

# Gewässerschutz

## Schutz und nachhaltige Bewirtschaftung von Gewässern - Grundlagen

# Gewässerkundliche Hauptwerte

NNQ,	NNW,
MNQ,	MNW,
MQ,	MW,
MHQ,	MHW,
HHQ,	HHW
HQ <sub>100</sub>	HW <sub>100</sub>

# Grundlegende Berechnungsformeln

$$\text{Mittl. Fließgeschwindigkeit} = \frac{\text{Flusslänge}}{\text{Fließzeit}}$$

$$\text{Fließgeschwindigkeit} = \frac{\text{Volumenstrom}}{\text{Querschnittsfläche}}$$

$$\text{Volumenstrom} = \text{Querschnittsfläche} * \text{Fließgeschwindigkeit}$$

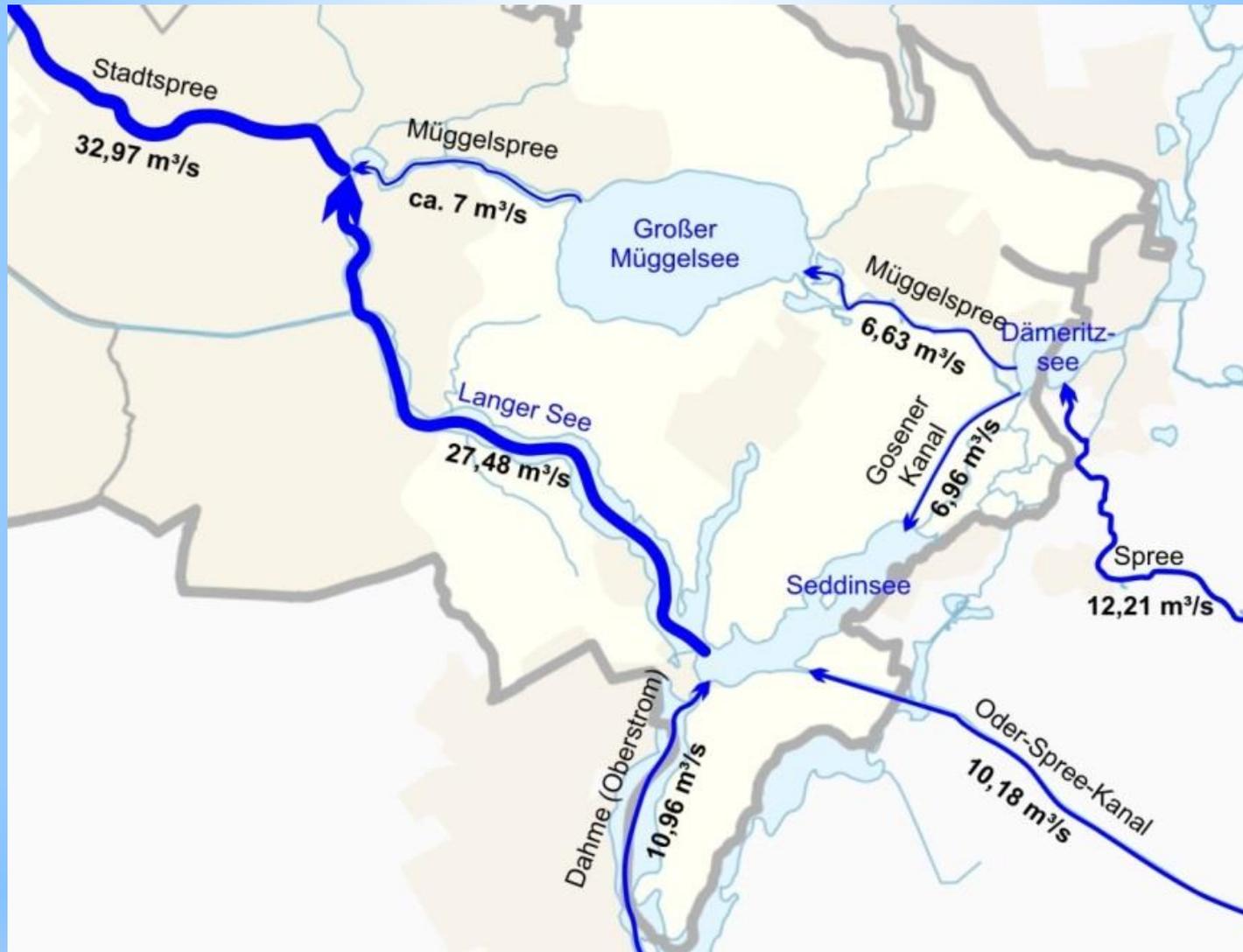
für rechteckige Querschnitte gilt:

$$\text{Querschnittsfläche} = \text{Breite} * \text{Höhe}$$

$$\text{Volumenstrom} = \text{Breite} * \text{Höhe} * \text{Fließgeschwindigkeit}$$

$$\text{Fracht (Last, Massenstrom)} = \text{Konzentration} * \text{Volumenstrom}$$

# MQ der Gewässer im Berliner Südosten

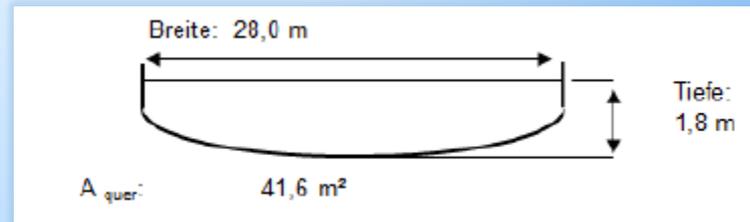


# Mittlere Fließgeschwindigkeiten

Spree / Müggelsee:

gegeben:

Gewässer	Querschnittsfläche gemäß Literaturangabe
Spree (zwischen Großer Tränke und Zufluss zum Dämeritzsee)	41,6 m <sup>2</sup>
Großer Müggelsee (an der breitesten Stelle, grobe Näherung)	10.000,0 m <sup>2</sup>



	Abfluss in m <sup>3</sup> /s
MQ Spree	12,21 m <sup>3</sup> /s
MQ Müggelspree	6,63 m <sup>3</sup> /s

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

gesucht:

Gewässer	Fließgeschwindigkeit	
	in m/s	gerundet
Spree (zwischen Großer Tränke und Zufluss zum Dämeritzsee)	???	???
Großer Müggelsee (an der breitesten Stelle, grobe Näherung)	???	???

# Erf. Zeit für Austausch Wasserkörper

Großer Müggelsee:

gegeben:

Gewässer	Volumen gemäß Literaturangabe
Großer Müggelsee	36.560.000 m <sup>3</sup>

	Abfluss in m <sup>3</sup> /s
MQ Müggelspre	6,63 m <sup>3</sup> /s
MNQ Spree (Schleuse Mühlendamm, Oberpegel)	4,64 m <sup>3</sup> /s
MNQ Müggelspre	

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

gesucht:

Scenario	Erforderliche Zeit für kompletten Austausch des Wasserkörpers		
	in s	in h	in d
MQ	???	???	???
MNQ	???	???	???

# Anstieg des Wasserspiegels bei HW

Gewässer o.h. Schleuse Mühlendamm:

gegeben:

Gewässer	Fläche gemäß Literaturangabe
Dämeritzsee	93,5 ha
Großer Müggelsee	7,43 km <sup>2</sup>
Seddinsee	3,70 km <sup>2</sup>
Langer See	2,43 km <sup>2</sup>
Zwischensumme	
10% Zuschlag zur Berücksichtigung von Müggelspree und Stadtspree	
Summe, gerundet	

	Abfluss in m <sup>3</sup> /s
HHQ Spree (Schleuse Mühlendamm, Oberpegel)	118,0 m <sup>3</sup> /s
MHQ Spree (Schleuse Mühlendamm, Oberpegel)	75,0 m <sup>3</sup> /s

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

gesucht:

	Aufhöhung des Wasserstands
Scenario I (ohne Berücksichtigung des Ablaufs aus dem Segment)	???
Scenario II (Berücksichtigung des Ablaufs aus dem Segment in Höhe von MHQ)	???

# Anstieg des Wasserspiegels bei HW

Elbe, Pegel Schöna / Pegel Dresden:

gegeben:

Hauptwert	Elbe, Pegel Schöna	Elbe, Pegel Dresden	
	2,05 km u.h. Grenze	55,63 km u.h. Grenze	
	W	Q	W
NQ / NW	0,33 m	22,5 m <sup>3</sup> /s	0,05 m
MNQ / MNW	0,92 m	106,0 m <sup>3</sup> /s	0,79 m
MQ / MW	2,10 m	326,0 m <sup>3</sup> /s	1,91 m
MHQ / MHW	6,48 m	1460,0 m <sup>3</sup> /s	5,77 m
HHQ / HHW	12,04 m	4580,0 m <sup>3</sup> /s	9,40 m

hierzu Excel-Tabelle  
„Übung\_01.xlsx“

gesucht:

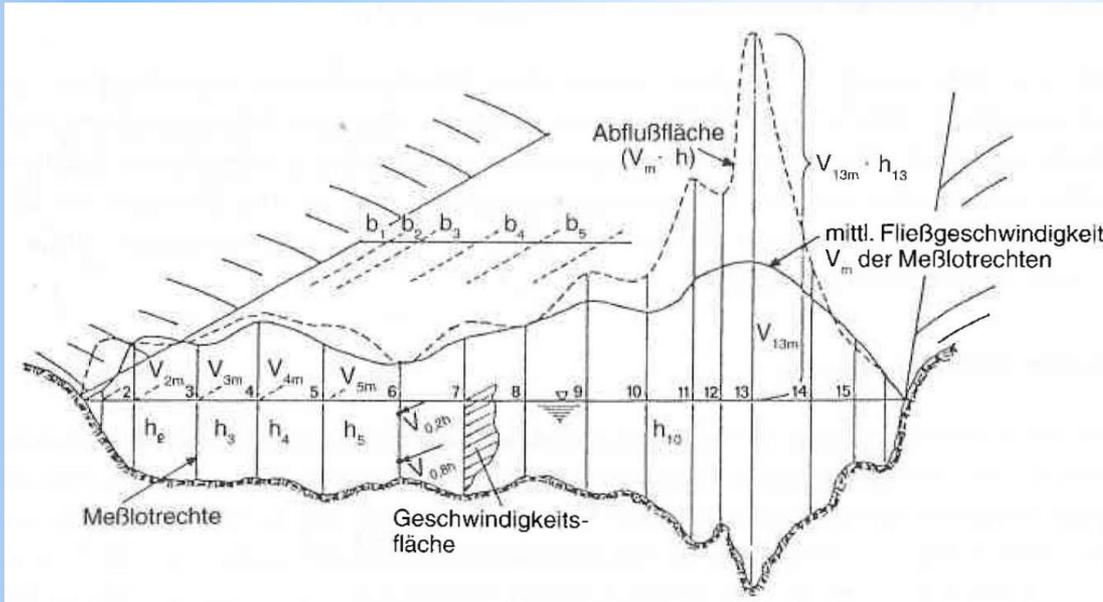
$\Delta W$ (HHW - MW)	???		???
--------------------------	-----	--	-----

Gewässer	Fließgeschwindigkeit	
	in m/s	gerundet
Elbe (zwischen den Pegeln Schöna und Dresden beim "Jahrhunderthochwasser" 2002)	???	???

