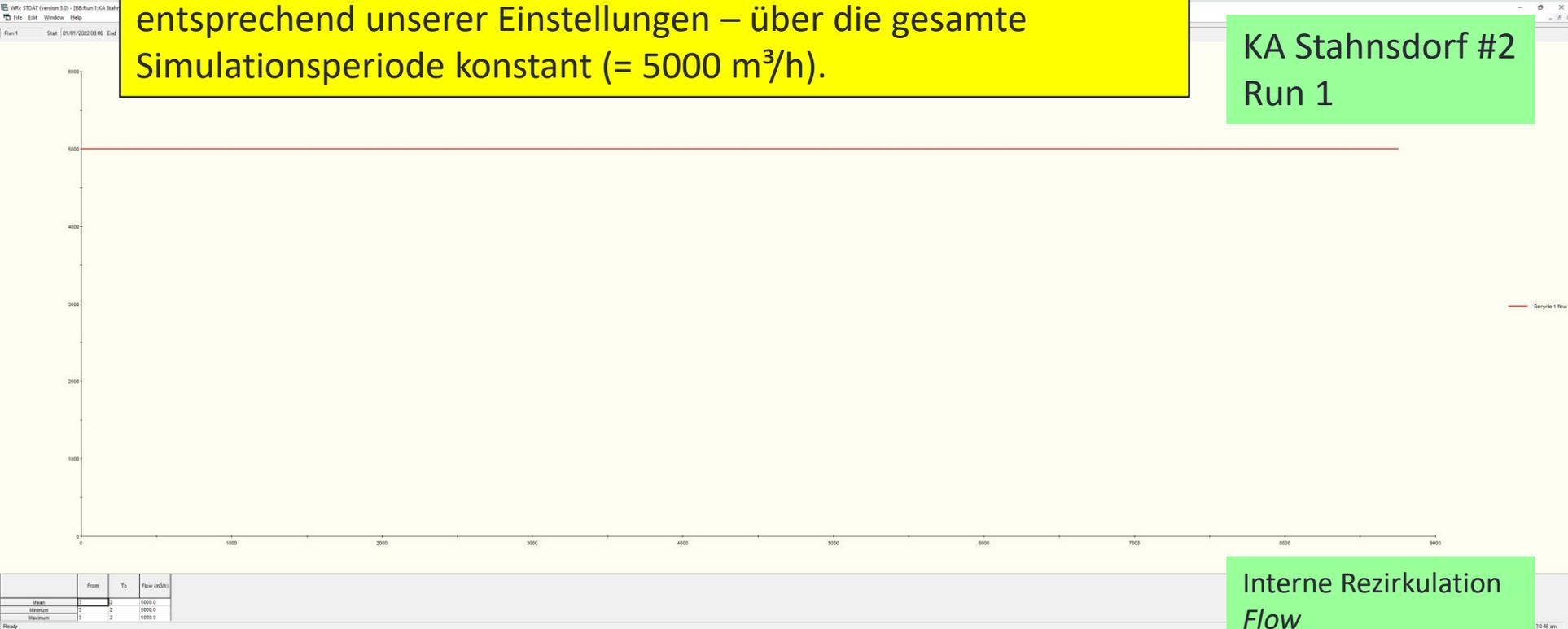
RÜB  
Volume in tank

Mausklick rechts auf «Regenüberlaufbecken» → *Results...* → *Volume in tank* → *Graph and summary statistics*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Der Abwasservolumenstrom der internen Rezirkulation bleibt – entsprechend unserer Einstellungen – über die gesamte Simulationsperiode konstant (= 5000 m<sup>3</sup>/h).

KA Stahnsdorf #2  
Run 1



Interne Rezirkulation  
Flow

Mausklick rechts auf «BB» → *MLSS recycle results* → *From / To / Flow* → *Graph and summary statistics* → Mausclick rechts auf Grafik, Maßstab der Y-Achse verändern

# Vergleich KA Stahnsdorf #2 mit KA Stahnsdorf #1

Vergleichen Sie die Frachten, die im Regenwetterfall nach Inbetriebnahme des Regenüberlaufbeckens vermieden werden!

- Feststoffe
- CSB
- $\text{NH}_4\text{-N}$
- P

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

KA Stahnsdorf #2  
Run 1

Stream summary for KA Stahnsdorf #2, Run 1

Parameter	Mischwasser (Zulauf Drossel)	Zulauf Sandfang	Zulauf VKB	Zulauf BB	Zulauf NKB	Rücklaufamm	Ablauf KA zum Vorfluter	Überschussschlamm	Primärschlamm	stream 10	Zulauf Schmutzwasser	Zulauf Niederschlagswasser	Zulauf Rechen	RÜB Ablauf zur KA	RÜB Zulauf (Drossel Overflow)	RÜB_Überschuss	Entlastung Mischwasser (RÜB Overflow)
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	6.00	5.99	6.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	10.04	9.83	9.92	9.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (mg/l)	47.42	48.03	48.03	46.34	160.70	291.66	9.20	302.88	1228.41	0.00	60.67	2.39	48.03	12.59	10.75	48.55	9.67
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	109.20	109.20	109.20	98.85	192.20	402.83	24.97	402.83	3577.96	0.00	109.20	3.00	109.20	56.50	22.28	109.20	11.70
Av. PO4 (mg/l)	9.85	9.84	9.84	9.84	0.45	0.45	0.46	0.42	9.89	0.00	9.80	10.00	9.84	9.99	9.99	9.84	10.01
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	17.77	17.77	17.77	16.29	4.05	3.14	3.47	3.14	17.77	0.00	17.77	10.00	17.77	10.52	10.79	17.77	10.39
Av. BOD (kg/h)	933.14	930.25	930.25	873.17	3537.39	3321.36	5.08	214.83	59.70	0.00	850.98	82.16	930.25	12.49	15.39	917.76	7.40
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	5131.00	31853.62	31853.62	5347.72	18232.74	13927.79	65.42	414.16	10381.14	0.00	2286.16	1152.26	31853.62	31184.93	3111.63	3062.77	2872.30
Av. COD (kg/h)	1113.31	1110.19	1110.19	1059.61	6215.39	5790.55	68.49	372.95	79.19	0.00	1022.02	91.64	1110.19	14.28	17.50	1095.81	8.33
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	5770.21	31853.62	31853.62	5347.72	18232.74	13927.79	426.10	666.67	12217.34	0.00	2286.16	1152.26	31853.62	31184.93	3111.63	3062.77	2872.30
Av. SS (kg/h)	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	10.27	558.34	119.31	0.00	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	4.62
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	163.58	906.04	28053.35	0.00	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	2265.76
Av. NH3 (kg/h)	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	4.65	0.20	0.09	0.00	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	0.23
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	125.90	1.09	6.89	0.00	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	70.84
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	16.87	6.96	9.48	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	87.74	42.16	58.85	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (kg/h)	79.78	79.54	79.54	76.64	451.72	337.57	14.56	21.77	2.79	0.00	79.54	79.54	79.54	79.54	79.54	79.54	0.29
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	169.73	372.88	372.88	435.63	2116.71	1407.05	146.05	39.31	121.59	0.00	160.44	46.14	372.88	311.32	77.34	169.73	89.02
Av. PO4 (kg/h)	16.57	16.30	16.30	16.28	1.30	0.52	0.73	0.03	0.02	0.00	12.74	3.83	16.30	0.24	0.50	16.06	0.30
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	169.71	70.42	70.42	72.75	43.49	13.95	19.32	0.18	5.00	0.00	27.72	153.79	70.42	57.98	102.92	70.26	102.68

Ein Vergleich zwischen Mischwasserzulauf und Ablauf der KA zum Vorfluter zeigt die hohe Reinigungsleistung.

Über die Mischwasserentlastung werden jetzt geringere Schadstofffrachten in den Vorfluter geleitet als in Modell #1, diese sind aber immer noch viel zu hoch und bei BOD sogar noch höher als der Ablauf der KA!

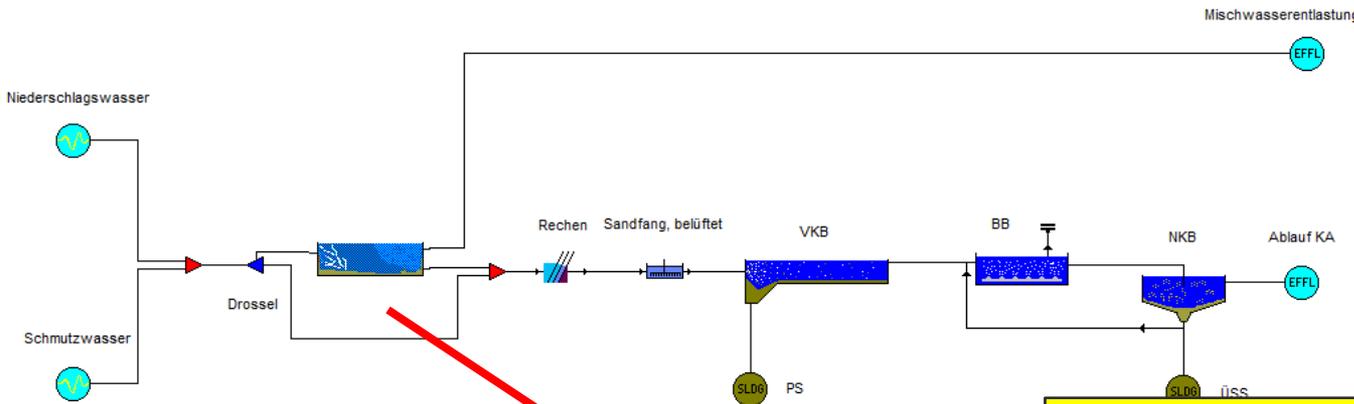
Bilanz der Massenströme

STOAT Menü → Tools → Stream reports → Mass balance

# KA Stahnsdorf #3 (Modell #2 zuzügl. PLC RÜB)

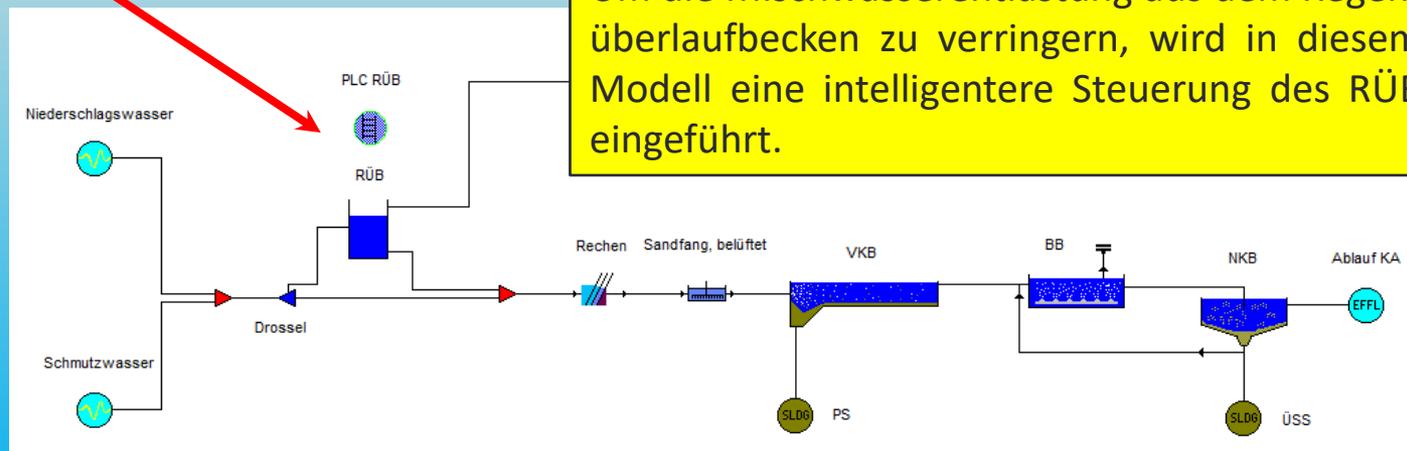
Öffnen Sie Modell „KA Stahnsdorf #3“! (Im Unterschied zu #2 wird das RÜB hier nicht durch einen **Storm tank**, sondern durch einen **Balancing tank** repräsentiert. Das ist erforderlich, um die Steuerung mittels PLC zu ermöglichen.)

Modell  
KA Stahnsdorf #2



Um die Mischwasserentlastung aus dem Regenüberlaufbecken zu verringern, wird in diesem Modell eine intelligentere Steuerung des RÜB eingeführt.

Modell  
KA Stahnsdorf #3



# Modell KA Stahnsdorf #3 – RÜB, PLC RÜB

Im Vergleich zu Modell «KA Stahnsdorf #2» wird im neuen Modell ein anderer Baustein für das «RÜB» verwendet. Dabei handelt es sich um den *Balancing Tank* aus dem Untermenü *Other treatment processes* der *Processes tool box*.

Die Ein- und Ausgänge des *Balancing Tank* sind praktisch identisch mit den Ein- und Ausgängen des *Storm tanks*, der im vorhergehenden Modell zum Einsatz kam.

Diese Änderung ist erforderlich, um die Entleerung des RÜB intelligenter als in «KA Stahnsdorf #2» steuern zu können. Dazu dient der Baustein «PLC RÜB» (*PLC* steht für *Programmable Logic Controller*) aus dem Untermenü *Control functions* der *Processes tool box*.



The screenshot shows the 'Edit balance tank : Page 1 of 1' dialog box. It contains the following fields and buttons:

- Name: RÜB
- Model: Version 2
- Buttons: OK, Cancel, Reset, More, Help



The screenshot shows the 'Edit PLC : Page 1 of 1' dialog box. It contains the following fields and buttons:

- Name: PLC RÜB
- Model: Discrete
- Buttons: OK, Cancel, Reset, More, Help

# KA Stahnsdorf #3, Run 1 – Einstellungen RÜB

Öffnen Sie *Run 2!*

*File → Open run → Run 2*

RÜB *Operation data:*

		Initial	Change 1	Change 2	Change 3	Char
1	Change at time (h):	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	Pump rate (m <sup>3</sup> /h):	100.00	0.00	0.00	0.00	

OK Cancel Reset

RÜB *Process Calibration:*

Process calibration data : Page 1 of 1

Mode of operation

Constant volume

Infinite volume

Variable volume

Maximum volume (m<sup>3</sup>): 7800

Minimum volume (m<sup>3</sup>): 0

OK Cancel Reset More Help

*Pump rate* (Abpump-Volumenstrom) des RÜB auf 100 m<sup>3</sup>/h eingestellt, wird aber von dem Wert überschrieben, den der PLC triggert.

*Mode of operation* muss auf *Variable volume* gestellt werden!

# KA Stahnsdorf #3, Run 1 – Einstellungen PLC RÜB

Die STOAT-Bausteine zur Steuerung und Regelung werden nicht in die Fließwege des Abwassers integriert, sondern können beliebig auf dem digitalen „Zeichenbrett“ angeordnet werden. Dies trifft auch zu für den Baustein «PLC RÜB» (wurde im Modell beim «RÜB» platziert).