# klass. Ermittlung Fließgeschwindigkeit

Pegel N.N.:

gegeben:



Lamelle	h	v <sub>m</sub>	h <sub>i</sub> * v <sub>mL</sub>
1	0,83	0,05	
2	1,25	0,12	
3	2,50	0,15	
4	2,91	0,2	
5	2,70	0,22	
6	3,54	0,2	
7	3,33	0,24	
8	3,74	0,26	
9	3,95	0,2	
10	3,95	0,25	
11	3,33	0,32	
12	1,66	0,55	
13	2,08	0,6	
14	4,37	0,58	
15	0,42	0,35	
16	0,83	0,28	
17	0,21	0,15	
gewichteter Mittelwert:			???

hierzu Excel-Tabelle  
„Übung\_01.xlsx“

gesucht:

# Fracht- und Konzentrationsberechnung

$$\text{Fracht [L für Last, load] in kg/h} = \text{Volumenstrom [Durchfluss Q] in m}^3/\text{s} \cdot \frac{3.600 \cdot \text{s}}{\text{h}} \cdot \text{Konzentration [C] in mg/l} \cdot \frac{\text{kg}}{1.000.000 \cdot \text{mg}} \cdot \frac{1.000 \cdot \text{l}}{\text{m}^3}$$

<http://www.fgg-elbe.de/elbe-datenportal.htm>

gegeben:

	Elbe, Schöna	Elbe, Schmilka
MQ (geschätzt)	300 m <sup>3</sup> /s	
DOC, mittl.		5,3 mg/l

gesucht:

Fracht in kg/h	Fracht in t/a
???	???

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

# Fracht- und Konzentrationsberechnung

$$\text{Konzentration [C] in mg/l} = \frac{\text{Fracht [L] in g/s}}{\text{Volumenstrom [Q] in m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Konzentration [C] in mg/l} = \frac{\text{Jahresfracht [L] in t/a} \cdot \frac{1 \text{ a}}{365 \text{ d}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{t}} \cdot \frac{1.000 \text{ g}}{\text{kg}}}{\text{Volumenstrom [Durchfluss Q] in m}^3/\text{s}}$$

<http://www.fgg-elbe.de/elbe-datenportal.htm>

gegeben:

	Elbe, Schöna	Elbe, Schmilka
MQ (geschätzt)	300 m <sup>3</sup> /s	
Hg-Konzentration in µg/l		0,057 µg/l

gesucht:

Hg-Fracht (bzw. -Last) in g/s	Hg-Fracht (bzw. -Last) in kg/a
???	???

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

# Fracht- und Konzentrationsberechnung

$$\text{Konzentration } [C] \text{ in mg/l} = \frac{\text{Fracht } [L] \text{ in g/s}}{\text{Volumenstrom } [Q] \text{ in m}^3/\text{s}}$$

$$\text{Konzentration } [C] \text{ in mg/l} = \frac{\text{Jahresfracht } [L] \text{ in t/a} \cdot \frac{1 \text{ a}}{365 \text{ d}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3.600 \text{ s}} \cdot \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{t}} \cdot \frac{1.000 \text{ g}}{\text{kg}}}{\text{Volumenstrom } [\text{Durchfluss } Q] \text{ in m}^3/\text{s}}$$

<http://www.thru.de/>

gegeben:

	Dow Olefinverbund GmbH, Werk Schkopau	
mittl. Abwasservolumenstrom	1.200 m <sup>3</sup> /h	
L Hg, mittl.		4,70 kg/a

gesucht:

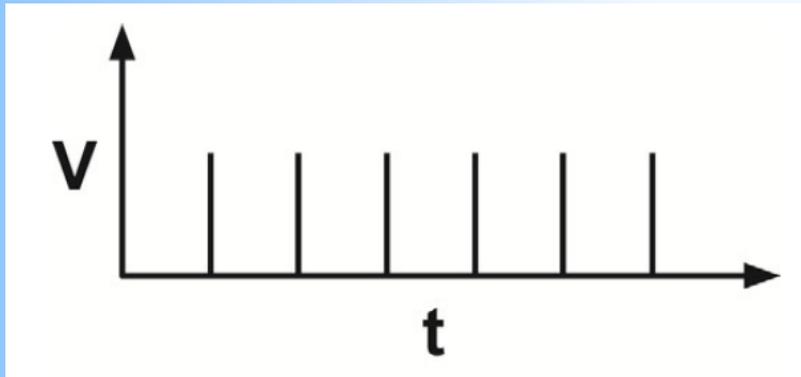
Konzentration in mg/l	Konzentration in µg/l
???	???

hierzu Excel-Tabelle „Übung\_01.xlsx“

# Gewässerschutz

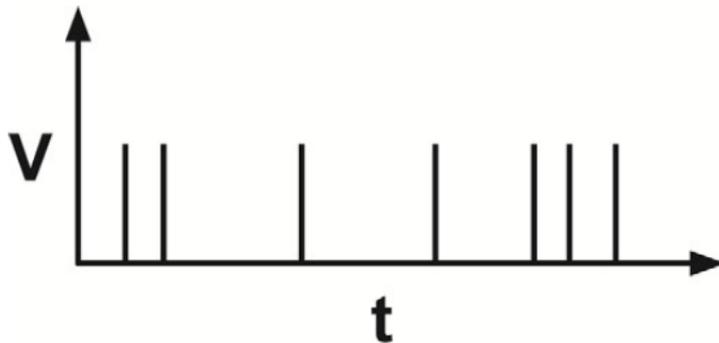
## Schutz und nachhaltige Bewirtschaftung von Gewässern - Grundlagen II

# Beispiel Probenahme

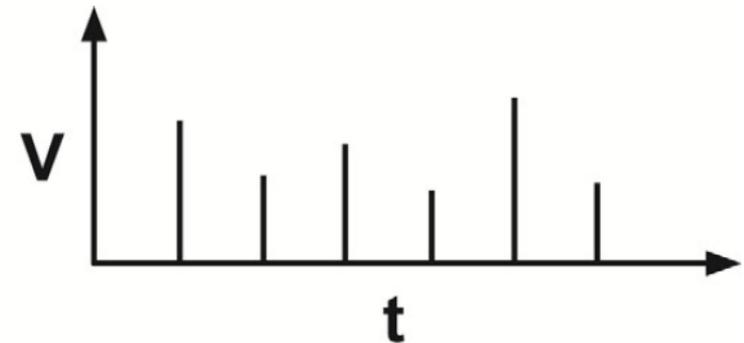


Schema der Probenahme für eine **zeitproportionale** Sammelprobe

Schemata der Probenahme für eine **mengenproportionale** Sammelprobe:



Konstantes Probenahmevolumen jeweils nach Erreichen eines bestimmten Volumenstroms (z. B. aller 1.000 m<sup>3</sup>)



Probenahmevolumen proportional zum Volumenstrom (konstante Zeitintervalle)

# Beispiel Probenahme

Uhrzeit	Abwasservolumenstrom	CSB
0 - 6 Uhr	70,00 m³/h	90 mg/l
6 - 12 Uhr	200,00 m³/h	220 mg/l
12 - 18 Uhr	280,00 m³/h	260 mg/l
18 - 24 Uhr	120,00 m³/h	150 mg/l