Die Verbindung zwischen PLC und RÜB ist rein logisch und wird mittels *Connectivity* definiert.

PLC RÜB *Connectivity*:

The screenshot shows the 'Ladder Controller' dialog box. It has two main sections: 'Input' and 'Output'.  
In the 'Input' section, the 'Variable' column has radio buttons for 1, 2, 3, 4, and 5. Radio button 1 is selected. The 'Type' column has radio buttons for 'Not used', 'Stream', 'Process', 'Time', and 'Mod time'. The 'Stream' radio button is selected and circled in red. The 'Element' section has a 'Name' dropdown set to 'RÜB\_bypass', a 'Stage' dropdown, and a 'Determinand' dropdown set to 'Flow [m³/h]'.  
In the 'Output' section, there are radio buttons for 'Stream' and 'Process'. The 'Process' radio button is selected and circled in blue. The 'Name' dropdown is set to 'RÜB', the 'Stage' dropdown is empty, and the 'Parameter' dropdown is set to 'Pump rate'.  
At the bottom are 'OK', 'Cancel', and 'Help' buttons.

Input des «PLC RÜB»:  
Volumenstrom in  
«RÜB\_bypass»

Output des «PLC RÜB»:  
*Pump rate* der Entlee-  
rung des RÜB zur Klär-  
anlage

# KA Stahnsdorf #3, Run 1 – Einstellungen PLC RÜB

«999999» ist nach der Syntax des PLC das Synonym für unendlich ( $\infty$ ).

PLC RÜB *Operation data*:

Operation data

		Setting 0	Setting 1	Setting 2	Setting 3	Setting 4	Setting 5	Setting 6	Setting 7	Setting 8	S
1	Variable 1: Greater than:	0.00	500.00	1000.00	1600.00	2200.00	2800.00	3400.00	4000.00	4600.00	
2	Variable 1: Less than:	500.00	1000.00	1600.00	2200.00	2800.00	3400.00	4000.00	4600.00	5200.00	
3	Variable 2: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	Variable 2: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	Variable 3: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	Variable 3: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	Variable 4: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	Variable 4: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Variable 5: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	Variable 5: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	Output value:	6010.00	5510.00	4910.00	4310.00	3710.00	3110.00	2510.00	1910.00	1310.00	

OK Cancel Reset Help

Wenn der Volumenstrom im «RÜB\_bypass» zwischen 0 und 500 m<sup>3</sup>/h liegt, können der Kläranlage aus dem RÜB 6010 m<sup>3</sup>/h zugeführt werden (6510 – 500 = 6010).

Die *Operation data* können per Drag & Drop aus der Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „PLC RÜB“ übernommen werden!

# KA Stahnsdorf #3, Run 1 – Einstellungen PLC RÜB

PLC RÜB *Operation data*:

Operation data

		Setting 0	Setting 1	Setting 2	Setting 3	Setting 4	Setting 5	Setting 6	Setting 7	Setting 8	S
1	Variable 1: Greater than:	0.00	500.00	1000.00	1600.00	2200.00	2800.00	3400.00	4000.00	4600.00	
2	Variable 1: Less than:	500.00	1000.00	1600.00	2200.00	2800.00	3400.00	4000.00	4600.00	5200.00	
3	Variable 2: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	Variable 2: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	Variable 3: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	Variable 3: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	Variable 4: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	Variable 4: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Variable 5: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10	Variable 5: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
11	Output value:	6010.00	5510.00	4910.00	4310.00	3710.00	3110.00	2510.00	1910.00	1310.00	

OK Cancel Reset Help

Wenn der Volumenstrom im «RÜB\_bypass» zwischen 500 und 1000 m<sup>3</sup>/h liegt, können der Kläranlage aus dem RÜB 6010 m<sup>3</sup>/h zugeführt werden (6510 – 1000 = 5510).

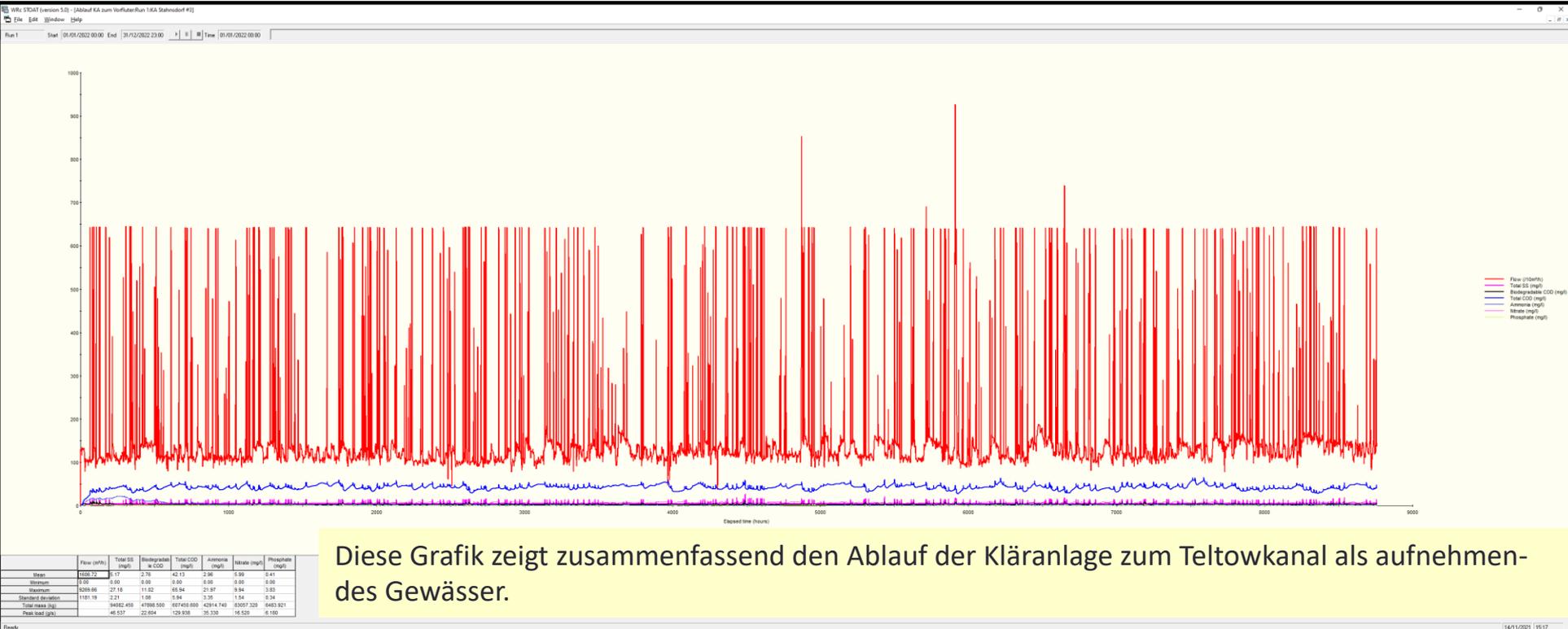
# KA Stahnsdorf #3, Run 1

Starten Sie den  
Rechnerlauf!

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik Teilstrom «Ablauf KA»  
Flow und Konzentration der wichtigsten Parameter

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



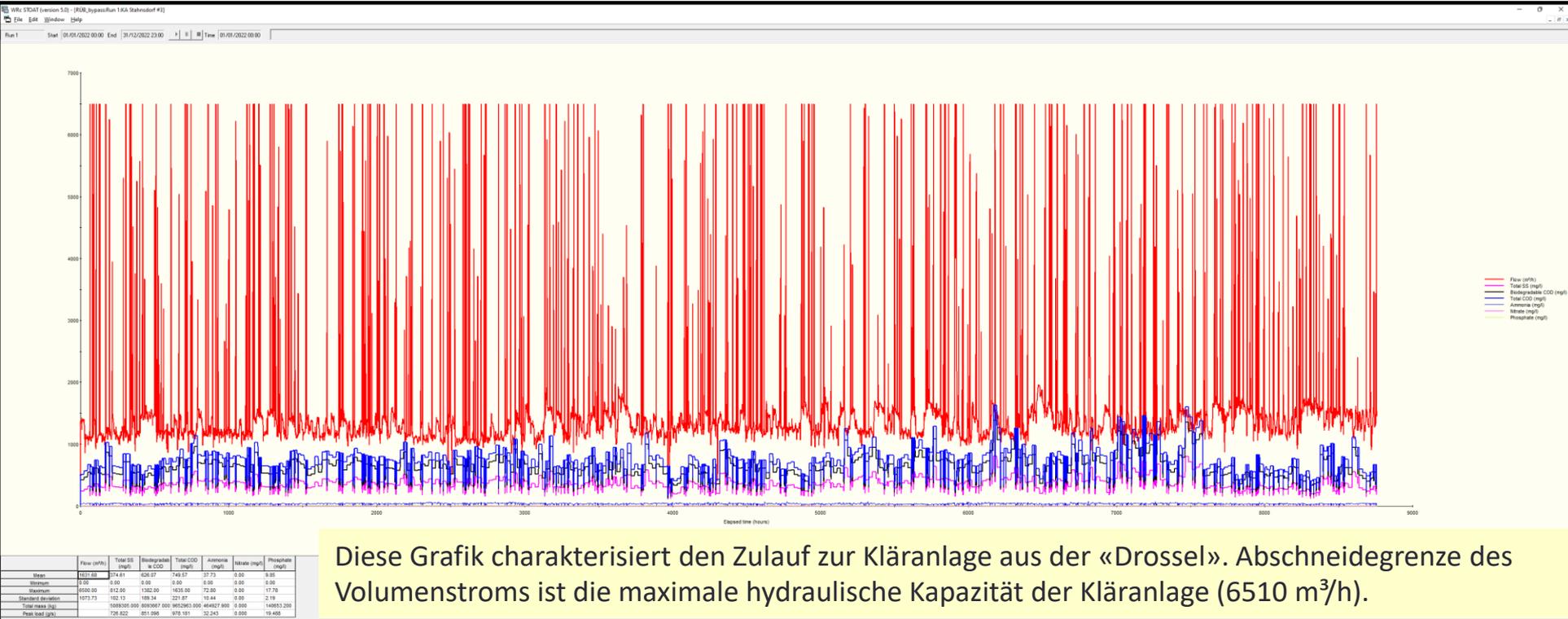
Diese Grafik zeigt zusammenfassend den Ablauf der Kläranlage zum Teltowkanal als aufnehmendes Gewässer.

Mausklick rechts auf Baustein «Ablauf KA» → Results... → Flow (m<sup>3</sup>/h), Total SS (mg/l), Biodegradable COD (mg/l), Total COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Nitrate (mg/l), Phosphate (mg/l) → Graph and summary statistics → Flow scale factor: /10

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik Teilstrom «RÜB-bypass»  
Flow und Konzentration der wichtigsten Parameter

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



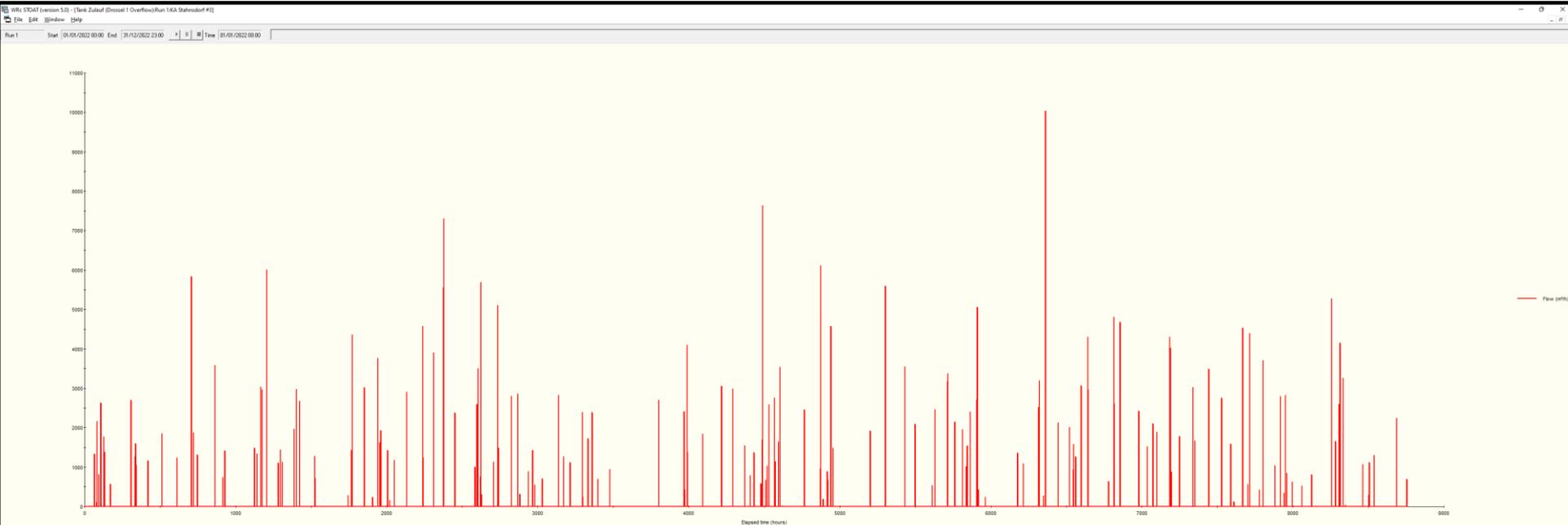
Diese Grafik charakterisiert den Zulauf zur Kläranlage aus der «Drossel». Abschneidegrenze des Volumenstroms ist die maximale hydraulische Kapazität der Kläranlage (6510 m<sup>3</sup>/h).

Mausklick rechts auf Teilstrom «RÜB-bypass» → Results... → Flow (m<sup>3</sup>/h), Total SS (mg/l), Biodegradable COD (mg/l), Total COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Nitrate (mg/l), Phosphate (mg/l) → Graph and summarystatistics → Flow scale factor: 1

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik Teilstrom «Drossel Overflow»  
*Flow* und Konzentration der wichtigsten Parameter

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



Jeder Peak dieser Grafik kennzeichnet ein Niederschlagsereignis, bei dem die maximale hydraulische Kapazität der Kläranlage ( $6510 \text{ m}^3/\text{h}$ ) überschritten wurde. Demzufolge springt der Overflow der Drossel an und es wird Mischabwasser in das RÜB geleitet.

*Biodegradable COD (mg/l), Total COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Nitrate (mg/l), Phosphate (mg/l)*  
→ Graph and summary statistics → Flow scale factor: 1

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik «PLC RÜB»  
*Output*

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



Diese Werte hat die Steuerung getriggert.