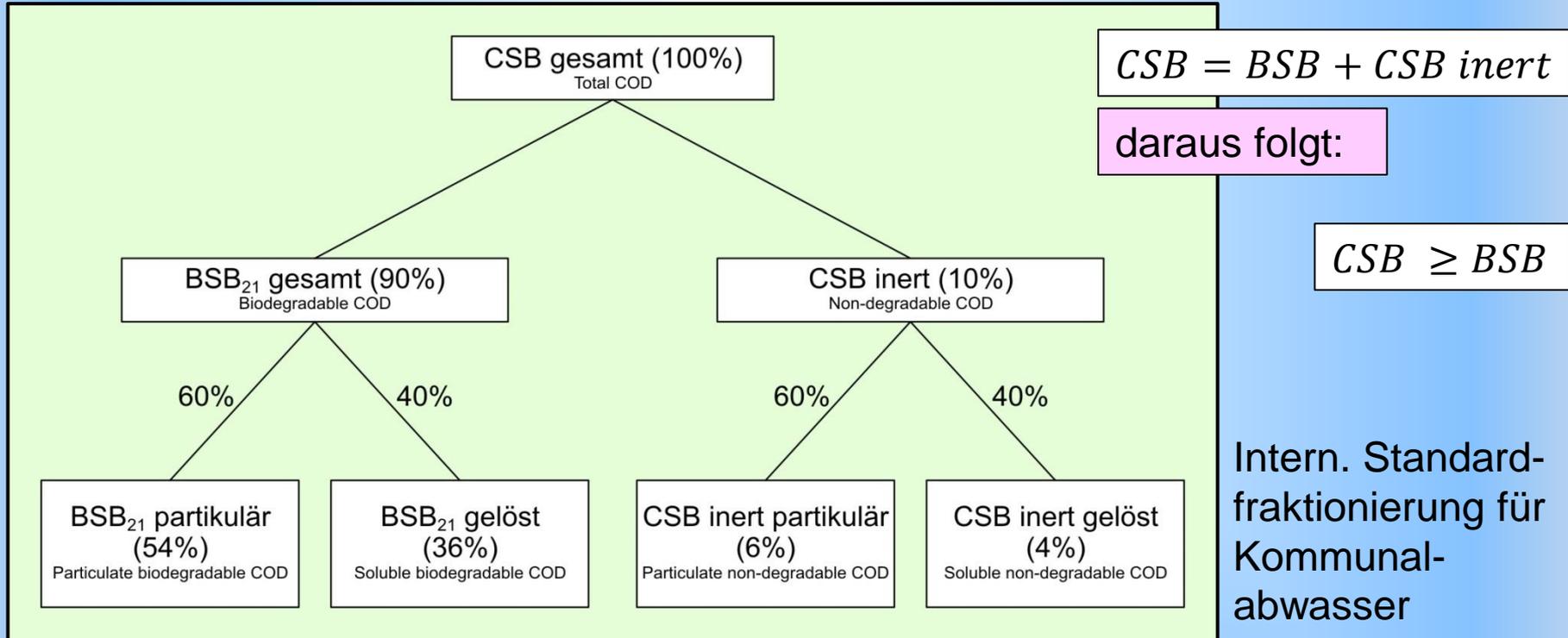
Wie groß ist für die Angaben in der nebenstehenden Tabelle die Konzentration des CSB in einer zeitproportionalen und in einer mengenproportionalen Sammelprobe?

Uhrzeit	Abwasservolumenstrom	CSB	zeit-proportionale Probenahme	mengen-proportionale Probenahme
0 - 6 Uhr	70,00 m³/h	90 mg/l	180 mg/l	211 mg/l
6 - 12 Uhr	200,00 m³/h	220 mg/l		
12 - 18 Uhr	280,00 m³/h	260 mg/l		
18 - 24 Uhr	120,00 m³/h	150 mg/l		

**arithmetischer Mittelwert**
**gewichteter Mittelwert (bezogen auf Abwasservolumenstrom)**

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung



außerdem:

*CSB homogenisiert (gesamt) = CSB gelöst (filtriert) + CSB partikulär*

daraus folgt:

*CSB homogenisiert (gesamt) ≥ CSB gelöst (filtriert)*

# Konsistenz- und Plausibilitätsprüfung

<b>Gesamtstickstoff Total Nitrogen (TN)</b>					
<b>Gesamter anorganischer Stickstoff Total Inorganic Nitrogen (TIN)</b>			<b>Gesamter organischer Stickstoff Total Organic Nitrogen (TON)</b>		
			<b>Gesamter Kjeldahl-Stickstoff Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)</b>		
gasförmiger Stickstoff	Nitrit	Nitrat	Ammonium	Gelöster organischer Stickstoff Dissolved Organic Nitrogen (DON)	Partikulärer organischer Stickstoff Particulate Organic Nitrogen (PON)
Leicht zugänglich (bioverfügbar) für Wasserpflanzen und andere -organismen			Bioverfügbar erst nach mikrobiellem Abbau		

$$TN = TIN + TON$$

daraus folgt:

$$TN \geq TIN$$

$$TN \geq TON$$

außerdem:

$$TN \geq TKN$$

$$TIN = NO_2 - N + NO_3 - N + NH_4 - N + N_2$$

daraus folgt:

$$TIN \geq NO_2 - N$$

$$TIN \geq NO_3 - N$$

$$TIN \geq NH_4 - N$$

$$TKN = TON + NH_4 - N$$

daraus folgt:

$$TKN \geq TON$$

$$TKN \geq NH_4 - N$$

# Beispiel Messreihen auswerten

Bezeichnung	Zulauf Komunalabwasser								
Parameter	Durchfluss	CSB <sub>ges.</sub>	BSB <sub>5</sub>	P <sub>ges.</sub>	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	TKN	TIN
Einheit	[m <sup>3</sup> /d]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
01.10.2013	1566	591	264	7,5	34,1	0,7	0,5	43,2	35,3
02.10.2013	1395	579	249	6,7	32,9	0,6	0,4	40,8	33,9
03.10.2013	1322	507	159	2,4	25,7	0,1	0,0	26,4	25,8
04.10.2013	1500	559	224	5,5	30,9	0,4	0,3	36,8	31,6
05.10.2013	1424	603	278	8,2	35,3	0,8	0,5	45,6	36,6
06.10.2013	1368	523	179	3,4	27,3	0,2	0,1	29,6	27,6
07.10.2013	1576	680	376	12,8	43,0	1,4	0,9	61,0	45,3
08.10.2013	1427	570	238	6,2	32,0	0,5	0,4	39,0	32,9
09.10.2013	1342	526	182	3,5	27,6	0,2	0,1	30,2	27,9
10.10.2013	1384	611	630	8,7	36,1	0,8	0,6	47,2	37,5
11.10.2013	1654	673	366	12,4	42,3	1,3	0,9	59,6	44,5
12.10.2013	1134	504	155	2,2	25,4	0,0	0,0	25,8	25,4
13.10.2013	1228	634	317	10,0	38,4	1,0	0,7	51,8	40,1
14.10.2013	1514	577	246	6,6	32,7	0,6	0,4	40,4	33,7
15.10.2013	1259	564	231	5,9	31,4	0,5	0,3	37,8	32,2
16.10.2013	1268	560	225	5,6	31,0	0,5	0,3	37,0	31,8
17.10.2013	1314	666	357	11,9	41,6	1,2	0,8	58,2	43,6
18.10.2013	2400	555	219	5,3	30,5	0,4	0,3	36,0	31,2
19.10.2013	1276	519	174	3,2	26,9	0,1	0,1	28,8	27,1
20.10.2013	1154	598	272	7,9	34,8	0,7	0,5	43,1	32,3
21.10.2013	1416	623	303	9,4	37,3	0,9	0,6	49,6	38,8
22.10.2013	1434	509	161	2,5	25,9	0,1	0,0	26,8	26,0
23.10.2013	1400	642	328	10,5	39,2	1,1	0,7	53,4	41,0
24.10.2013	1193	661	351	11,7	41,1	1,2	0,8	38,3	43,1
25.10.2013	1329	532	190	3,9	28,2	0,2	0,2	31,4	28,6
26.10.2013	1192	648	336	10,9	39,8	1,1	0,7	54,6	41,6
27.10.2013	1214	641	327	10,5	39,1	1,1	0,7	53,2	40,9
28.10.2013	2553	670	363	12,2	42,0	1,3	0,9	59,0	44,2
29.10.2013	1838	593	266	7,6	34,3	0,7	0,5	43,6	35,5
30.10.2013	1750	557	221	5,4	30,7	0,4	0,3	36,4	31,4
31.10.2013	1516	635	318	10,1	38,5	1,0	0,7	52,0	40,2

# Beispiel Messreihen auswerten

Berechnen Sie unter Verwendung von MS Excel für die Messreihe im Register „*Konsistenz & Plausibilität I*“ für alle Parameter der Messwerte folgende statistische Größen:

- arithmetischer Mittelwert,
- Minimal- und Maximalwert,
- Median,
- 85-Perzentil!

Berechnen Sie – wieder unter Verwendung von MS Excel - für alle Parameter die mittlere Tagesfracht in kg/d!

Excel-Tabelle

# Beispiel Messreihen auswerten

Die Messreihen in den Tabellenblättern *Konsistenz & Plausibilität I, II und III* enthalten Messwerte, die gegen die Regeln der Plausibilität und Konsistenz verstoßen. Finden Sie diese fehlerhaften Messwerte unter MS Excel heraus,

- a) mit Hilfe der sog. „bedingten Formatierung“
- b) mit Hilfe der sog. „Datenüberprüfung“!

Korrigieren Sie die fehlerhaften Werte, indem Sie diese z. B. durch die jeweiligen Mittelwerte der Reihe ersetzen! Ist das immer zielführend?

Excel-Tabelle

# Beispiel Messreihen auswerten

date & time	Einfuhr Vorklaerung						Rueckhaltung					BIOX aeration basin input			
	MP 5 (M44)						M48d	M48c	M56a	M56b	M56c	MP 6			
	pH	Menge NaOH		pH	Temperature	Temperature						TOC	PO4-P	NH4-N	pH
	-	m3/h	m3/h	-	grad Celsius	grad Celsius						mg/l	mg/l	mg/l	before neutralization
BX1V_AI_0173	BX1V_AI_0161	BX1V_AI_0162	BX1V_AI_0174	BX1V_AI_0154	BX1V_AI_0155	BX1V_AI_0164	BX1V_AI_0165	BX1V_AI_0167	BX1V_AI_0168	BX1V_AI_0169	BX1V_AI_0251	BX1V_AI_0181	BX1V_AI_0182	BX1V_AI_0253	
MP5 pH-Wert vor MP5 Einfuhr Klae	Netz Menge vom Netz [m2/h]	M44 Dosiermenge [m2/h]	MP5 pH-Wert nach MP5 Einfuhr Klae	Wassertemperatur vor Einfuhr	Wassertemperatur nach Einfuhr	4VW902 M48d Fuellstand Rueckhalt	4VW901 M48c Fuellstand Rueckhalt	4VW911 Fuellstand Rueckhaltebeck	4VW912 Fuellstand Rueckhaltebeck	4VW913 Fuellstand Rueckhaltebeck	MP6 TOC-Messung	Orthophosphat-Messung [mg/l]	MP6 NH4-Messung [mg/l]	MP6 pH-Wert vor 4VW237 Mischreak	
01.01.2010 00:00	7,88	0,60	0,59	8,64	20,26	20,25	45,80	30,89	-2,29	-2,43	8,27	54,63	0,74	26,54	8,62
01.01.2010 01:00	7,87	0,30	0,29	8,62	20,20	20,22	45,80	30,87	-2,30	-2,40	8,33	56,14	0,75	25,69	8,60
01.01.2010 02:00	7,87	0,63	0,62	8,74	20,07	20,11	45,80	30,88	-2,29	-2,37	8,40	49,61	0,84	26,16	8,59
01.01.2010 03:00	7,98	0,58	0,58	8,70	20,23	20,34	45,79	30,86	-2,29	-2,46	8,42	56,51	0,90	25,47	8,57
01.01.2010 04:00	8,08	0,37	0,37	8,59	20,01	20,18	45,78	30,85	-2,29	-2,44	8,47	35,75	0,88	25,94	8,56
01.01.2010 05:00	7,99	0,44	0,43	8,74	20,40	20,42	45,80	30,85	-2,35	-2,40	8,44	30,20	0,97	26,19	8,53
01.01.2010 06:00	7,95	0,81	0,77	8,73	20,63	20,63	45,80	30,86	-2,37	-2,38	8,51	50,67	1,02	26,60	8,53
01.01.2010 07:00	7,98	0,13	0,13	8,57	20,56	20,56	45,80	30,87	-2,37	-2,40	8,52	57,95	1,05	26,63	8,54
01.01.2010 08:00	7,92	1,09	0,90	8,82	20,71	20,51	45,81	30,92	-2,34	-2,44	8,54	52,86	1,01	27,11	8,49
01.01.2010 09:00	7,82	0,13	0,13	8,53	20,77	20,12	45,81	30,90	-2,32	-2,43	8,54	58,87	1,13	27,14	8,48
01.01.2010 10:00	7,92	0,94	0,86	8,81	20,65										8,44
01.01.2010 11:00	8,10	0,13	0,14	8,55	20,93										8,49
01.01.2010 12:00	8,08	0,99	0,88	8,81	21,22										8,45
01.01.2010 13:00	7,97	0,15	0,15	8,54	21,01										8,51
01.01.2010 14:00	7,95	1,10	0,94	8,79	20,97										8,47
01.01.2010 15:00	7,94	0,11	0,11	8,53	21,35										8,49
01.01.2010 16:00	7,84	1,14	1,03	8,61	21,20										8,44
01.01.2010 17:00	7,70	0,31	0,31	8,62	21,60										8,42
01.01.2010 18:00	8,21	1,27	1,05	8,73	21,63										8,44
01.01.2010 19:00	8,43	0,08	0,08	8,76	21,40										8,53
01.01.2010 20:00	8,41	0,74	0,68	8,62	21,82										8,46
01.01.2010 21:00	8,46	0,24	0,24	8,93	22,54										8,52
01.01.2010 22:00	8,06	0,27	0,28	8,49	22,23										8,46
01.01.2010 23:00	7,79	1,06	0,94	8,81	21,93										8,38
02.01.2010 00:00	7,43	0,09	0,09	8,51	22,50	22,42	45,85	30,88	-2,37	-2,42	8,57	61,77	2,08	28,97	8,39
02.01.2010 01:00	7,71	1,22	1,03	8,47	22,10	22,29	45,85	30,90	-2,37	-2,44	8,48	67,87	1,91	30,04	8,33
02.01.2010 02:00	8,04	0,49	0,46	8,82	23,87	23,56	45,85	30,93	-2,37	-2,44	8,46	61,28	1,90	29,28	8,26
02.01.2010 03:00	8,25	0,93	0,73	8,62	24,71	24,64	45,85	30,94	-2,40	-2,44	8,44	65,41	1,92	29,71	8,22
02.01.2010 04:00	8,25	0,49	0,46	9,11	24,99	25,11	45,85	30,93	-2,39	-2,44	8,45	59,24	1,86	28,04	8,23
02.01.2010 05:00	8,24	0,21	0,21	8,53	25,73	25,26	45,85	30,94	-2,37	-2,45	8,50	65,11	1,54	28,20	8,22
02.01.2010 06:00	8,05	1,40	1,09	9,09	31,21	30,55	45,87	31,00	-2,37	-2,44	8,53	60,08	1,59	27,38	8,16
02.01.2010 07:00	8,01	0,14	0,14	8,90	31,96	31,65	45,90	31,03	-2,37	-2,44	8,55	73,61	1,58	26,53	8,24
02.01.2010 08:00	7,90	0,63	0,77	8,62	26,78	27,38	45,91	31,03	-2,37	-2,44	8,54	74,71	1,37	25,38	8,31
02.01.2010 09:00	7,79	0,83	0,71	9,15	25,37	25,32	45,94	31,08	-2,33	-2,44	8,61	74,09	1,56	24,56	8,34
02.01.2010 10:00	7,89	0,12	0,12	8,59	25,08	24,49	45,94	31,01	-2,29	-2,44	8,60	63,77	1,47	24,45	8,39
02.01.2010 11:00	8,10	1,30	1,05	8,85	25,01	24,00	45,96	31,05	-2,29	-2,43	8,62	70,71	1,43	24,33	8,32
02.01.2010 12:00	8,03	0,10	0,10	8,75	25,04	25,09	45,96	30,99	-2,29	-2,42	8,61	58,36	1,50	25,40	8,32
02.01.2010 13:00	8,00	1,22	0,95	8,68	24,57	24,52	45,95	30,97	-2,30	-2,40	8,57	65,76	1,54	25,54	8,28
02.01.2010 14:00	7,95	0,32	0,31	9,02	24,59	24,48	45,95	31,00	-2,38	-2,43	8,54	59,97	1,75	26,46	8,30
02.01.2010 15:00	7,88	0,35	0,34	8,49	24,74	24,71	45,93	30,98	-2,39	-2,45	8,53	70,97	1,66	26,90	8,30
02.01.2010 16:00	7,94	1,23	0,96	8,93	24,59	24,58	45,93	30,99	-2,42	-2,44	8,54	64,70	1,81	27,81	8,26
02.01.2010 17:00	7,95	0,07	0,07	8,67	24,74	24,42	45,92	31,01	-2,45	-2,45	8,52	75,57	1,95	27,76	8,30
02.01.2010 18:00	7,94	1,32	1,02	8,65	24,95	25,06	45,93	30,97	-2,40	-2,51	8,53	67,53	1,75	28,82	8,30
02.01.2010 19:00	7,98	0,32	0,32	9,00	24,54	24,68	45,93	31,01	-2,47	-2,55	8,53	77,61	1,84	28,87	8,41
02.01.2010 20:00	8,14	0,47	0,45	8,57	24,12	24,15	45,92	30,93	-2,46	-2,60	8,50	67,16	1,46	29,50	8,36
02.01.2010 21:00	7,90	0,61	0,55	8,95	24,91	24,76	45,91	30,98	-2,48	-2,65	8,51	76,79	1,68	29,09	8,32
02.01.2010 22:00	7,89	0,53	0,48	8,51	25,16	25,18	45,89	30,95	-2,53	-2,62	8,52	66,94	1,71	29,47	8,30
02.01.2010 23:00	7,84	0,89	0,72	8,99	24,89	24,70	45,91	31,00	-2,52	-2,67	8,54	75,79	1,90	29,01	8,24
03.01.2010 00:00	7,82	0,44	0,41	8,52	25,34	25,33	45,91	31,00	-2,53	-2,66	8,61	66,93	2,10	29,57	8,22
03.01.2010 01:00	8,08	0,92	0,74	9,10	25,16	25,14	45,96	30,98	-2,52	-2,60	8,69	71,52	2,13	28,58	8,21

**Datenauszug aus dem SCADA\*-System  
einer großen Kläranlage**  
 (\* Supervisory Control and Data Acquisition)

# Beispiel Abbauleistung berechnen

	Zulauf KA	Ablauf KA
AFS	120 mg/l	15 mg/l
BSB5	300 mg/l	8 mg/l
CSB	600 mg/l	50 mg/l
TOC	150 mg/l	17 mg/l
DOC	80 mg/l	10 mg/l
TKN	50 mg/l	3 mg/l
NH4-N	35 mg/l	1 mg/l
NO3-N	1 mg/l	10 mg/l
TN	51 mg/l	14 mg/l
TP	11 mg/l	1 mg/l

In der nebenstehenden Tabelle sind die Zu- und Ablaufkonzentrationen einer kommunalen Kläranlage aufgelistet. Berechnen Sie die parameterbezogenen Abbauleistungen in %!

Welche Abbauleistung ist erforderlich, wenn der Überwachungswert für AOX 1 mg/l und die zulaufende AOX-Konzentration 50 mg/l beträgt?