Mausklick rechts auf Baustein «PLC RÜB» → *Results...* → *Output*

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik Ableitung von Abwasser aus dem RÜB zur KA  
*Flow*

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



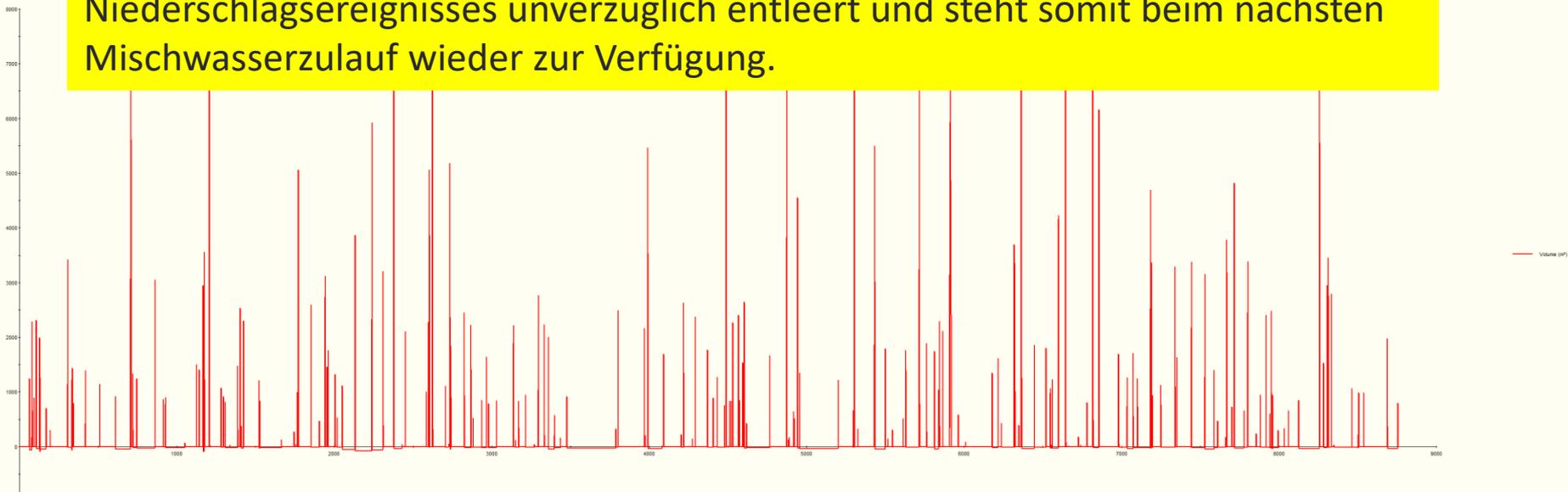
Hier sind die Volumenströme zur Entleerung des RÜB in Richtung Kläranlage dargestellt. Diese Darstellung der Ergebnisse weicht deutlich vom Output des Reglers ab. Das hängt damit zusammen, dass die Signale des Reglers buchstäblich ins Leere laufen, wenn das RÜB kein gespeichertes Mischwasser mehr enthält, also bereits entleert ist. Dennoch ist zu erkennen, dass die *Return pump rate* tatsächlich vom «PLC RÜB» gesteuert wurde.

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik Füllungsstand «Regenüberlaufbecken»  
*Volume in tank (m<sup>3</sup>)*

KA Stahnsdorf #3  
Run 1

Im Unterschied zu Modell #2 wird das RÜB nach jeder Befüllung infolge eines Niederschlagsereignisses unverzüglich entleert und steht somit beim nächsten Mischwasserzulauf wieder zur Verfügung.



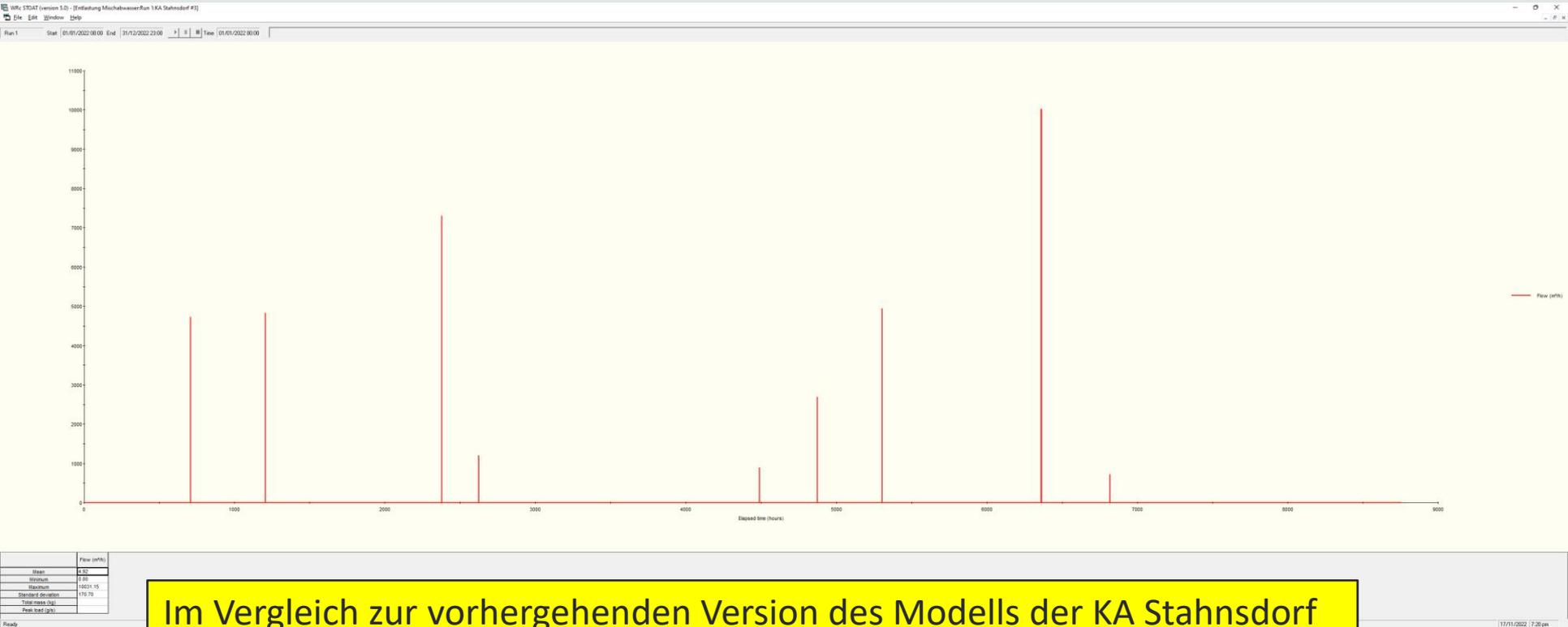
Erwartungsgemäß ähnelt diese Grafik dem Overflow der Drossel als Zulauf zum RÜB. Als „Abschneidegrenze“ wirkt das maximale Volumen des RÜB (7800 m<sup>3</sup>). Geht der Zulauf zum RÜB über dessen Fassungsvermögen hinaus, muss Mischwasser in den Vorfluter entlastet werden – das ist aber nur noch selten der Fall.

Mausklick rechts auf STOAT mit «Regenüberlaufbecken» → *Results...* → *volume in tank (m<sup>3</sup>)*

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

2D-Grafik «Mischwasserentlastung»  
*Flow*

KA Stahnsdorf #3  
Run 1



Im Vergleich zur vorhergehenden Version des Modells der KA Stahnsdorf sind deutlich weniger Überlaufereignisse zu verzeichnen.

Mausklick rechts auf STOAT bit «Mischwasserentlastung» → *Results...* → *Flow (m³/h)*

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #3, Run 1

KA Stahnsdorf #3  
Run 1

Stream summary for KA Stahnsdorf Run 1

Parameter	Mischwasser Zulauf	Zulauf Sandfang	Zulauf VKB	Zulauf BB	Zulauf NKB	Rücklauf am	Ablauf KA zum Vorfluter	Überschuss abklamm	Primärschlamm	stream 10	Return from tank	Entlastung Mischabwasser	Zulauf Schlammzulauf	Zulauf Drossel 2	Zulauf Niederschlag	Tank Zulauf (Drossel 1)	RÜB_bypass
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.91	5.92	5.90	6.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	10.19	9.85	9.84	9.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (mg/l)	47.42	47.43	47.43	45.94	160.23	201.52	9.23	302.74	1274.64	0.00	0.33	8.77	60.67	47.43	2.39	10.75	48.55
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-31.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	109.20	109.20	109.20	98.85	192.83	408.70	24.96	402.70	3585.65	0.00	16.83	11.08	109.20	109.20	3.00	22.28	109.20
Av. PO4 (mg/l)	9.85	9.84	9.84	9.84	0.46	0.45	0.46	0.41	9.94	0.00	9.95	10.18	9.80	9.84	10.00	9.99	9.84
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	17.77	17.77	17.77	16.29	4.30	3.55	3.83	3.55	17.77	0.00	10.74	10.31	17.77	17.77	10.00	10.79	17.77
Av. BOD (kg/h)	933.14	932.67	932.67	882.07	3606.98	3389.13	5.36	219.18	57.90	0.00	14.91	1.51	850.98	932.67	82.16	15.39	917.76
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-750.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	5131.00	3534.47	3534.47	4122.16	19697.88	17689.16	70.87	425.45	228.23	0.00	1813.31	3181.58	2286.16	3534.47	4152.26	3111.63	3062.77
Av. COD (kg/h)	1113.31	1112.76	1112.76	1044.47	6395.04	5959.19	69.26	277.96	77.08	0.00	16.95	1.71	1022.02	1112.76	91.29	17.50	1095.81
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	5770.21	4231.12	4231.12	4231.12	17689.16	17689.16	10.75	425.45	228.23	0.00	1813.31	3584.48	2706.21	4116.53	4613.63	3499.27	3520.97
Av. SS (kg/h)	596.37	596.02	596.02	596.02	2498.20	1795.04	10.75	40.18	7.34	0.00	66.85	1.56	501.43	596.02	94.94	15.19	581.18
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	5375.88	164.96	164.96	164.96	164.96	164.96	164.96	164.96	164.96	0.00	164.96	3281.01	1348.12	2620.58	4798.17	3260.13	2620.58
Av. NH3 (kg/h)	53.49	52.58	52.58	52.58	0.91	0.40	4.90	0.03	0.02	0.00	0.49	0.03	52.58	53.47	0.91	0.40	53.09
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	116.07	127.41	127.41	127.41	127.41	127.41	127.41	127.41	127.41	0.00	127.41	66.24	106.78	123.63	46.14	60.81	116.07
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	85.34	42.20	59.55	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (kg/h)	79.78	79.75	79.75	77.15	457.57	342.79	14.82	22.11	2.77	0.00	0.51	0.04	78.86	79.75	0.91	0.54	79.23
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-22.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	169.73	179.40	179.40	306.08	2498.20	1795.04	147.74	40.18	7.34	0.00	66.85	85.67	160.44	179.40	46.14	77.34	169.73
Av. PO4 (kg/h)	16.57	16.55	16.55	16.53	1.30	0.53	0.74	0.03	0.02	0.00	0.49	0.05	12.74	16.55	3.83	0.50	16.06
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	169.71	88.83	88.83	90.02	43.64	15.72	21.80	0.21	0.09	0.00	59.64	103.25	27.72	88.83	153.79	102.92	70.26

Ein Vergleich zwischen Mischwasserzulauf und Ablauf der KA zum Vorfluter zeigt wiederum die hohe Reinigungsleistung.

Über die Mischwasserentlastung werden jetzt nur noch minimale Schadstofffrachten in den Vorfluter geleitet

Bilanz der Massenströme

STOAT Menü → Tools → Stream reports → Mass balance

# KA Stahnsdorf #4 (Modell #3 zuzügl. PLC's und Fuzzy)

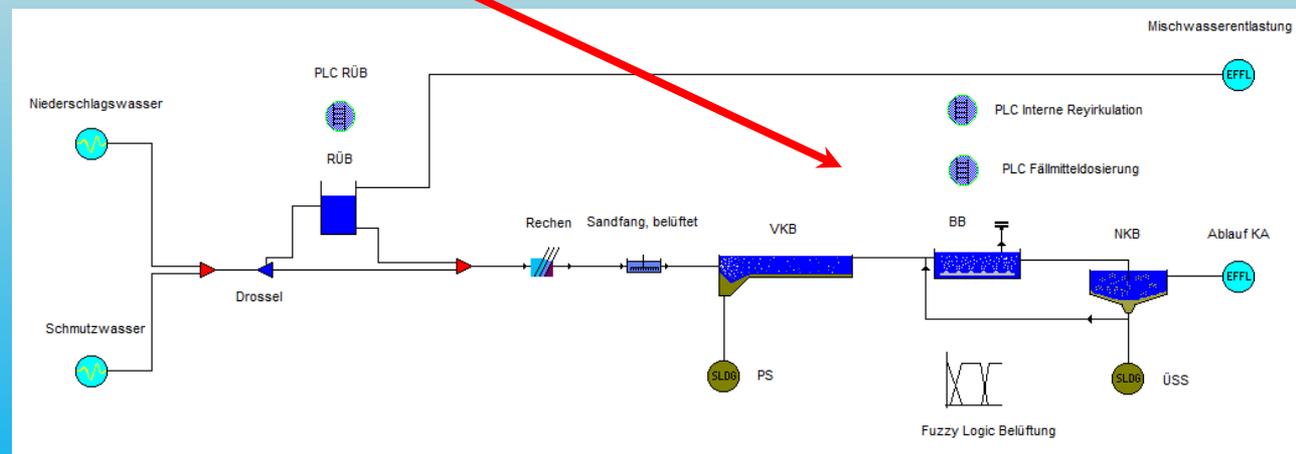
Öffnen Sie Modell „KA Stahnsdorf #4“! (Zuzüglich zu PLC RÜB werden PLC's zur Steuerung der internen Rezirkulation und zur Fällmitteldosierung eingesetzt. Außerdem erfolgt die Belüftungssteuerung mit einem Fuzzy-Logic-Regler.)



Eine weitere Änderung des Modells betrifft das Belebungsbecken: Hier wird die Anzahl der Stufen von 3 auf 4 gesetzt. Damit kann zusätzlich zu anerob, anoxisch und aerob eine Stufe simuliert werden, die fakultativ aerob oder anoxisch gefahren wird (N / DN).



Die Mischwasserentlastung ist mit Modell #3 bereits optimal. Modell #4 zielt daher auf die Verringerung der Fracht aus dem *Ablauf KA* – mittels weiterer Steuerungsbausteine.



# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – PLC Fällmitteldosierung

Programmierung der PLC's für Fällmitteldosierung und interne Rezirkulation grundsätzlich analog PLC RÜB!