# Beispiel Abbauleistung

$$\eta = \frac{C_Z - C_A}{C_Z}$$

$\eta$  Reinigungsgrad in %

$C_Z$  Konzentration im Zulauf zur Kläranlage

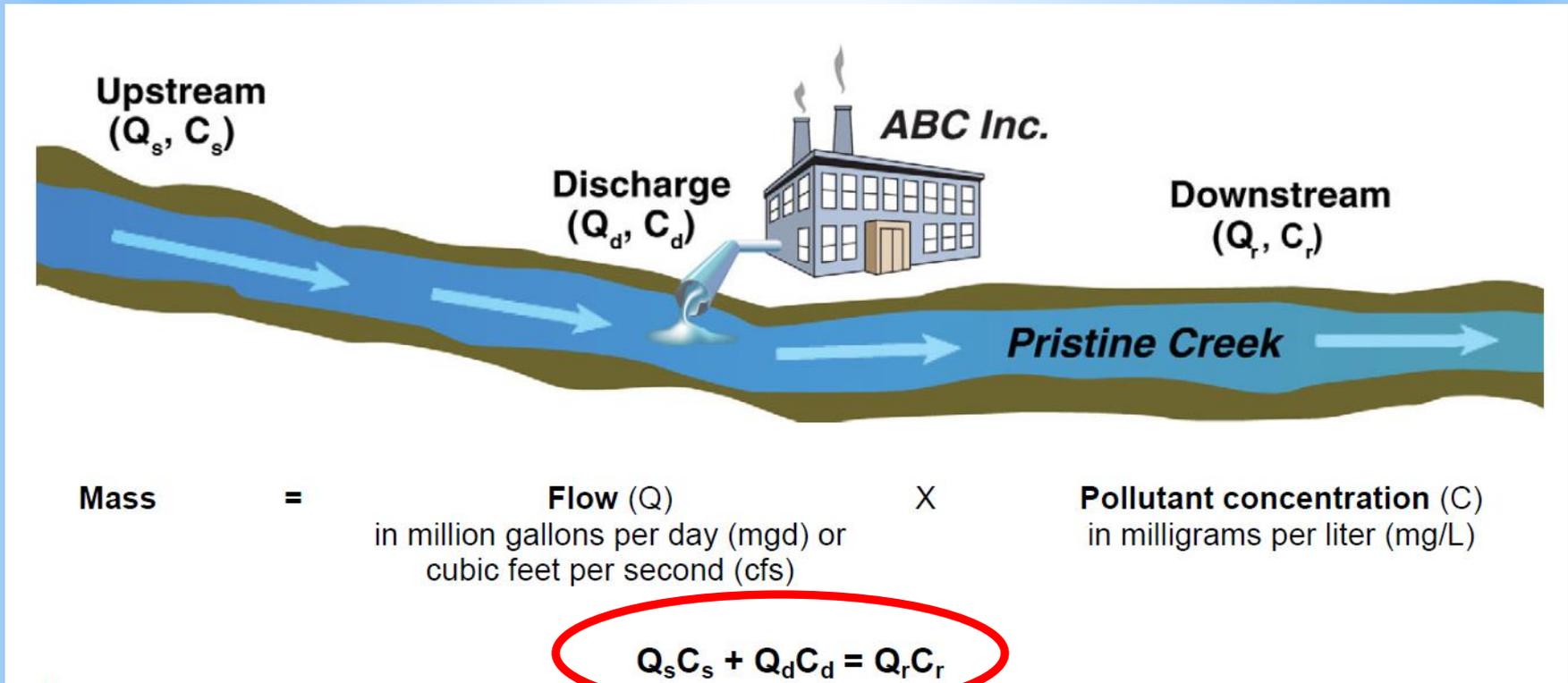
$C_A$  Konzentration im Ablauf der Kläranlage

Excel-Tabelle

	Zulauf KA	Ablauf KA	Abbauleistung
AFS	120 mg/l	15 mg/l	87,50%
BSB5	300 mg/l	8 mg/l	97,33%
CSB	600 mg/l	50 mg/l	91,67%
TOC	150 mg/l	17 mg/l	88,67%
DOC	80 mg/l	10 mg/l	87,50%
TKN	50 mg/l	3 mg/l	94,00%
NH4-N	35 mg/l	1 mg/l	97,14%
NO3-N	1 mg/l	10 mg/l	
TN	51 mg/l	14 mg/l	72,55%
TP	11 mg/l	1 mg/l	90,91%

$$\frac{50 - 1}{50} = 98\% \text{ erforderliche Abbauleistung AOX}$$

# Beispiel Mischungsrechnung



<http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1009L35.PDF>

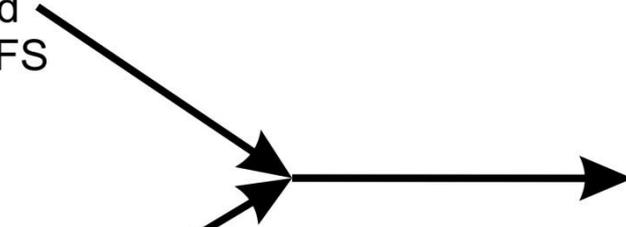
In einem Papier der U.S. EPA wird die Mischungsrechnung anhand der obigen Skizze erläutert. Die Umstellung der Formel führt zu

$$C_r = \frac{Q_s \cdot C_s + Q_d \cdot C_d}{Q_s + Q_d}$$

# Beispiel Mischungsrechnung

Schmutzwasser  
12.960 m<sup>3</sup>/d  
150 mg/l AFS

Regenwasser  
0,6 m<sup>3</sup>/s  
40 mg/l AFS



Im Schacht einer Mischwasserkanalisation fließen ein Schmutzwasserteilstrom und ein Regenwasserteilstrom zusammen (siehe Skizze). Welche Fracht und welche Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) hat der aus dem Schacht abfließende Abwasserstrom?

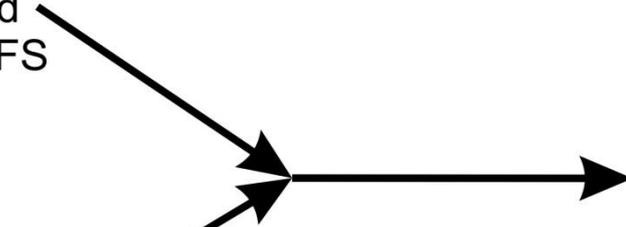
$$\text{Fracht} = \frac{12.960 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} * 150 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} + 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{40 \text{g}}{\text{m}^3} = 46,5 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Mischungsrechnung

Schmutzwasser  
12.960 m<sup>3</sup>/d  
150 mg/l AFS

Regenwasser  
0,6 m<sup>3</sup>/s  
40 mg/l AFS



Im Schacht einer Mischwasserkanalisation fließen ein Schmutzwasserteilstrom und ein Regenwasserteilstrom zusammen (siehe Skizze). Welche Fracht und welche Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) hat der aus dem Schacht abfließende Abwasserstrom?

$$\text{Konzentration} = \frac{\frac{12.960 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 150 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} + 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{40 \text{g}}{\text{m}^3}}{\frac{12.960 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24 \frac{\text{h}}{\text{d}} * 3.600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} + 0,6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 62 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Nährstoffeintrag in Seen

Ein See mit einem Volumen von 5.000.000 m<sup>3</sup> hat einen Zufluss, mit dem jährlich 2.000 kg gelöste Stickstoffverbindungen eingetragen werden.

Um welchen Betrag wird die Konzentration an gelösten Stickstoffverbindungen jährlich erhöht?

Gesamte gelöste Masse an Stickstoffverbindungen im See:

$$M_N = S_N \cdot V$$

Zunahme der gelösten Masse an Stickstoffverbindungen im See:

$$\Delta S_N = \frac{\Delta M_N}{V} = \frac{2.000 \text{ kg N}}{5.000.000 \text{ m}^3} = 0,4 \text{ g N/m}^3$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Nährstoffeintrag in Seen

In einem See werden zu Beginn der Sommerzeit die folgenden Konzentrationen gemessen:

Stickstoff: 2 mg N/l  
Phosphor: 0.2 mg P/l

Die Algenmasse, die sich in diesem See bildet, enthält 5% Stickstoff und 1% Phosphor. Welcher Stoff limitiert das Wachstum der Algen, und wie viel Algenmasse kann als Maximum im See erwartet werden?

Wir erinnern uns:  $1 \frac{mg}{l} = 1 \frac{g}{m^3}$       Demzufolge:  $2 \frac{mg N}{l} = 2 \frac{g N}{m^3}$

Aus dem verfügbaren Stickstoff kann folgende Biomasse gebildet werden:

$$\frac{\frac{2 g N}{m^3}}{\frac{0,05 g N}{g Algen}} = \frac{2 g N}{m^3} \cdot \frac{g Algen}{0,05 g N} = \frac{40 g Algen}{m^3}$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Nährstoffeintrag in Seen

Um den verfügbaren Stickstoff vollständig durch aufwachsende Biomasse umsetzen zu können, müsste folgende Menge an Phosphor verfügbar sein:

$$\frac{40 \text{ g Algen}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0,01 \text{ g P}}{\text{g Algen}} = \frac{0,4 \text{ g P}}{\text{m}^3}$$

verfügbar sind aber nur  
– siehe oben – 0,2 g P/m<sup>3</sup>!

Aus Phosphor ergeben sich

$$\frac{\frac{0,2 \text{ g P}}{\text{m}^3}}{\frac{0,01 \text{ g P}}{\text{g Algen}}} = \frac{0,2 \text{ g P}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\text{g Algen}}{0,01 \text{ g P}} = \frac{20 \text{ g Algen}}{\text{m}^3}$$

Um den verfügbaren Phosphor vollständig durch aufwachsende Biomasse umsetzen zu können, müsste folgende Menge an Stickstoff verfügbar sein:

$$\frac{20 \text{ g Algen}}{\text{m}^3} \cdot \frac{0,05 \text{ g N}}{\text{g Algen}} = \frac{1 \text{ g N}}{\text{m}^3}$$

verfügbar sind aber  
– siehe oben - 2 g N/m<sup>3</sup>

**Ergo: P ist limitierender Nährstoff.**

unter Verwendung von GUJER, 2007

# 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
HABERKERN et al., 2008	Haberkern, B.; Maier, W.; Schneider, U. Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen Umweltbundesamt Texte Nr. 11/08, Dessau-Roßlau, März 2008 <a href="http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3347.pdf">http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3347.pdf</a>
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997

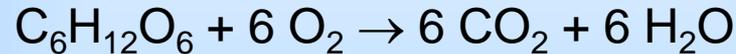
# Gewässerschutz

Allgemeine Grundlagen /  
Ausgewählte gesetzliche Regelungen /  
Hochwasserschutz

# Beispiel Theoretischer CSB / TOC

Wie groß sind der CSB und der TOC einer Lösung von 200 mg Zucker ( $C_6H_{12}O_6$ ) in 1 l Wasser?

Reaktionsgleichung:



Atomgewichte:  $C = 12, H = 1, O = 16$

Molekulargewicht des Zuckers:

$$6 \cdot 12 + 12 \cdot 1 + 6 \cdot 16 = 180 \text{ g Zucker}$$

*Mit anderen Worten: 1 Mol Zucker wiegt 180 g*

Sauerstoffbedarf zur Oxidation von 1 Mol Zucker:

$$6 \cdot 2 \cdot 16 = 192 \text{ g Sauerstoff}$$

*Mit anderen Worten: Um 1 Mol Zucker zu oxidieren, benötigt man 192 g  $O_2$*

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Theoretischer CSB / TOC

CSB der Zuckerlösung:

$$\begin{aligned} & \frac{192 \frac{\text{g CSB}}{\text{Mol Zucker}}}{180 \frac{\text{g Zucker}}{\text{Mol Zucker}}} * 200 \frac{\text{g Zucker}}{\text{m}^3} \\ &= \frac{192 \text{ g CSB}}{\text{Mol Zucker}} * \frac{\text{Mol Zucker}}{180 \text{ g Zucker}} * \frac{200 \text{ g Zucker}}{\text{m}^3} \\ &= 213 \frac{\text{g CSB}}{\text{m}^3} = 213 \frac{\text{mg CSB}}{\text{l}} \end{aligned}$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Theoretischer CSB / TOC

TOC der Zuckerlösung (weil sich Zucker vollständig auflöst, ist hier TOC = DOC):

$$\begin{aligned} & \frac{72 \frac{\text{g C}}{\text{Mol Zucker}}}{180 \frac{\text{g Zucker}}{\text{Mol Zucker}}} * 200 \frac{\text{g Zucker}}{\text{m}^3} \\ &= \frac{72 \text{ g C}}{\text{Mol Zucker}} * \frac{\text{Mol Zucker}}{180 \text{ g Zucker}} * \frac{200 \text{ g Zucker}}{\text{m}^3} \\ &= 80 \frac{\text{g TOC}}{\text{m}^3} = 80 \frac{\text{mg TOC}}{\text{l}} \end{aligned}$$

unter Verwendung von GUJER, 2007

# Beispiel Theoretischer CSB / TOC

Beispiel für die Berechnung des theoretischen CSB eines Chemieabwassers (Fragestellung dahinter: Lohnt es sich, dieses Abwasser zwecks Biogasgewinnung zu vergären?)

Parameter / Verbindung	Einheit	Konzentration		Summenformel	Molmasse (g/mol)	Konzentration (Mittel) (mol/l)	C	H	O	C (mol/l)	H (mol/l)	O (mol/l)	Theoret. CSB (mg/l)
		Mittel	max.										
CSB	mg/l	21.000	30.000										
BSB	mg/l	5.200	10.000										
Methylchlorid	mg/l	<b>1</b>	100	CH <sub>3</sub> Cl	50,49	0,0000099	1	3	0	0,000010	0,000030	0,000000	<b>0,6</b>
Ethylenoxid	mg/l	<b>0</b>	1	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O	44,05	0,0000068	2	4	1	0,000014	0,000027	0,000007	<b>0,5</b>
Methanol	mg/l	3.500	<b>6.000</b>	CH <sub>4</sub> O	32,04	0,1873	1	4	1	0,187	0,749	0,187	<b>8.989</b>
2-Methoxy-Ethanol	mg/l	<b>3.000</b>	5.100	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	76,09	0,0394	3	8	2	0,118	0,315	0,079	<b>5.047</b>
1,2-dimethoxy-Ethan	mg/l	<b>300</b>	1.000	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	90,12	0,0033	4	10	2	0,013	0,033	0,007	<b>586</b>
Dimethylether	mg/l		100	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46,06	0,0022	2	6	1	0,004	0,013	0,002	<b>208</b>
Diethylenglycol-mono-methylether	mg/l	<b>800</b>	1.200	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> O <sub>3</sub>	120,15	0,0067	5	12	3	0,033	0,080	0,020	<b>1.385</b>
Diethylenglycol-di-methylether	mg/l	<b>100</b>	200	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O <sub>3</sub>	134,18	0,0007	6	14	3	0,004	0,010	0,002	<b>191</b>
Ethylenglykol	mg/l	<b>2.500</b>	6.000	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62,07	0,0403	2	6	2	0,081	0,242	0,081	<b>3.222</b>
Lösliche Methylcellulose, Hemicellulose	mg/l	<b>1.800</b>	3.400	(C <sub>8</sub> H <sub>14</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	190	0,0095	8	14	5	0,076	0,133	0,047	<b>2.728</b>
Feststoffgehalt (suspendierte Partikel – Cellulosebestandteile)	mg/l	<b>500</b>	1.000	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>n</sub>	162	0,0031	6	10	5	0,019	0,031	0,015	<b>593</b>
Natriumformiat	mg/l	<b>1.200</b>	2.500	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	46,03	0,0261	2	2	2	0,052	0,052	0,052	<b>1.251</b>
				<b>Summe:</b>						<b>0,588</b>	<b>1,658</b>	<b>0,493</b>	<b>24.201</b>

# Beispiel Theoretischer CSB / TOC

Wie viel Sauerstoff wird verbraucht, um 1 g  $\text{NH}_4\text{-N}$  vollständig zu oxidieren?

Reaktionsgleichung:



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

Molekulargewicht des Sauerstoffs:

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

Um 1 Mol  $\text{NH}_4\text{-N}$  zu oxidieren, werden 2 Mol Sauerstoff verbraucht, d. h.: es sind 64 g Sauerstoff je 14 g  $\text{NH}_4\text{-N}$  erforderlich. Danach ergibt sich:

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

# Anforderungen an Abwassereinleitung

Beispiel für Mischungsrechnung nach Anhang 1 und Anhang 22 AbwV

An einem großen Chemiestandort wird eine Kläranlage betrieben, die nicht nur das Abwasser aus dem eigenen Unternehmen, sondern auch das Kommunalabwasser der umliegenden Städte und Gemeinden behandelt. Der Abwasservolumenstrom des Chemieabwassers beträgt  $380 \text{ m}^3/\text{h}$ , die CSB-Konzentration  $2.200 \text{ mg/l}$ . Der Abwasservolumenstrom des Kommunalabwassers beträgt  $460 \text{ m}^3/\text{h}$ , die CSB-Konzentration  $770 \text{ mg/l}$ .

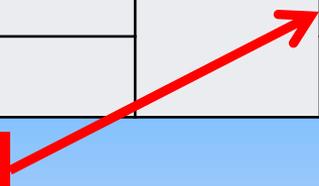
Für die Ausfertigung einer behördlichen Erlaubnis sind die maßgeblichen Überwachungswerte (Parameter: CSB, BSB, TIN, P) durch eine **Mischungsrechnung** zu ermitteln. Die Anforderungen für das Kommunalabwasser ergeben sich aus Anhang 1 der Abwasserverordnung (AbwV). Für das Chemieabwasser ist Anhang 22 AbwV heranzuziehen.

# Anforderungen an Abwassereinleitung

Beispiel für Mischungsrechnung nach Anhang 1 und Anhang 22

	gegeben:	Chemie-abwasser		Kommunalabwasser			Gesamt-abwasser		
		Abwasser-menge in m <sup>3</sup> /h	Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h	Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h	EW	Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h
<b>Zulauf KA</b> (Mittelwerte)	Abwasser-menge in m <sup>3</sup> /h	380		460					
	CSB	2.200		770					
	<b>Ablauf KA</b> (Anforderungen)	CSB							

gesucht:



# Anforderungen an Abwassereinleitung

Beispiel für Mischungsrechnung nach Anhang 1 und Anhang 22

## Rechenweg:

1. Berechnung der Frachten für Industrieabwasser und Kommunalabwasser (als Produkt aus Abwassermenge und Konzentration)
2. Berechnung der Fracht im Gesamtabwasser (Summe der Frachten in Industrie- und Kommunalabwasser)
3. Ableitung der Anforderungen aus den jeweiligen Anhängen zur AbwV (bei Anhang 1 muss vorher noch die Größenklasse ermittelt werden)
4. Berechnung der maximal zulässigen Ablauffrachten für Industrie- und Kommunalabwasser (als Produkt aus Abwassermenge und Konzentrationswert der Anforderung)
5. Berechnung der maximal zulässigen Ablauffracht im Gesamtabwasser (Summe der maximal zulässigen Frachten in Industrie- und Kommunalabwasser)
6. Berechnung der maximal zulässigen Ablaufkonzentration im Gesamtabwasser (als Quotient aus der maximal zulässigen Fracht und der Abwassermenge)

# Häusliches Abwasser – „Faustwerte“

Parameter	Einwohner-spezifische Fracht	Literaturquelle
BSB <sub>5</sub>	60 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131
CSB	120 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131
TS	70 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131
TKN	11 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131
NH <sub>4</sub> -N	8 g/(E*d)	HABERKERN et al., 2008
P	2 g/(E*d)	ATV-DVWK-A 131

Einwohnerspezifische Frachten, die an 85% der Tage unterschritten werden  
(normal verschmutztes häusliches Abwasser)

# Anforderungen an Abwassereinleitung

Beispiel für Mischungsrechnung nach Anhang 1 und Anhang 22

		Chemieabwasser		Kommunalabwasser			Gesamtabwasser	
<b>Zulauf KA</b> (Mittelwerte)	Abwasser-menge in m <sup>3</sup> /h	380		460			840	
		Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h	Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h	EW	Konzentration in mg/l	Fracht in kg/h
	CSB	2.200	836,0	770	354,2	70.840	1.417	1.190,2
<b>Ablauf KA</b> (Anforderungen)	CSB	75	28,5	90	41,4	Größenklasse 4	83	69,9
	BSB <sub>5</sub>			20	9,2			
	TIN	50	19,0	18	8,3		32	27,3
	P	2	0,76	2	0,92		2	1,68

# Abwasserabgabe

Das Unternehmen aus dem vorhergehenden Beispiel hat eine behördliche Erlaubnis mit den errechneten Überwachungswerten erhalten und die Behörde kontrolliert die Einhaltung dieser Werte. Die Konzentrationen, die im Zuge der behördlichen Überwachung in den maßgeblichen Parametern im Ablauf der Kläranlage in das Gewässer gemessen wurden, gehen aus der nebenstehenden Tabelle hervor.

Zu berechnen ist die Abwasserabgabe für das Jahr 2013!