«PLC Fällmitteldosierung»  
Connectivity:

Input:  
Phosphatkonzentration des Zulaufs zum NKB

Output:  
Volumenstrom der Fällmittel-Dosierung

«PLC Fällmitteldosierung»  
Operation data:

Operation data

		Setting 0	Setting 1	Setting 2	Setting 3	Setting 4	Setting
1	Variable 1: Greater than:	0.00	0.50	0.80	1.00	1.20	
2	Variable 1: Less than:	0.50	0.80	1.00	1.20	1.50	
3	Variable 2: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	Variable 2: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5	Variable 3: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6	Variable 3: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7	Variable 4: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8	Variable 4: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9	Variable 5: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
		0.50	0.80	1.20	1.50		

Übernahme der *Operation data* per Drag & Drop aus der Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „PLC Fällmitteldosierung“!

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – PLC interne Rezirkulation

Programmierung der PLC's für Fällmitteldosierung und interne Rezirkulation grundsätzlich analog PLC RÜB!

«PLC int. Rezirkulation»  
Connectivity:

Input:  
Volumenstrom des Zulaufs zum BB

Output:  
Volumenstrom der internen Rezirkulation

«PLC int. Rezirkulation»  
Operation data:

Operation data

		Setting 0	Setting 1	Setting 2	Setting 3	Setting 4
1	Variable 1: Greater than:	0.00	500.00	1000.00	1600.00	2200.00
2	Variable 1: Less than:	500.00	1000.00	1600.00	2200.00	2800.00
3	Variable 2: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Variable 2: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Variable 3: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Variable 3: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Variable 4: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Variable 4: Less than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Variable 5: Greater than:	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
			0.00	0.00	0.00	0.00
			3000.00	4800.00	6600.00	8400.00

Übernahme der *Operation data* per Drag & Drop aus der Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „PLC int. Rezirkulation“!

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – BB Stage Data

BB Stufe 3 soll mit Hilfe von «Fuzzy Logic Belüftung» so gesteuert werden, dass zur sicheren Einhaltung der Grenzwerte für Ammonium und Gesamtstickstoff entweder anoxische, aerobe oder dazwischen liegende Bedingungen herrschen!

Einstellungen bewirken, dass in Stufe 3 ein Gelöst-sauerstoffgehalt im Bereich zwischen 0 und 2 mg/l möglich ist. Der jeweilige Wert wird vom *Fuzzy Logic Controller* vorgegeben.

Flow distribution data

		Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
1	Volume fraction:	0.100	0.250	0.200	0.450
2	Feed distribution:	1.000	0.000	0.000	0.000
3	RAS distribution:	1.000	0.000	0.000	0.000
4	DO Control:	Fixed KLa	PI	PI	PI
5	Minimum KLa (1/h):	0.00	0.00	0.00	1.00
6	KLa setting 1 (1/h):	7.00	7.00	7.00	0.00
7	KLa setting 2 (1/h):	4.00	4.00	4.00	0.00
8	Maximum KLa (1/h):	0.00	0.00	6.00	6.00
9	DO Setpoint (mg/l):	0.00	0.00	2.00	2.00
10	Nitrate on (mg/l):	5.00	5.00	5.00	0.00
11	Nitrate off (mg/l):	20.00	20.00	20.00	0.00
12	DO on (mg/l):	1.00	1.00	1.00	0.00
13	DO off (mg/l):	3.00	3.00	3.00	0.00
14	DO on 1 (mg/l):	1.00	1.00	1.00	0.00
15	DO on 2 (mg/l):	2.00	2.00	2.00	0.00
16	DO on 3 (mg/l):	3.00	3.00	3.00	0.00
17	Aeration on time (h):	0.80	0.80	0.80	0.00
18	Aeration cycle time (h):	1.00	1.00	1.00	0.00
19	DO Control stage:	1	2	3	4
20	Gain:	1.30	1.30	1.30	1.30
21	Integral time:	0.50	0.50	0.50	0.25

anaerob      anoxisch      fakultativ anoxisch / aerob      aerob

BioP      DN      N/DN      N

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – Fuzzy Logic Belüftung

## Input

*Fuzzy Logic Belüftung → Input data → Operation*

Fuzzy Logic Editor														
Inputs    Outputs    Control rules    Config														
	Type	Name	Stage	Determinand	Minimum	Maximum	VS	S1	S2	A1	A2	L1	L2	VL
1	Stream	Ablauf BB	1	Ammonia (mg/l)	0.00	21.00	1.00	0.30	2.80	1.00	4.50	2.00	7.00	4.50
2	Stream	Ablauf BB	1	Nitrate (mg/l)	0.00	10.00	5.00	3.00	7.00	5.00	8.50	7.00	10.00	8.50
3														
4														

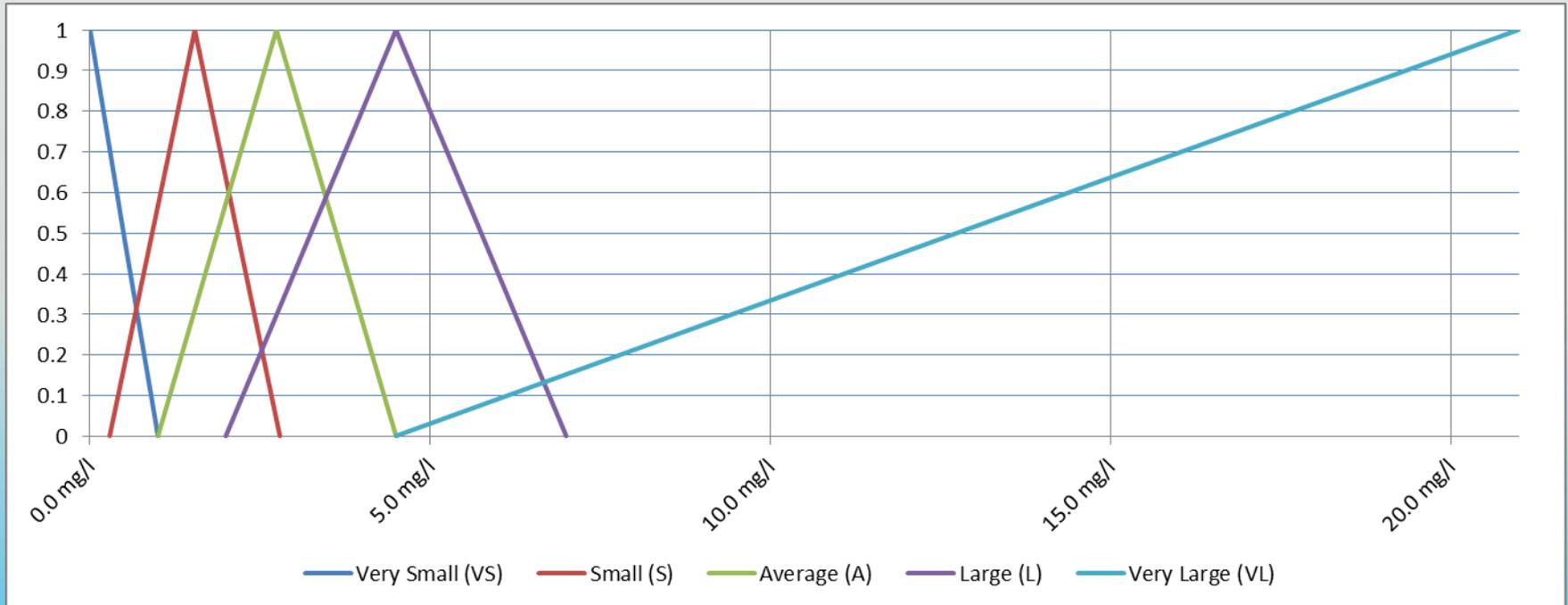
Die Wirkung der gewählten Grenzen für die Inputwerte lässt sich am besten verstehen über die sog. **Membership function** (Zugehörigkeitsfunktion).

Auch die zur Konfiguration des Fuzzy Logic Controllers erforderlichen Werte brauchen Sie nicht einzeln einzutippen, sondern können Sie aus der Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „Fuzzy Logic Belüftung“ übernehmen!

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – Fuzzy Logic Belüftung

## Input

Membership function für Ammonia:

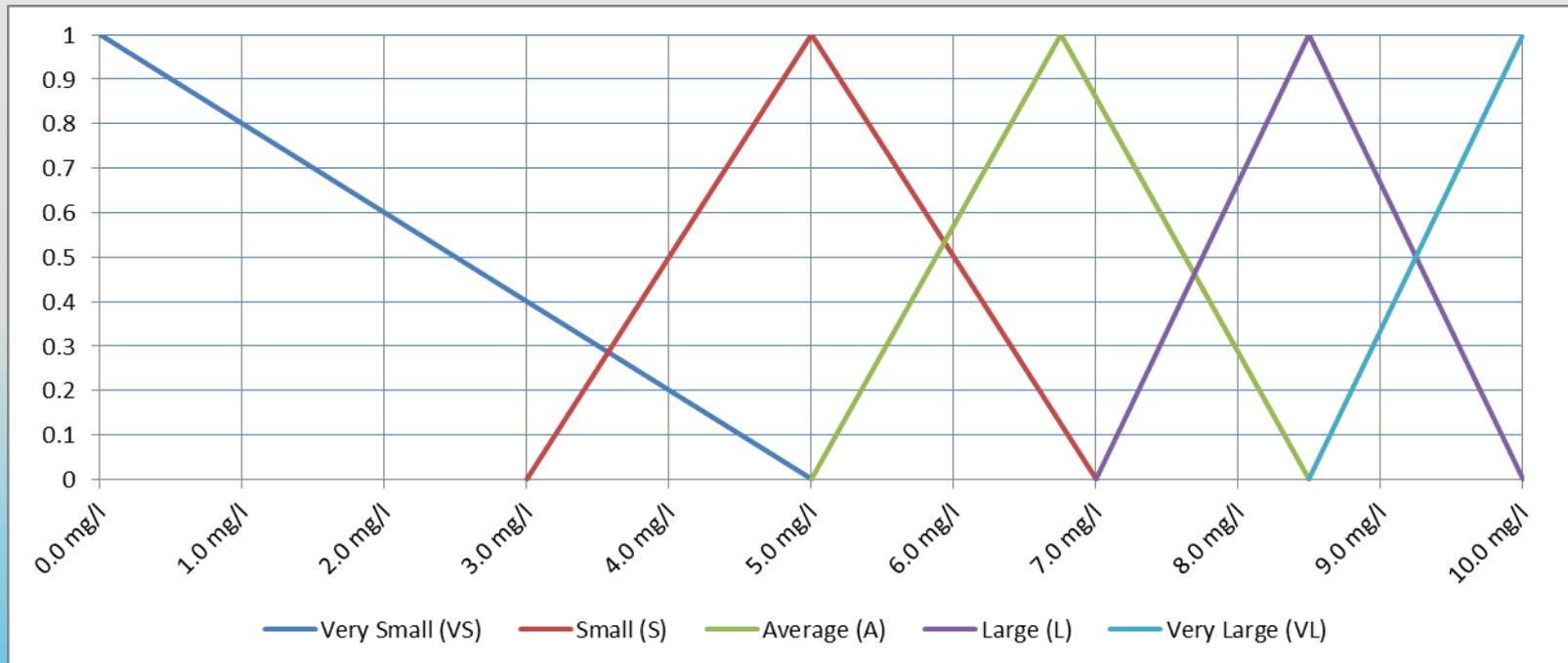


Siehe Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „Fuzzy Logic Belüftung“

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – Fuzzy Logic Belüftung

## Input

Membership function für Nitrate:



Siehe Excel-Datei „KA Stahnsdorf STOAT Hintergrundberechnungen.xlsx“, Register „Fuzzy Logic Belüftung“

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – Fuzzy Logic Belüftung

## Output

*Fuzzy Logic Belüftung → Input data → Operation  
→ Register Output*

Fuzzy Logic Editor

Inputs  Outputs  Control rules  Config

	Name	Stage	Parameter	Minimum	Maximum	Large decrease	Small decrease	Small increase	Large increase
1	BB	3	DO setpoint	0.00	2.00	-1.00	-0.50	0.50	1.00
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

Gesteuert wird der Sauerstoff-Sollwert in Stufe 3 des BB im Bereich zwischen 0 und 2 mg/l. Je nach Ergebnis der Berechnung des Reglers wird der Sauerstoff-Sollwert auf der vorhergehenden Einstellung belassen oder um 1 bzw. 0,5 mg/l verringert bzw. erhöht.

# KA Stahnsdorf #4, Run 1 – Fuzzy Logic Belüftung

Fuzzy Logic Editor

Inputs   Outputs   **Control rules**

**Control rules**

	Input	B	C	
1	Output	Change	Input #1	Input #2
2	Output #1	N	VS	VS
3	Output #1	SD	VS	S
4	Output #1	SD	VS	A
5	Output #1	LD	VS	L
6	Output #1	LD	VS	VL
7	Output #1	SI	S	VS
8	Output #1	SI	S	S
9	Output #1	SD	S	A
10	Output #1	SD	S	L
11	Output #1	LD	S	VL
12	Output #1	LI	A	VS
13	Output #1	LI	A	S
14	Output #1	SI	A	A
15	Output #1	SI	A	L
16	Output #1	SD	A	VL
17	Output #1	LI	L	VS
18	Output #1	LI	L	S
19	Output #1	SI	L	A
20	Output #1	SI	L	L
21	Output #1	SI	L	VL
22	Output #1	LI	VL	VS
23	Output #1	LI	VL	S
24	Output #1	SI	VL	A
25	Output #1	SI	VL	L
26	Output #1	SI	VL	VL
27				
28				

OK   Cancel

*Fuzzy Logic Belüftung* → *Input data* → *Operation* → *Register Output*

**Ist Input #1 (Konzentration von Ammoniumstickstoff) VS (Very Small) und**

1. Input #2 (Konzentration von Nitratstickstoff) VS (Very Small), dann triggere N (Nothing to do)
2. Input #2 S (Small), dann triggere SD (Small Decrease)
3. Input #2 A (Average), dann triggere SD (Small Decrease)
4. Input #2 L (Large), dann triggere LD (Large Decrease)
5. Input #2 VL (Very Large), dann triggere LD (Large Decrease)

**Ist Input #1 S (Small) und**

1. Input #2 VS (Very Small), dann triggere SI (Small Increase)
2. Input #2 S (Small), dann triggere SI (Small Increase)
3. Input #2 A (Average), dann triggere SD (Small Decrease)
4. Input #2 L (Large), dann triggere SD (Small Decrease)
5. Input #2 VL (Very Large), dann triggere LD (Large Decrease)

**Ist Input #1 VL (Very Large) und**

1. Input #2 VS (Very Small), dann triggere LI (Large Increase)
2. Input #2 S (Small), dann triggere LI (Large Increase)
3. Input #2 A (Average), dann triggere SI (Small Increase)
4. Input #2 L (Large), dann triggere SI (Small Increase)
5. Input #2 VL (Very Large), dann triggere SI (Small Increase)

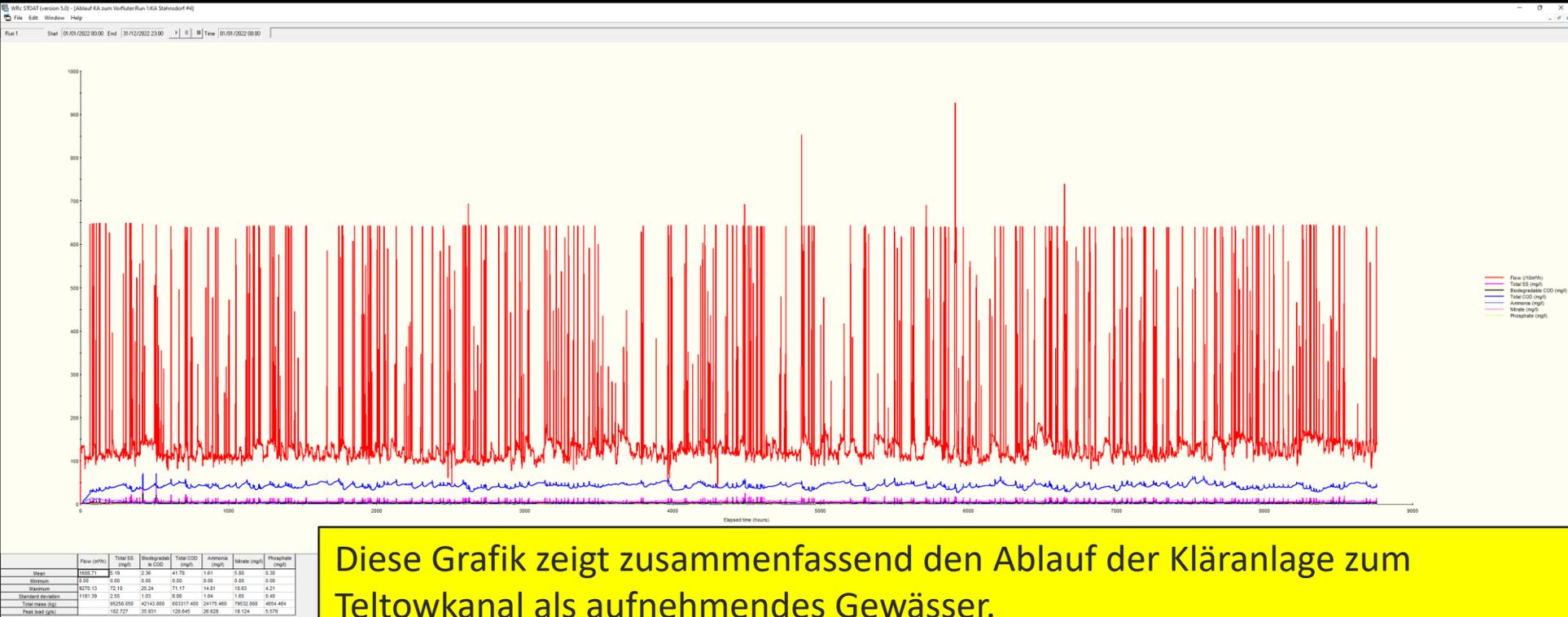
# KA Stahnsdorf #4, Run 1

Starten Sie den  
Rechnerlauf!

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

2D-Grafik Teilstrom «Ablauf KA»  
Flow und Konzentration der wichtigsten Parameter

KA Stahnsdorf #4  
Run 1



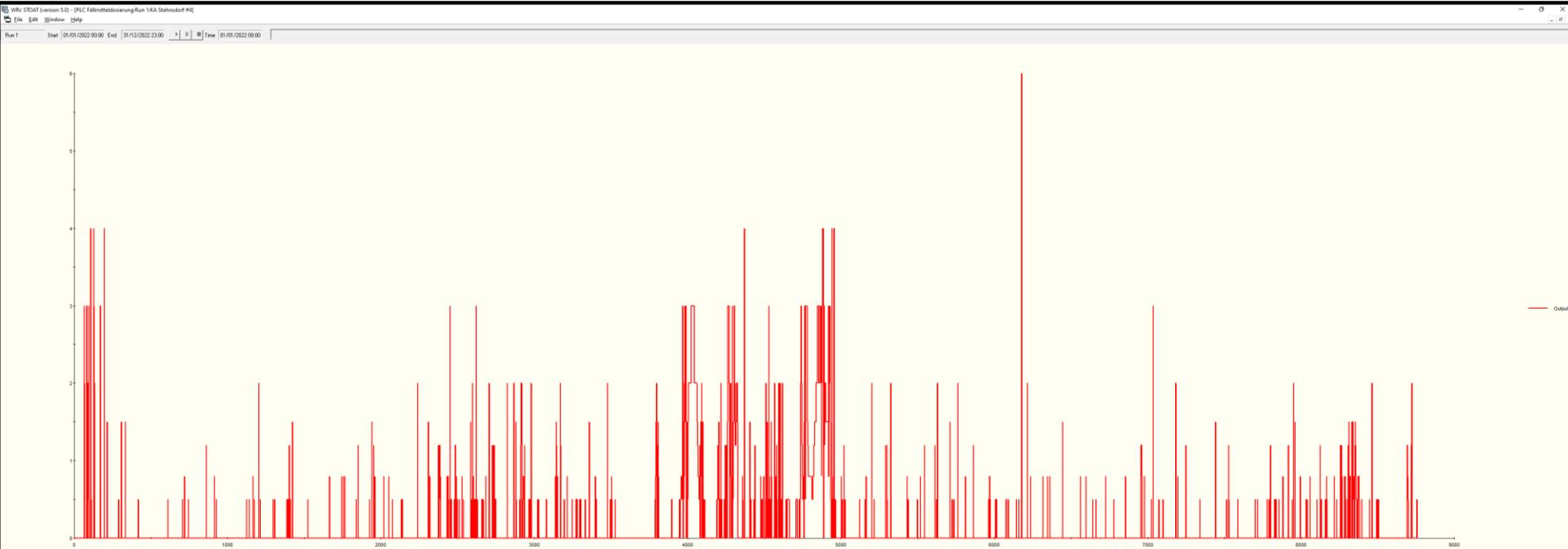
Diese Grafik zeigt zusammenfassend den Ablauf der Kläranlage zum Teltowkanal als aufnehmendes Gewässer.

Mausklick rechts auf STODAT bit «Ablauf KA» → Results... → Flow (m<sup>3</sup>/h), Total SS (mg/l), Biodegradable COD (mg/l), Total COD (mg/l), Ammonia (mg/l), Nitrate (mg/l), Phosphate (mg/l) → Graph and summarystatistics → Flow scale factor: /10

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

2D-Grafik Steuersignal des Reglers «*PLC Fällmitteldosierung*»  
*Output*

KA Stahnsdorf #4  
Run 1

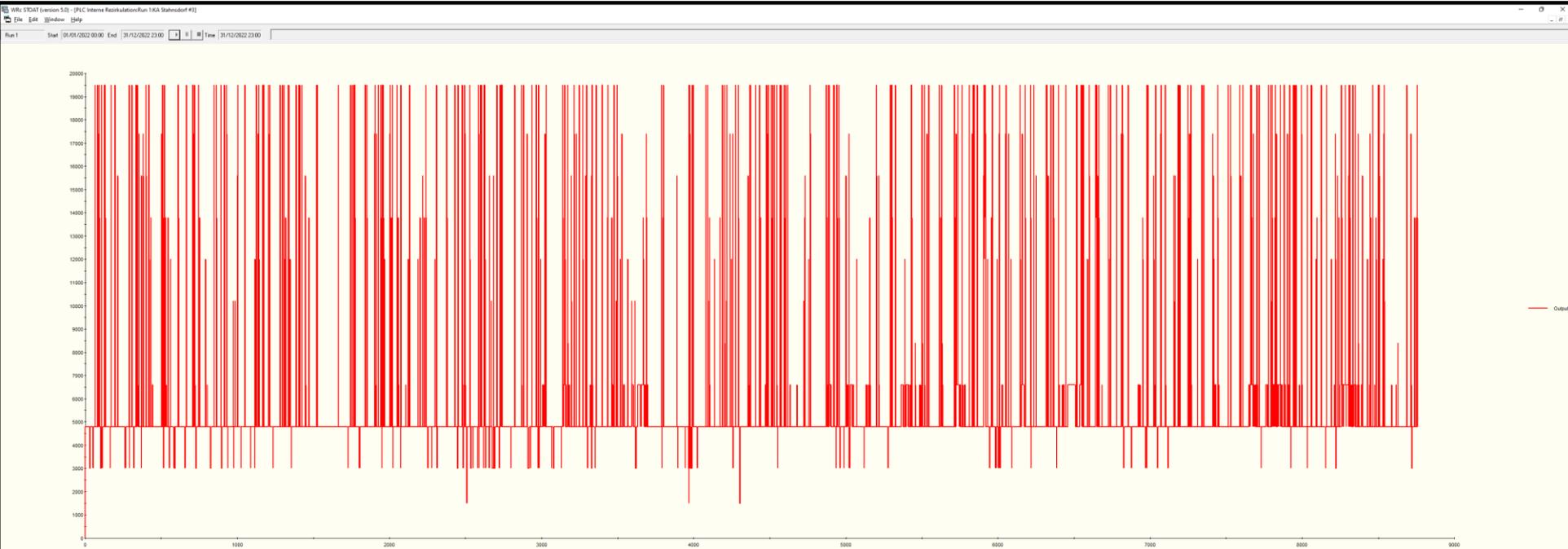


Der «*PLC Fällmitteldosierung*» tritt insgesamt eher selten in Funktion. Am häufigsten sind die Signale in der Jahresmitte. In der warmen Jahreszeit sinkt die Sauerstoffsättigungskonzentration, die Belüftung kommt schneller an ihre Grenzen und lässt weniger BioP zu. Damit stellt sich eine höhere Ausgangskonzentration für die Phosphatfällung ein, was wiederum mehr Fällmittel erfordert.

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

2D-Grafik Steuersignal des Reglers «PLC Interne Rezirkulation»  
*Output*

KA Stahnsdorf #4  
Run 1



Im Gegensatz zum «PLC Fällmitteldosierung» ist der «PLC Interne Rezirkulation» ohne Unterbrechung in Funktion. Die niedrigsten Szenarien treten selten auf, die Signale häufen sich im oberen Bereich. Das widerspiegelt das Übergewicht höherer Abwasserzuflüsse zum BB – als Input des Reglers - infolge der Rückleitung aus dem RÜB.

Mausklick rechts auf «PLC interne Rezirkulation» → results... → Output

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

2D-Grafik Volumenstrom der internen Rezirkulation  
*Output*

KA Stahnsdorf #4  
Run 1

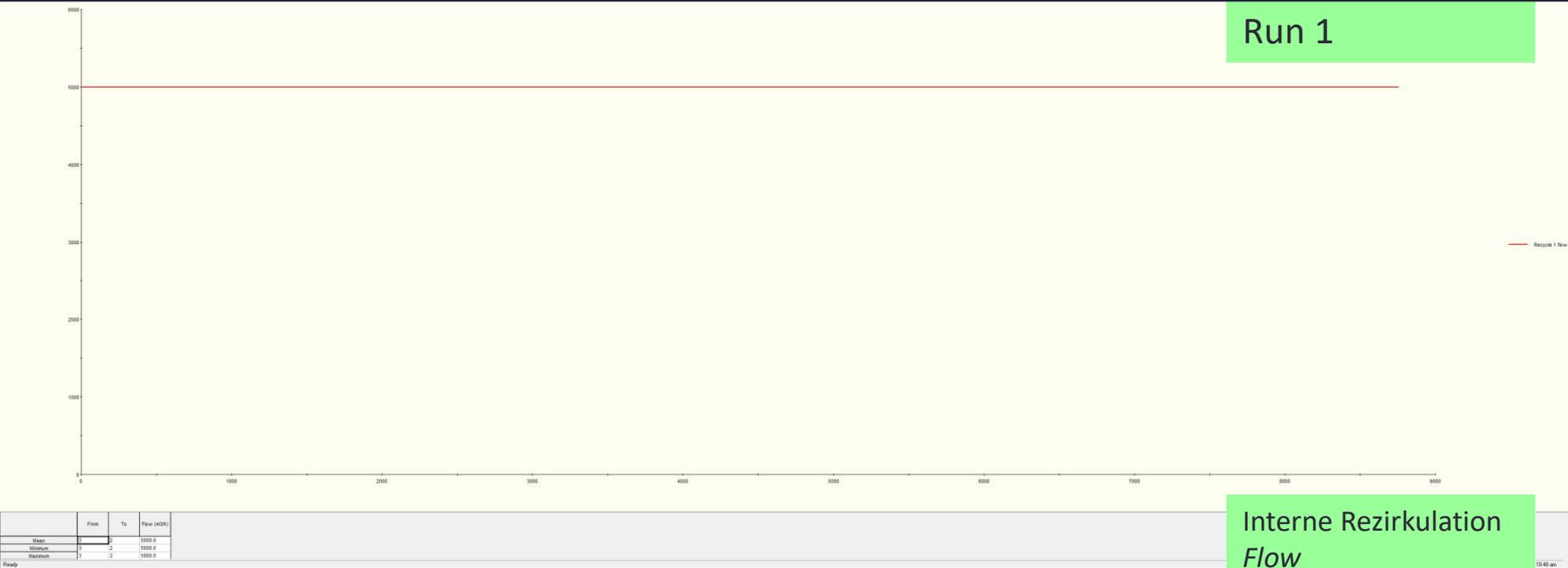


Diese Grafik stimmt vollständig überein mit der Anzeige des *Outputs* des «*PLC Interne Rezirkulation*». Das zeigt, dass die Regelung 100%ig funktioniert hat.

Mausklick rechts auf BB → *Results...* → *MLSS Recycle results* → *Flow (m³/h)*

# ... Resultate überprüfen – Schlussfolgerungen?

Im Gegensatz zu den vorherigen Modellen #2 und #3 ist der Abwasservolumenstrom der internen Rezirkulation nicht konstant, sondern verändert sich ständig - und zwar proportional zum Abwasservolumenstrom im Zulauf des Belebungsbeckens.