Datum	Messwerte		
	CSB	TIN	P
18.10.2013	105 mg CSB/l	25,0 mg TIN/l	1,7 mg P/l
13.06.2013	58 mg CSB/l	23,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.04.2013	56 mg CSB/l	48,0 mg TIN/l	4,5 mg P/l
07.03.2013	98 mg CSB/l	24,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
21.02.2013	60 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
04.12.2012	74 mg CSB/l	32,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.11.2012	88 mg CSB/l	19,0 mg TIN/l	1,6 mg P/l
28.09.2012	66 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	1,9 mg P/l
14.08.2012	69 mg CSB/l	31,0 mg TIN/l	3,1 mg P/l
17.05.2012	102 mg CSB/l	27,0 mg TIN/l	1,4 mg P/l

# Abwasserabgabe

## Übersicht Rechenweg (stark vereinfacht):

1. Berechnung der zulässigen Jahresfrachten aller abwasserabgabenrelevanten Parameter (als Produkt aus der Jahresschmutzwassermenge und dem Überwachungswert)
2. Berechnung der Ausgangshöhe der Schadeinheiten aller abwasserabgabenrelevanten Parameter (als Quotient aus der zulässigen Jahresfracht und der jeweiligen Messeinheit je Schadeinheit gemäß Tabelle in der Anlage zum AbwAG)
3. Überprüfen, ob Überwachungswerte unter Berücksichtigung der "4-aus-5-Regelung" als eingehalten gelten oder ob Überschreitungen im Sinne von § 4 Abs. 4 AbwAG vorliegen
  - 3.a Bei Verletzung der "4-aus-5-Regelung" Ermittlung der Vomhundertsätze, um die die errechneten Schadeinheiten gemäß § 4 Abs. 4 AbwAG zu erhöhen sind
  - 3.b Erhöhung der errechneten Schadeinheiten um die ermittelten Vomhundertsätze
4. Berechnung der insgesamt angefallenen Schadeinheiten (als Summe der SE in den einzelnen Parametern)
5. Berechnung der Abwasserabgabe als Produkt aus den insgesamt angefallenen SE und dem Abgabesatz von derzeit 35,79 Euro unter Berücksichtigung der Ermäßigung nach § 9 Abs. 5 AbwAG

# Abwasserabgabe

1. Berechnung der zulässigen Jahresfrachten aller abwasserabgabenrelevanten Parameter (als Produkt aus der Jahresschmutzwassermenge und dem Überwachungswert)
2. Berechnung der Ausgangshöhe der Schadeinheiten aller abwasserabgabenrelevanten Parameter (als Quotient aus der zulässigen Jahresfracht und der jeweiligen Messeinheit je Schadeinheit gemäß Tabelle in der Anlage zum AbwAG)

Jahresschmutzwassermenge	7.358.400 m <sup>3</sup>
--------------------------	--------------------------

Überwachungswerte	83 mg CSB/l
	32 mg TIN/l
	2 mg P/l

Messeinheiten je Schadeinheit	50 kg CSB/SE
	25 kg N/SE
	3 kg P/SE

	Schadeinheiten und Abwasserabgabe			
	CSB	TIN	P	Summe
zul. Jahresfracht	610.747 kg CSB	235.469 kg TIN	14.717 kg P	
Schadeinheiten	12.215 SE	9.419 SE	4.906 SE	26.539 SE

# Abwasserabgabe

3. Überprüfen, ob Überwachungswerte unter Berücksichtigung der "4-aus-5-Regelung" als eingehalten gelten oder ob Überschreitungen im Sinne von § 4 Abs. 4 AbwAG vorliegen

Datum	Messwerte		
	CSB	TIN	P
18.10.2013	105 mg CSB/l	25,0 mg TIN/l	1,7 mg P/l
13.06.2013	58 mg CSB/l	23,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.04.2013	56 mg CSB/l	48,0 mg TIN/l	4,5 mg P/l
07.03.2013	98 mg CSB/l		
21.02.2013	60 mg CSB/l		
04.12.2012	74 mg CSB/l		
09.11.2012	88 mg CSB/l		
28.09.2012	66 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	1,9 mg P/l
14.08.2012	69 mg CSB/l	31,0 mg TIN/l	3,1 mg P/l
17.05.2012	102 mg CSB/l	27,0 mg TIN/l	1,4 mg P/l

Überwachungswerte	83 mg CSB/l
	32 mg TIN/l
	2 mg P/l

AbwV, § 6, Abs. 1 ("4-aus-5-Regelung" )

## § 6 Einhaltung der Anforderungen

(1) Ist ein nach dieser Verordnung einzuhaltender oder in der wasserrechtlichen Zulassung festgesetzter Wert nach dem Ergebnis einer Überprüfung im Rahmen der staatlichen Überwachung nicht eingehalten, gilt er dennoch als eingehalten, wenn die Ergebnisse dieser und der vier vorausgegangenen staatlichen Überprüfungen in vier Fällen den jeweils maßgebenden Wert nicht überschreiten und kein Ergebnis den Wert um mehr als 100 Prozent übersteigt. Überprüfungen, die länger als drei Jahre zurückliegen, bleiben unberücksichtigt.

# Abwasserabgabe

3. Überprüfen, ob Überwachungswerte unter Berücksichtigung der "4-aus-5-Regelung" als eingehalten gelten oder ob Überschreitungen im Sinne von § 4 Abs. 4 AbwAG vorliegen

Datum	Messwerte		
	CSB	TIN	P
18.10.2013	105 mg CSB/l	25,0 mg TIN/l	1,7 mg P/l
13.06.2013	58 mg CSB/l	23,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.04.2013	56 mg CSB/l	48,0 mg TIN/l	4,5 mg P/l
07.03.2013	98 mg CSB/l	24,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
21.02.2013	60 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
04.12.2012	74 mg CSB/l	32,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.11.2012	88 mg CSB/l	19,0 mg TIN/l	1,6 mg P/l
28.09.2012	66 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	1,9 mg P/l
14.08.2012	69 mg CSB/l	31,0 mg TIN/l	3,1 mg P/l
17.05.2012	102 mg CSB/l	27,0 mg TIN/l	1,4 mg P/l

Überwachungswerte	83 mg CSB/l
	32 mg TIN/l
	2 mg P/l

**CSB: Verletzung**, nicht eingehalten, da nur 3 aus 5 eingehalten sind (Werte danach sind irrelevant)!

**TIN: keine Verletzung**, da 4 aus 5 eingehalten sind und die Überschreitung unter 100% liegt

**P: Verletzung**, zwar nur eine Überschreitung innerhalb der letzten 5 Messwerte, aber die Überschreitung beträgt mehr als 100%!

# Abwasserabgabe

3.a Bei Verletzung der "4-aus-5-Regelung" Ermittlung der Vomhundertsätze, um die die errechneten Schadeinheiten gemäß § 4 Abs. 4 AbwAG zu erhöhen sind

Datum	Messwerte		
	CSB	TIN	P
18.10.2013	105 mg CSB/l	25,0 mg TIN/l	1,7 mg P/l
13.06.2013	58 mg CSB/l	23,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.04.2013	56 mg CSB/l	48,0 mg TIN/l	4,5 mg P/l
07.03.2013	98 mg CSB/l	24,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
21.02.2013	60 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	0,9 mg P/l
04.12.2012	74 mg CSB/l	32,0 mg TIN/l	1,5 mg P/l
09.11.2012	88 mg CSB/l	19,0 mg TIN/l	1,6 mg P/l
28.09.2012	66 mg CSB/l	26,0 mg TIN/l	1,9 mg P/l
14.08.2012	69 mg CSB/l	31,0 mg TIN/l	3,1 mg P/l
17.05.2012	102 mg CSB/l	27,0 mg TIN/l	1,4 mg P/l

Überwachungs- werte	83 mg CSB/l
	32 mg TIN/l
	2 mg P/l

	CSB	TIN	P
Prozentuale Überschreitung des Überwachungswertes	26,51%	0%	125%
Vomhundertsatz zur Erhöhung der SE	26,51%	0%	62,5%

3.b Erhöhung der errechneten Schadeinheiten um die ermittelten Vomhundertsätze

4. Berechnung der insgesamt angefallenen Schadeinheiten (als Summe der SE in den einzelnen Parametern)

5. Berechnung der Abwasserabgabe als Produkt aus den insgesamt angefallenen SE und dem Abgabesatz von derzeit 35,79 Euro unter Berücksichtigung der Ermäßigung nach § 9 Abs. 5 AbwAG

	Schadeinheiten und Abwasserabgabe			
	CSB	TIN	P	Summe
zul. Jahresfracht	610.747 kg CSB	235.469 kg TIN	14.717 kg P	
Schadeinheiten	12.215 SE	9.419 SE	4.906 SE	26.539 SE
Prozentuale Überschreitung des Überwachungswertes	26,51%	50%	125%	
Vomhundertsätze zur Korrektur der SE	26,51%	0%	62,5%	
SE korrigiert	15.453 SE	9.419 SE	7.972 SE	32.843 SE
Abwasserabgabe	276.524,99 €	168.548,57 €	142.651,78 €	587.725,34 €