Mausklick rechts auf «BB» → *MLSS recycle results* → *From / To / Flow* → *Graph and summary statistics* → Mausclick rechts auf Grafik, Maßstab der Y-Achse verändern

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

KA Stahnsdorf #4  
Run 1

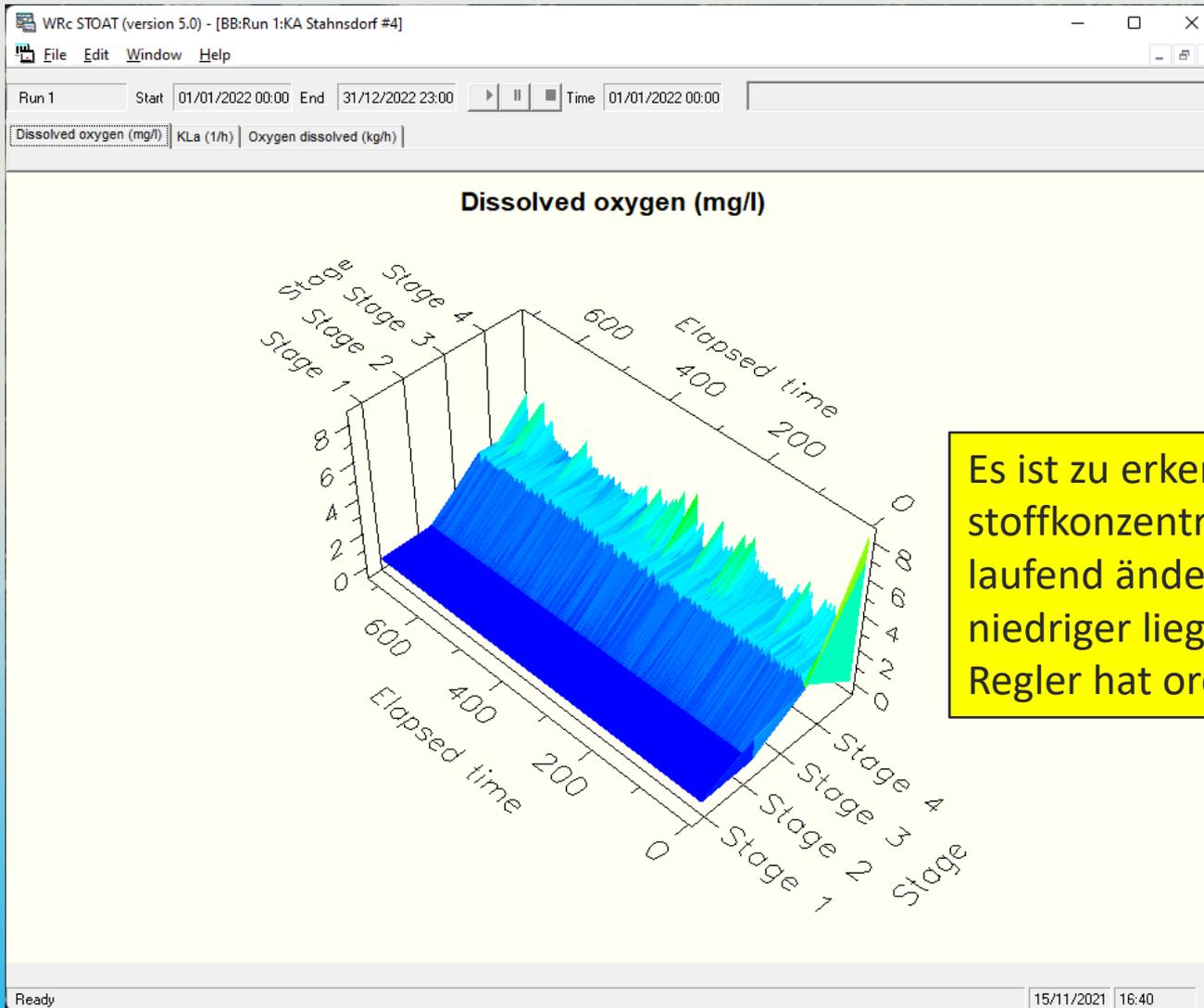
Date and time (dd/mm/yyyy hh.nn)	Elapsed time (h)	Output #1
17/01/2022 12:00	396.00	SD
17/01/2022 13:00	397.00	SD
17/01/2022 14:00	398.00	SD
17/01/2022 15:00	399.00	SD
17/01/2022 16:00	400.00	LI
17/01/2022 17:00	401.00	LI
17/01/2022 18:00	402.00	LI
17/01/2022 19:00	403.00	LI
17/01/2022 20:00	404.00	LI
17/01/2022 21:00	405.00	LI
17/01/2022 22:00	406.00	SI
17/01/2022 23:00	407.00	SI
18/01/2022 00:00	408.00	SD
18/01/2022 01:00	409.00	SD
18/01/2022 02:00	410.00	SD
18/01/2022 03:00	411.00	SD
18/01/2022 04:00	412.00	SD
18/01/2022 05:00	413.00	SD
18/01/2022 06:00	414.00	SD
18/01/2022 07:00	415.00	SD
18/01/2022 08:00	416.00	SD
18/01/2022 09:00	417.00	SD
18/01/2022 10:00	418.00	SD
18/01/2022 11:00	419.00	LI
18/01/2022 12:00	420.00	LI
18/01/2022 13:00	421.00	LI
18/01/2022 14:00	422.00	LI
18/01/2022 15:00	423.00	LI
18/01/2022 16:00	424.00	LI
18/01/2022 17:00	425.00	SI
18/01/2022 18:00	426.00	SI
18/01/2022 19:00	427.00	SI
18/01/2022 20:00	428.00	SD
18/01/2022 21:00	429.00	SD
18/01/2022 22:00	430.00	SI
18/01/2022 23:00	431.00	SI
19/01/2022 00:00	432.00	SI
19/01/2022 01:00	433.00	SI
19/01/2022 02:00	434.00	LI
19/01/2022 03:00	435.00	SI
19/01/2022 04:00	436.00	SI
19/01/2022 05:00	437.00	SI
19/01/2022 06:00	438.00	SI
19/01/2022 07:00	439.00	SI
19/01/2022 08:00	440.00	SI

Steuersignale des Reglers «Fuzzy Logic Belüftung»  
*Output* (nur als Tabelle einsehbar)

Anhand dieser Ergebnistabelle ist zunächst nur zu erkennen, dass der Fuzzy Regler „gefeuert“ hat. Ob das auch zu der gewünschten Veränderung der Belüftung von Stufe 3 des BB geführt hat, kann nur im BB selbst und anhand der Veränderung der Eliminierungsleistungen überprüft werden (siehe nächste Folien).

Mausklick rechts auf «Fuzzy Logic Belüftung»  
→ *Results...* → *Output* → Timeseries data only

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1



KA Stahnsdorf #4  
Run 1

3D-Grafik «BB»  
Dissolved Oxygen  
(Gelöstsauerstoff-  
konzentration)

Es ist zu erkennen, dass sich die Sauerstoffkonzentration in Stufe 3 des BB laufend ändert und dass sie insgesamt niedriger liegt, als in Stufe 4 des BB. Ergo: Regler hat ordnungsgemäß gearbeitet.

Mausklick rechts auf «BB»  
→ *Results...*  
→ *Dissolved Oxygen (mg/l)*

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

KA Stahnsdorf #4  
Run 1

	A	B	C	D	E	F
	Date and time (dd/mm/yyyy hh:nn)	Elapsed time (h)	Stage	Dissolved oxygen (mg/l)	K <sub>La</sub> (1/h)	Oxygen dissolved (kg/h)
1						
25696	25/09/2022 15:00	642	3	1.5	4.1	461.4
25700	25/09/2022 16:00	642	3	1.4	4.4	489.9
25704	25/09/2022 17:00	642	3	1.6	4.2	461.6
25708	25/09/2022 18:00	642	3	1.5	4.2	465.2
25712	25/09/2022 19:00	642	3	1.5	4.2	467.6
25716	25/09/2022 20:00	642	3	1.5	4.2	471
25720	25/09/2022 21:00	642	3	1.4	4.4	494
25724	25/09/2022 22:00	643	3	1.5	4.5	500.1
25728	25/09/2022 23:00	643	3	1.5	4.5	492.4
25732	26/09/2022 00:00	643	3	1.5	4.4	485.3
25736	26/09/2022 01:00	643	3	1.5	4.4	482.1
25740	26/09/2022 02:00	643	3	1.5	4.4	483.3
25744	26/09/2022 03:00	643	3	1.6	4.3	467.5
25748	26/09/2022 04:00	643	3	1.5	4.2	467.1
25752	26/09/2022 05:00	643	3	1.5	4.3	476.7
25756	26/09/2022 06:00	643	3	1.2	3.9	452.4
25760	26/09/2022 07:00	643	3	1.0	3.9	451.5
25764	26/09/2022 08:00	644	3	1.3	4.3	487.6
25768	26/09/2022 09:00	644	3	1.4	4.5	499.8
25772	26/09/2022 10:00	644	3	1.5	4.6	507.5
25776	26/09/2022 11:00	644	3	1.5	4.6	510.9
25780	26/09/2022 12:00	644	3	1.5	4.6	513.3
25784	26/09/2022 13:00	644	3	1.4	4.8	542.9
25788	26/09/2022 14:00	644	3	0.6	6	739
25792	26/09/2022 15:00	644	3	1.5	6	680.7
25796	26/09/2022 16:00	644	3	2.6	4.2	416.1
25800	26/09/2022 17:00	644	3	2.2	3.7	384.1
25804	26/09/2022 18:00	645	3	2.0	3.7	387.9
25808	26/09/2022 19:00	645	3	1.5	3.5	392.8
25812	26/09/2022 20:00	645	3	1.5	3.6	411
25816	26/09/2022 21:00	645	3	1.4	3.8	429.5
25820	26/09/2022 22:00	645	3	1.4	3.9	446.8
25824	26/09/2022 23:00	645	3	1.4	4.1	462.8
25828	27/09/2022 00:00	645	3	1.5	4.2	475.7
25832	27/09/2022 01:00	645	3	1.5	4.2	473.1
25836	27/09/2022 02:00	645	3	1.5	4.3	481.9

Exportiert man die Ergebnistabelle des BB in Excel, lässt sich mit wenigen Handgriffen die Sauerstoffkonzentration in Stufe 3 filtern. Daran sind die stündlichen Änderungen im Detail zu erkennen. Auch hier zeigt sich: Regler hat ordnungsgemäß gearbeitet!

# Ergebnisse KA Stahnsdorf #4, Run 1

KA Stahnsdorf #4  
Run 1

WRC STOAT (version 5.0) - [Stream summary for KA Stahnsdorf #4, Run 1]

Run 1 Start: 01/01/2022 00:00 End: 31/12/2022 23:00 Time: 01/01/2022 00:00

Parameter	Mischwasser (Zulauf)	Zulauf Sandfang	Zulauf VKB	Zulauf BB	Zulauf NKB	Rücklaufschlamm	Ablauf KA zum Vorfluter	Überschussschlamm	Primärschlamm	stream 10	Returnflow from tank	Entlastung Mischabwasser	Zulauf Schmutzwasser	Zulauf Drossel 2	Zulauf Niederschlag	Tank Zulauf (Drossel 1)	RÜB_bypass
Av. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	5.66	5.66	5.64	5.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	11.21	10.41	10.33	10.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (mg/l)	47.42	47.42	47.42	45.93	159.99	201.68	7.63	305.45	1274.47	0.00	10.41	8.78	60.67	47.42	2.39	10.76	48.55
Min. TN (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (mg/l)	109.20	109.20	109.20	98.85	192.59	408.34	16.90	408.34	3585.65	0.00	16.83	11.08	109.20	109.20	3.00	22.28	109.20
Av. PO4 (mg/l)	9.85	9.85	9.85	9.84	0.33	0.32	0.33	0.28	9.94	0.00	9.97	10.18	9.85	9.85	10.00	9.99	9.84
Min. PO4 (mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (mg/l)	17.77	17.77	17.77	16.29	1.90	3.32	4.21	3.32	17.77	0.00	10.74	10.31	17.77	17.77	10.00	10.79	17.77
Av. BOD (kg/h)	933.14	932.94	932.94	882.18	3574.10	3363.45	4.79	212.43	57.90	0.00	15.26	1.51	850.98	932.94	82.16	15.46	917.68
Min. BOD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. BOD (kg/h)	5131.00	3506.33	3506.33	4122.15	20425.70	18419.55	129.19	418.33	228.29	0.00	1806.59	3184.88	2286.16	3506.33	4152.26	3114.73	3058.07
Av. COD (kg/h)	1113.31	1113.06	1113.06	1044.00	5232.66	5002.54	68.86	373.66	77.09	0.00	17.33	1.71	1032.03	1113.06	81.28	17.59	1095.72
Min. COD (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. COD (kg/h)	5770.21	3506.33	3506.33	4122.15	20425.70	18419.55	462.95	674.98	306.20	0.00	2053.99	3588.22	2286.16	3506.33	4152.26	3114.73	3058.07
Av. SS (kg/h)	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37	10.88	550.51	114.25	0.00	15.17	1.56	596.37	596.37	596.37	596.37	596.37
Min. SS (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. SS (kg/h)	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	369.82	978.35	436.60	0.00	1712.92	3284.18	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88	5375.88
Av. NH3 (kg/h)	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49	2.76	0.10	0.08	0.00	0.39	0.03	53.49	53.49	53.49	53.49	53.49
Min. NH3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NH3 (kg/h)	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07	95.86	0.53	0.43	0.00	50.58	66.32	116.07	116.07	116.07	116.07	116.07
Av. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.08	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Min. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. NO3 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	65.25	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Av. TN (kg/h)	79.78	79.78	79.78	79.78	79.78	79.78	12.27	21.68	2.77	0.00	0.52	0.04	79.78	79.78	79.78	79.78	79.78
Min. TN (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. TN (kg/h)	169.73	169.73	169.73	169.73	169.73	169.73	107.87	39.76	7.34	0.00	68.88	85.78	169.73	169.73	169.73	169.73	169.73
Av. PO4 (kg/h)	16.57	16.56	16.56	16.54	0.35	0.38	0.53	0.02	0.02	0.00	0.50	0.05	16.56	16.56	3.83	0.51	16.06
Min. PO4 (kg/h)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max. PO4 (kg/h)	169.71	93.72	93.72	94.99	54.11	13.22	20.08	0.25	0.09	0.00	59.54	103.35	27.72	93.72	153.79	103.02	70.16

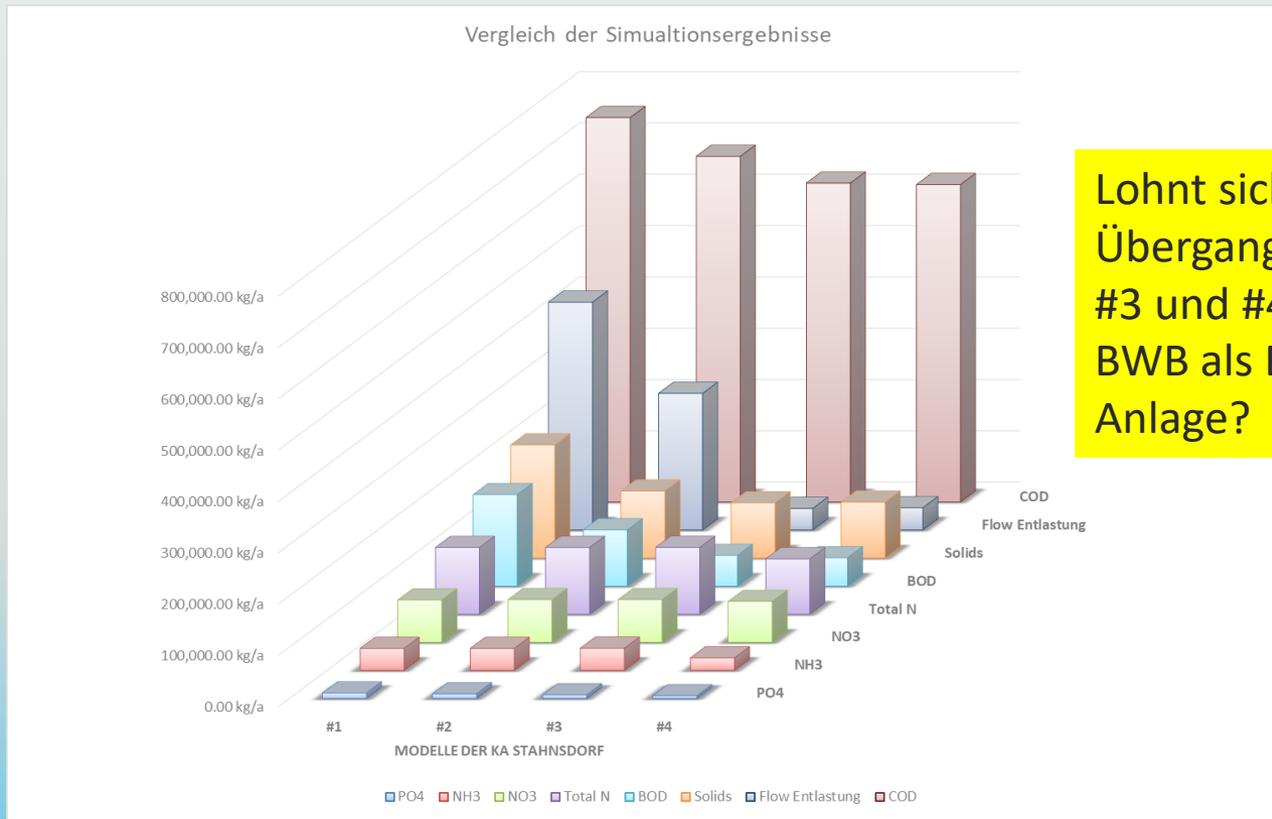
Ein Vergleich zwischen Mischwasserzulauf und Ablauf der KA zum Vorfluter zeigt wiederum hohe Reinigungsleistung. Dank PLC's und Fuzzy-Regler sind die Ablaufwerte – z.B. bei BOD, N und PO4 – noch besser als in Modell #3.

An der Mischwasserentlastung ändert sich nichts im Vergleich zum vorhergehenden Modell. Es werden nur noch minimale Schadstofffrachten in den Vorfluter geleitet.

STOAT Menü → Tools → Stream reports → Mass balance

Bilanz der Massenströme

# Ergebnisse der Simulation der KA Stahnsdorf



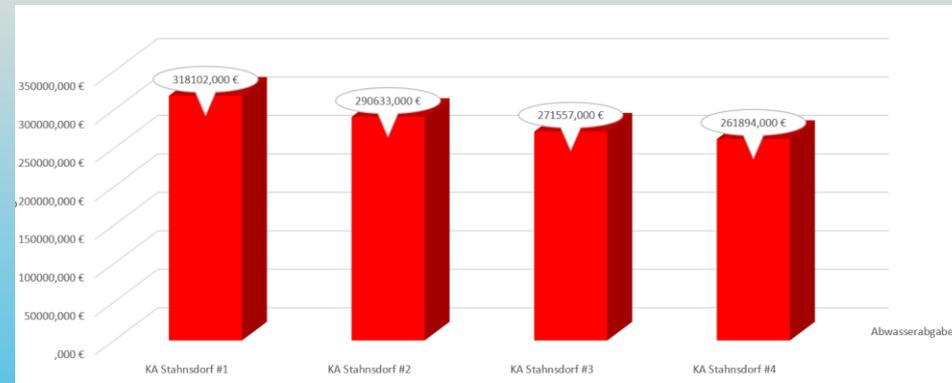
Lohnt sich die Mühe des Übergangs von #2 auf #3 und #4 auch für die BWB als Betreiber der Anlage?

Modell	PO4	NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	Total N	BOD	Solids	Flow Entlastung	COD
#1	10,687.20 kg/a	42,748.80 kg/a	82,519.20 kg/a	130,086.00 kg/a	178,266.00 kg/a	220,401.60 kg/a	443,869 m <sup>3</sup> /a	748,717.20 kg/a
#2	9,022.80 kg/a	42,748.80 kg/a	83,044.80 kg/a	129,998.40 kg/a	109,587.60 kg/a	130,524.00 kg/a	266,129 m <sup>3</sup> /a	673,206.00 kg/a
#3	6,920.40 kg/a	43,186.80 kg/a	83,044.80 kg/a	130,173.60 kg/a	59,830.80 kg/a	107,485.20 kg/a	41,960 m <sup>3</sup> /a	621,084.00 kg/a
#4	5,080.80 kg/a	24,440.40 kg/a	79,540.80 kg/a	107,835.60 kg/a	55,188.00 kg/a	108,974.40 kg/a	43,187 m <sup>3</sup> /a	618,193.20 kg/a

# Vergleich der Modelle nach Schadeinheiten/Abwasserabgabe

Lohnt sich die Mühe auch für die BWB als Betreiber der Anlage? Als Maßstab sollen die Schadeinheiten nach AbwAG und die jährlich zu zahlende Abwasserabgabe herangezogen werden.

	Schadeinheiten	Abwasserabgabe
<b>KA Stahnsdorf #1</b>	17.776 SE	318.102,00 €
<b>KA Stahnsdorf #2</b>	16.241 SE	290.633,00 €
<b>KA Stahnsdorf #3</b>	15.175 SE	271.557,00 €
<b>KA Stahnsdorf #4</b>	14.635 SE	261.894,00 €



**Antwort: Klares Ja!**

Abgesehen von der Abwasserabgabe schlagen Einsparungen auch bei den Betriebskosten (Chemikalienkosten, Energiekosten) zu Buche!

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

Erlass des AbwAG  
am 13.9.1976

## § 1 Grundsatz

Für das Einleiten von Abwasser in ein Gewässer im Sinne von § 3 Nummer 1 bis 3 des Wasserhaushaltsgesetzes ist eine Abgabe zu entrichten (Abwasserabgabe). Sie wird durch die Länder erhoben.

## § 2 Begriffsbestimmungen

(1) Abwasser im Sinne dieses Gesetzes sind das durch häuslichen, gewerblichen, landwirtschaftlichen oder sonstigen Gebrauch in seinen Eigenschaften veränderte und das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Wasser (Schmutzwasser) sowie das von Niederschlägen aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen abfließende und gesammelte Wasser (Niederschlagswasser). Als Schmutzwasser gelten auch die aus Anlagen zum Behandeln, Lagern und Ablagern von Abfällen austretenden und gesammelten Flüssigkeiten.

(2) Einleiten im Sinne dieses Gesetzes ist das unmittelbare Verbringen des Abwassers in ein Gewässer; das Verbringen in den Untergrund gilt als Einleiten in ein Gewässer, ausgenommen hiervon ist das Verbringen im Rahmen landbaulicher Bodenbehandlung.

(3) Abwasserbehandlungsanlage im Sinne dieses Gesetzes ist eine Einrichtung, die dazu dient, die Schädlichkeit des Abwassers zu vermindern oder zu beseitigen; ihr steht eine Einrichtung gleich, die dazu dient, die Entstehung von Abwasser ganz oder teilweise zu verhindern.

Begriffsbestimmung  
für Abwasser

Begriffsbestimmung  
für Einleiten

Die Begriffsbestimmung für „Abwasserbehandlungsanlage“ ist im AbwAG deutlich weiter gefasst als sonst üblich!

Beispielsweise zählen nach dem AbwAG nicht nur Kläranlagen, sondern auch Anlagen zur Wertstoffrückgewinnung aus dem Abwasser ganz eindeutig zu den Abwasserbehandlungsanlagen (denn sie vermindern die Schädlichkeit des Abwassers) sowie z. B. auch abwasserfreie oder abwasserarme Verfahrensschritte bei der Herstellung bestimmter Produkte (denn sie vermindern die Entstehung von Abwasser).

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

## § 3 Bewertungsgrundlage

(1) Die Abwasserabgabe richtet sich nach der Schädlichkeit des Abwassers, die unter Zugrundelegung der oxidierbaren Stoffe, des Phosphors, des Stickstoffs, der organischen Halogenverbindungen, der Metalle Quecksilber, Cadmium, Chrom, Nickel, Blei, Kupfer und ihrer Verbindungen sowie der Giftigkeit des Abwassers gegenüber Fischeiern nach der Anlage zu diesem Gesetz in Schadeinheiten bestimmt wird. Eine Bewertung der

Nr.	Bewertete Schadstoffe und Schadstoffgruppen	Einer Schadeinheit entsprechen jeweils folgende volle Messeinheiten	Schwellenwerte nach Konzentration und Jahresmenge
1	Oxidierbare Stoffe in chemischem Sauerstoffbedarf (CSB)	50 Kilogramm Sauerstoff	20 Milligramm je Liter und 250 Kilogramm Jahresmenge
2	Phosphor	3 Kilogramm	0,1 Milligramm je Liter und 15 Kilogramm Jahresmenge
3	Stickstoff als Summe der Einzelbestimmungen aus Nitratstickstoff, Nitritstickstoff und Ammoniumstickstoff	25 Kilogramm	5 Milligramm je Liter und 125 Kilogramm Jahresmenge
4	Organische Halogenverbindungen als adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	2 Kilogramm Halogen, berechnet als organisch gebundenes Chlor	100 Mikrogramm je Liter und 10 Kilogramm Jahresmenge
5	Metalle und ihre Verbindungen:		und
5.1	Quecksilber	20 Gramm	1 Mikrogramm 100 Gramm
5.2	Cadmium	100 Gramm	5 Mikrogramm 500 Gramm
		500 Gramm	50 Mikrogramm 2,5 Kilogramm
		500 Gramm	50 Mikrogramm 2,5 Kilogramm
		500 Gramm	50 Mikrogramm 2,5 Kilogramm
		1.000 Gramm	100 Mikrogramm 5 Kilogramm
		Metall	je Liter Jahresmenge
	6.000 Kubikmeter Abwasser geteilt durch G(tief)EI		G(tief)EI = 2

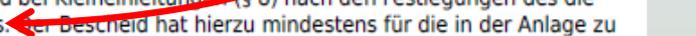
Berechnungsbeispiel:

Jahresschmutzwassermenge:	1.000.000 m <sup>3</sup>
Überwachungswert CSB:	120 mg/l
CSB-Jahresfracht:	$\frac{1.000.000 \text{ m}^3 \cdot 120 \text{ g/m}^3}{1.000 \text{ g/kg}} = 120.000 \text{ kg CSB/a}$
Schadeinheiten für CSB:	$\frac{120.000 \text{ kg CSB}}{50 \text{ kg CSB/SE}} = 2.400 \text{ SE}$

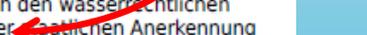
# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

## Zweiter Abschnitt Ermittlung der Schädlichkeit

### § 4 Ermittlung auf Grund des Bescheides

(1) Die der Ermittlung der Zahl der Schadeinheiten zugrunde zu legende Schadstofffracht errechnet sich außer bei Niederschlagswasser (§ 7) und bei Kleineinleitungen (§ 8) nach den Festlegungen des die Abwassereinleitung zulassenden Bescheides. 

(3) Weist das aus einem Gewässer unmittelbar entnommene Wasser vor seinem Gebrauch bereits eine Schädlichkeit nach § 3 Abs. 1 (Vorbelastung) auf, so ist auf Antrag des Abgabepflichtigen die Vorbelastung für die in § 3 Abs. 1 genannten Schadstoffe und Schadstoffgruppen zu schätzen und ihm die geschätzte Vorbelastung nicht zuzurechnen. Bei der Schätzung ist von der Schadstoffkonzentration im Mittel mehrerer Jahre auszugehen. Die Länder können für Gewässer oder Teile von ihnen die mittlere Schadstoffkonzentration einheitlich festlegen.

(4) Die Einhaltung des Bescheides ist im Rahmen der Gewässerüberwachung nach den wasserrechtlichen Vorschriften durch staatliche oder staatlich anerkannte Stellen zu überwachen; der  staatlichen Anerkennung stehen gleichwertige Anerkennungen oder Anerkennungen, aus denen hervorgeht, dass die betreffenden Anforderungen erfüllt sind, aus anderen Mitgliedstaaten der Europäischen Union oder anderen Vertragsstaaten des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum gleich. Ergibt die Überwachung, dass ein der Abgaberechnung zugrunde zu legender Überwachungswert im Veranlagungszeitraum nicht eingehalten ist und auch nicht als eingehalten gilt, wird die Zahl der Schadeinheiten erhöht. Die Erhöhung richtet sich nach dem Hundertsatz, um den der höchste gemessene Einzelwert den Überwachungswert überschreitet.

maßgeblich für die Berechnung der Höhe der Abgabe ist die wasserrechtliche Erlaubnis

„Vorbelastung“ darf abgezogen werden

Hier greift die „4-aus-5-Regelung“

Zusammenwirken von Ordnungsrecht und fiskalischer Regelung

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

## § 9 Abgabepflicht, Abgabesatz

(1) Abgabepflichtig ist, wer Abwasser einleitet (Einleiter).

Abwassereinleiter hatten mehr als vier Jahre Zeit, sich auf die Abgabe vorzubereiten!

Zusammenwirken von Ordnungsrecht und fiskalischer Regelung

(4) Die Abgabepflicht entsteht bis zum 31. Dezember 1980 nicht. Der Abgabesatz beträgt für jede Schadeinheit

- ab 1. Januar 1981	12 DM,
- ab 1. Januar 1982	18 DM,
- ab 1. Januar 1983	24 DM,
- ab 1. Januar 1984	30 DM,
- ab 1. Januar 1985	36 DM,
- ab 1. Januar 1986	40 DM,
- ab 1. Januar 1991	50 DM,
- ab 1. Januar 1993	60 DM,
- ab 1. Januar 1997	70 DM,
- ab 1. Januar 2002	35,79 Euro

Werden die Mindestanforderungen gemäß AbwV eingehalten, wird die Abgabenlast um 50% vermindert.

im Jahr.

(5) Der Abgabesatz nach Absatz 4 ermäßigt sich außer bei Niederschlagswasser (§ 7) und bei Kleineinleitungen (§ 8) um 75 vom Hundert, vom Veranlagungsjahr 1999 an um die Hälfte für die Schadeinheiten, die nicht vermieden werden, obwohl

1. der Inhalt des Bescheides nach § 4 Absatz 1 oder die Erklärung nach § 6 Absatz 1 Satz 1 mindestens den in einer Rechtsverordnung nach § 7a des Wasserhaushaltsgesetzes in der am 28. Februar 2010 geltenden Fassung oder § 23 Absatz 1 Nummer 3 in Verbindung mit § 57 Absatz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes festgelegten Anforderungen entspricht und
2. die in einer Rechtsverordnung nach Nummer 1 festgelegten Anforderungen im Veranlagungszeitraum eingehalten werden.

Satz 1 gilt entsprechend, wenn für die im Bescheid nach § 4 Absatz 1 festgesetzten oder die nach § 6 Absatz 1 Satz 1 erklärte Schadeinheiten in einer Rechtsverordnung nach Satz 1 Nummer 1 keine Anforderungen

Fortsetzung  
Berechnungsbeispiel:

Abwasserabgabe für CSB:  $2.400 \text{ SE} * 35,79 \text{ €/SE} * 0,5 = \underline{42.948,00 \text{ €}}$   
(50% Ermäßigung nach § 9 Abs. 5 AbwAG)

nach § 4 Abs. 5 berechnet sich die Ermäßigung nach dem erklärten Wert, wenn der Erklärende die Erklärung an den erklärten Wert angepasst wird und dieser die Voraussetzungen

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

## § 10 Ausnahmen von der Abgabepflicht

(1) Nicht abgabepflichtig ist das Einleiten von

1. Schmutzwasser, das vor Gebrauch einem Gewässer entnommen worden ist und über die bei der Entnahme vorhandene Schädlichkeit im Sinne dieses Gesetzes hinaus keine weitere Schädlichkeit im Sinne dieses Gesetzes aufweist,

(3) Werden Abwasserbehandlungsanlagen errichtet oder erweitert, deren Betrieb eine Minderung der Fracht einer der bewerteten Schadstoffe und Schadstoffgruppen in einem zu behandelnden Abwasserstrom um mindestens 20 vom Hundert sowie eine Minderung der Gesamtschadstofffracht beim Einleiten in das Gewässer erwarten lässt, so können die für die Errichtung oder Erweiterung der Anlage entstandenen Aufwendungen mit der für die in den drei Jahren vor der vorgesehenen Inbetriebnahme der Anlage insgesamt für diese Einleitung geschuldeten Abgabe verrechnet werden. Dies gilt nicht für den nach § 4 Abs. 4 erhöhten Teil der Abgabe. Ist die Abgabe bereits bezahlt, besteht ein entsprechender Rückzahlungsanspruch; dieses Anspruch ist nicht zu vermissen.

Möglichkeit der **Verrechnung der Abwasserabgabe** mit Investitionskosten für Anlagen, die die Schädlichkeit mindern

## § 13 Verwendung

(1) Das Aufkommen der Abwasserabgabe ist für Maßnahmen, die der Erhaltung oder Verbesserung der Gewässergüte dienen, zweckgebunden. Die Länder können bestimmen, dass der durch den Vollzug dieses Gesetzes und der ergänzenden landesrechtlichen Vorschriften entstehende Verwaltungsaufwand aus dem Aufkommen der Abwasserabgabe gedeckt wird.

(2) Maßnahmen nach Absatz 1 sind insbesondere:

1. der Bau von Abwasserbehandlungsanlagen,
2. der Bau von Regenrückhaltebecken und Anlagen zur Reinigung des Niederschlagswassers,
3. der Bau von Ring- und Auffangkanälen an Talsperren, See- und Meeresufern sowie von Hauptverbindingssammeln, die die Errichtung von Gemeinschaftskläranlagen ermöglichen,
4. der Bau von Anlagen zur Beseitigung des Klärschlammes,
5. Maßnahmen im und am Gewässer zur Beobachtung und Verbesserung der Gewässergüte wie Niedrigwasseraufhöhung oder Sauerstoffanreicherung sowie zur Gewässerunterhaltung,
6. Forschung und Entwicklung von Anlagen oder Verfahren zur Verbesserung der Gewässergüte,
7. Ausbildung und Fortbildung des Betriebspersonals für Abwasserbehandlungsanlagen und andere Anlagen zur Erhaltung und Verbesserung der Gewässergüte.

**Zweckbindung** des Einsatzes der Mittel aus der erhobenen Abwasserabgabe

z.B. Fischtrepfen

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

Finanzielles Aufkommen aus der Abwasserabgabe (aus [GAWEL et al., 2011](#))

Jahr	Baden-Württemberg	Bayern	Berlin	Brandenburg	Bremen	Hamburg	Hessen	Mecklenburg-Vorpommern	Niedersachsen	Nordrhein-Westfalen	Rheinland-Pfalz	Saarland	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Schleswig-Holstein	Thüringen	alte Bundesländer	neue Bundesländer	Deutschland
	in Mio. Euro (Euro : DM = 1 : 1,95583)																		
1994	17,79	59,94	14,52	3,76	4,92	13,45	54,93	12,56	37,20	143,06	45,29	21,88	23,50	21,67	28,87	33,68	427,34	109,70	537,04
1995	17,44	60,15	9,00	3,61	1,23	8,95	45,50	6,00	32,81	197,97	32,87	28,02	23,50	2,92	25,70	4,50	450,64	49,53	500,17
1996	13,34	64,65	10,94	2,91	0,48	4,09	38,24	18,54	30,75	83,95	52,06	30,93	6,36	11,24	19,33	10,63	337,84	60,62	398,46
1997	11,20	42,16	8,39	6,70	0,99	2,15	39,58	9,79	28,73	82,22	34,59	28,43	6,39	2,71	20,25	11,94	290,29	45,90	336,19
1998	4,91	54,13	4,98	6,49	2,60	3,09	38,55	7,55	27,70	98,42	28,60	20,50	11,50	30,63	19,17	9,11	297,68	70,27	367,95
1999	9,28	43,50	7,87	3,58	0,69	1,02	42,03	6,07	21,61	112,33	31,01	18,89	14,82	23,59	18,15	10,71	298,50	66,64	365,14
2000	8,89	62,08	9,98	0,66	3,56	1,91	32,10	11,55	38,95	112,36	26,63	19,02	9,09	11,01	24,18	9,56	329,68	51,85	381,53
2001	18,31	56,74	9,73	0,72	3,12	3,80	41,23	9,62	36,99	109,21	29,45	8,62	9,79	17,32	18,76	5,51	326,24	52,68	378,93
2002	15,10	60,83	9,57	2,71	3,61	3,84	31,26	7,13	31,16	158,30	36,20	12,64	11,64	10,21	14,90	5,03	367,84	46,29	414,13
2003	19,98	41,18	9,25	3,30	3,36	4,07	31,72	7,08	34,44	151,30	41,96	17,86	-0,06	10,76	19,50	6,06	365,37	36,38	401,76
2004	11,00	39,79	9,53	4,35	3,01	7,70	31,20	6,69	29,43	101,20	29,66	15,56	9,68	6,30	16,60	8,01	285,16	44,56	329,71
2005	8,50	24,52	9,63	7,38	3,25	7,20	31,20	7,45	36,36	136,30	28,34	12,13	2,09	5,39	14,80	4,95	302,59	36,89	339,48
2006	15,40	31,82	9,56	4,80	3,12	4,90	23,10	5,64	31,62	80,60	19,88	12,50	17,06	9,94	14,30	4,91	237,23	51,91	289,14
2007	5,30	34,93	13,47	5,03	2,80	1,10	15,80	7,99	32,71	86,60	23,67	8,35	9,20	4,39	11,30	6,70	222,56	46,77	269,33
2008	14,00	38,20	14,03	9,06	2,73	1,30	22,20	7,87	33,50	41,60	19,40	12,46	10,05	8,04	9,84	9,77	195,23	58,82	254,04

# Abwasserabgabengesetz (AbwAG)

Finanzielles Aufkommen aus der Abwasserabgabe 2014-2018 (aus [GAWEL et al., 2021](#))

<b>Bundesland</b>	<b>AbwAG Gesamtaufkommen (Durchschnitt der Jahre 2014-2018) lt. Angaben des BMU</b>
Baden-Württemberg	10.04 Mio. €
Bayern	39.32 Mio. €
Berlin	10.27 Mio. €
Brandenburg	12.08 Mio. €
Bremen	2.65 Mio. €
Hamburg	0.94 Mio. €
Hessen	23.68 Mio. €
Mecklenburg-Vorpommern	5.77 Mio. €
Niedersachsen	31.04 Mio. €
Nordrhein-Westfalen	49.01 Mio. €
Rheinland-Pfalz	21.00 Mio. €
Saarland	8.36 Mio. €
Sachsen	15.24 Mio. €
Sachsen-Anhalt	12.84 Mio. €
Schleswig-Holstein	10.54 Mio. €
Thüringen	16.85 Mio. €
<b>Summe BRD</b>	<b>269.63 Mio. €</b>

# Stellschrauben im Kläranlagenbetrieb

## „Stellschraube“

### Ausgleich von Fracht- oder Volumenstromspitzen im Zulauf zur Kläranlage

z.B. durch Ausgleichsbecken im Haupt- oder Nebenstrom, aber auch unter Nutzung des Retentionsvermögens des Kanalnetzes

### Sauerstoffeintrag

## Wirkungsweise

Vergleichmäßigung des zufließenden Volumenstroms und der Schmutzfracht als Hauptstörgrößen des Abwasserbehandlungsverfahrens; je nach Lage und Art der Ausgleichsvolumina können dabei zusätzliche Energiekosten entstehen.

Die Konzentration des im Abwasser gelösten Sauerstoffs ist die wichtigste Zustands- und Regelgröße beim Belebungsverfahren. Theoretisch gilt, dass je höher der Sauerstoffgehalt, desto geringer die Konzentration an CSB und  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Ablauf der KA. Das erfordert allerdings auch einen höheren Sauerstoffeintrag, sprich Energiebedarf.

# Stellschrauben im Kläranlagenbetrieb

## „Stellschraube“

### Überschussschlammmentnahme

## Wirkungsweise

Durch den Überschussschlammabzug wird die gesamte Schlammmenge in der biologischen Reinigungsstufe gesteuert. Die maximale Überschussschlammmentnahme wird dadurch begrenzt, dass zur Aufrechterhaltung der biologischen Prozesse ein Mindestmaß an Belebtschlamm im System gehalten werden muss. Aufgrund ihrer im Vergleich zu den Heterotrophen deutlich geringeren Wachstumsgeschwindigkeit geben dabei die Autotrophen den Ausschlag.

### Rücklaufschlammförderung

Eine Erhöhung der Rücklaufschlammförderung entlastet die Nachklärbecken und kann helfen, Grenzwertüberschreitungen durch Schlammabtrieb zu vermeiden. Dies ist allerdings nur kurzzeitig und in begrenztem Maße möglich.

# Stellschrauben im Kläranlagenbetrieb

## „Stellschraube“

### **Volumenstrom interne Rezirkulation**

nur bei Anlagen mit vorgeschalteter oder Kaskaden-Denitrifikation

### **Volumenaufteilung im Belebungsbecken**

Wechsel zwischen aeroben und anoxischen Bedingungen innerhalb bestimmter Beckenbereiche, d.h. Belüftung + Durchmischung oder nur Durchmischung

## Wirkungsweise

Je höher die interne Rezirkulation umso niedriger die Nitratkonzentration im Ablauf der KA, aber desto höher der Energiebedarf! (RF > 3 ist i.d.R. unwirtschaftlich!)

Eine Vergrößerung des anoxischen Beckenanteils verbessert die Nitratlaufwerte auf Kosten der Konzentration an CSB und Ammoniumstickstoff im Ablauf der KA. Umgekehrt führt eine Vergrößerung des Nitrifikationsvolumens zu einer Verbesserung der CSB- und Ammoniumstickstoffkonzentration im Ablauf, zu Lasten der Nitratstickstoffwerte.

# Stellschrauben im Kläranlagenbetrieb

## „Stellschraube“

**Dosierung von Nährstoffen**, um ein optimales Nährstoffverhältnis von etwa  $C : N : P = 100 : 5 : 1$

einzuhalten

Eingesetzte Chemikalien:

für C z. B. Essigsäure, Methanol;

für N z. B. Harnstoff;

für P z. B. Phosphorsäure.

## **Fällmittelzugabe zur P-Fällung**

Eingesetzte Chemikalien:

Eisen(III)chlorid,

Aluminiumchlorid

## Wirkungsweise

Wenn z. B. ein Kohlenstoffdefizit besteht, unterstützt die bedarfsgerechte Dosierung eines leicht abbaubaren organischen Substrats die biologische Phosphatelimination und verbessert die Denitrifikation; führt mithin dazu, dass P und N im Ablauf sinken, allerdings auf Kosten einer erhöhten Überschussschlammproduktion.

Senkung der Konzentration an o-Phosphat und P gesamt im Ablauf der KA, allerdings ebenfalls auf Kosten einer erhöhten Überschussschlammproduktion.

# Stellschrauben im Kläranlagenbetrieb

## „Stellschraube“

Zeitpunkt und Dauer der  
**Behandlung anfallender Abwässer  
aus der Schlammbehandlung**  
z.B. bezüglich Ammoniumstickstoff  
hochbelastete Zenträte

## Wirkungsweise

Die bei der mechanischen Schlammwässerung entstehenden Trübwasser führen zu einer nennenswerten Rückbelastung der Kläranlagen. Die Behandlung dieser hochbelasteten Abwässer sollte deshalb immer in Abhängigkeit der Zulaufbelastung erfolgen. Ideal geeignet sind jene Lastfälle, wo weder die hydraulische noch die Stickstoffbelastung im Zulauf zu hoch sind, aber trotzdem ausreichend BSB (C-Quelle) vorhanden ist. Voraussetzung für eine diesbezügliche Steuerung sind entsprechende Stapelbehälter und Fördermöglichkeiten (Energiebedarf!).

# Literaturverzeichnis

ATV-DVWK-A 131, 2000	ATV-DVWK-A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., Mai 2000
ATV-DVWK-A 198, 2003	ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen Abwassertechnische Vereinigung e.V. / Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., April 2003
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HENZE et al., 1987	Henze, M.; Grady, C. P. L.; Gujer, W.; Marais, G. v. R.; Matsuo, T. Activated Sludge Model No. 1 IAWPRC Scientific and Technical Reports, No. 1, IAWQ, London, 1987
KUNZ, 1992	Kunz, P.: Umwelt-Bioverfahrenstechnik Vieweg, Braunschweig 1992
KREBS, 2007	Krebs, P.: Vorlesung Grundlagen der Siedlungswasserwirtschaft TU Dresden, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, 2007
LONDONG et al., 2009	Londong, J.; Lützner, K. u. a. Abwasserbehandlung Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt Bauhaus-Universität Weimar, 3. überarbeitete Auflage, September 2009
SCHNEIDER, 2014	Schneider, F. Vorlesungsskript Entsorgung (Abfall & Abwasser) für Master Urbane Infrastrukturplanung, Abwasserreinigung Beuth-Hochschule für Technik, Berlin, 2014