# Beispiel Regression von W auf W

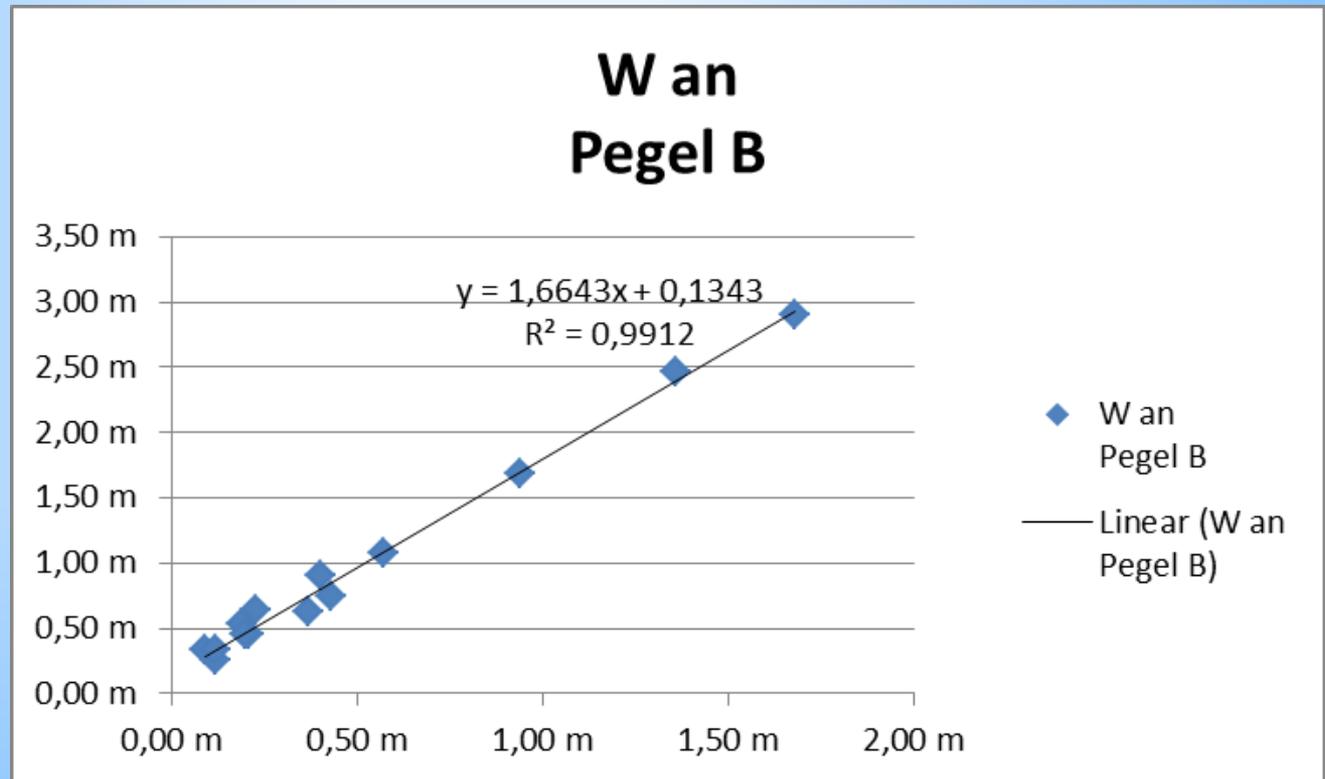
W an Pegel A	W an Pegel B
0,23 m	0,64 m
0,37 m	0,62 m
0,43 m	0,74 m
0,40 m	0,90 m
1,36 m	2,46 m
0,12 m	0,25 m
0,57 m	1,07 m
0,09 m	0,33 m
0,19 m	0,54 m
1,68 m	2,91 m
0,21 m	0,45 m
0,20 m	0,45 m
0,12 m	0,34 m
0,94 m	1,68 m

Zwischen den Pegeln an Fließgewässern, deren Wasserstände und Durchflüsse im Hochwassermeldesystem veröffentlicht werden, liegt i.d.R. eine relativ lange Fließstrecke. Städte und Gemeinden oder auch Unternehmen, die weiter ab von den Hochwassermeldepegeln angesiedelt sind, aber eigene Pegel betreiben, können aus den veröffentlichten Wasserständen an oberhalb gelegenen Hochwassermeldepegeln auf die an ihren Pegeln zu erwartenden Wasserstände schließen, wenn sie sich einer Regressionsfunktion bedienen.

Ermitteln Sie – unter Verwendung des Tabellenkalkulationsprogramms MS Excel - für die links angegebenen Wertepaare von W an den Pegeln A und B den funktionalen Zusammenhang! Welche Art von Regressionsfunktion ergibt den höchsten Regressionskoeffizienten?

# Beispiel Regression von W auf W

W an Pegel A	W an Pegel B
0,23 m	0,64 m
0,37 m	0,62 m
0,43 m	0,74 m
0,40 m	0,90 m
1,36 m	2,46 m
0,12 m	0,25 m
0,57 m	1,07 m
0,09 m	0,33 m
0,19 m	0,54 m
1,68 m	2,91 m
0,21 m	0,45 m
0,20 m	0,45 m
0,12 m	0,34 m
0,94 m	1,68 m



# Beispiel Regression von Q auf W

W	Q
0,36 m	162,00 m <sup>3</sup> /s
0,80 m	177,00 m <sup>3</sup> /s
0,77 m	190,00 m <sup>3</sup> /s
1,73 m	270,00 m <sup>3</sup> /s
0,64 m	165,00 m <sup>3</sup> /s
0,94 m	216,00 m <sup>3</sup> /s
0,46 m	179,00 m <sup>3</sup> /s
0,78 m	186,00 m <sup>3</sup> /s
2,05 m	321,00 m <sup>3</sup> /s
1,10 m	220,00 m <sup>3</sup> /s
0,57 m	169,00 m <sup>3</sup> /s
0,49 m	173,00 m <sup>3</sup> /s
1,64 m	245,00 m <sup>3</sup> /s
1,72 m	272,00 m <sup>3</sup> /s
0,73 m	175,00 m <sup>3</sup> /s
1,17 m	227,00 m <sup>3</sup> /s
2,40 m	341,00 m <sup>3</sup> /s
2,10 m	344,00 m <sup>3</sup> /s
3,05 m	499,00 m <sup>3</sup> /s
1,31 m	257,00 m <sup>3</sup> /s
3,75 m	669,00 m <sup>3</sup> /s
4,11 m	707,00 m <sup>3</sup> /s
2,42 m	357,00 m <sup>3</sup> /s
1,47 m	261,00 m <sup>3</sup> /s
4,85 m	880,00 m <sup>3</sup> /s
5,30 m	1081,00 m <sup>3</sup> /s
5,92 m	1529,00 m <sup>3</sup> /s
6,42 m	1901,00 m <sup>3</sup> /s
6,70 m	1857,00 m <sup>3</sup> /s
6,98 m	2329,00 m <sup>3</sup> /s
7,48 m	2864,00 m <sup>3</sup> /s

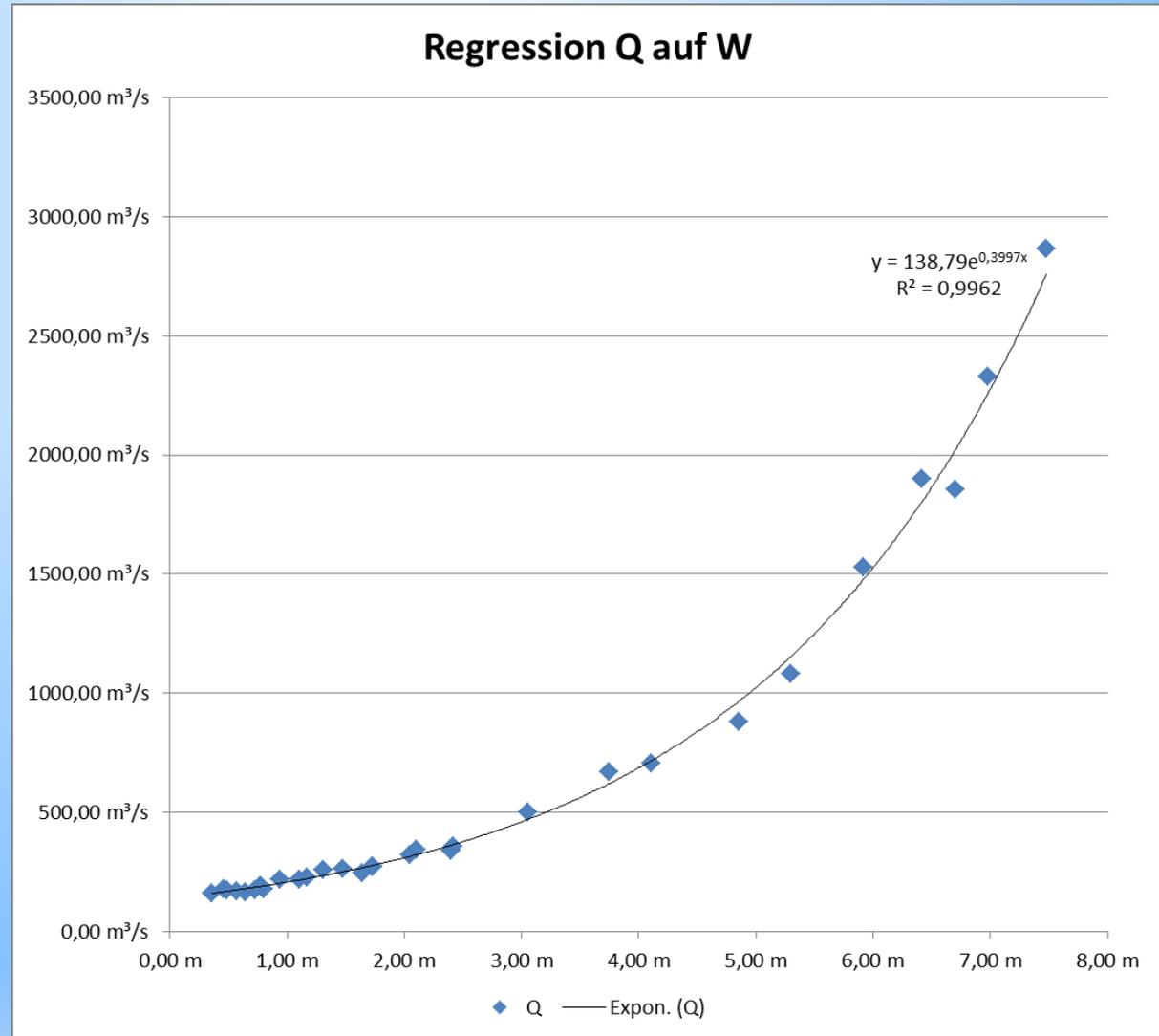
Bei Pegeln an Fließgewässern besteht ein Zusammenhang zwischen Wasserstand W und Durchfluss Q. Weil die Durchflussmessung sehr aufwändig ist, liegt meist nur eine begrenzte Anzahl belastbarer Messwerte für Q vor. Um dennoch Q für alle Wasserstände angeben zu können, wird eine Regressionsfunktion ermittelt, die dann als Grundlage zukünftiger Berechnungen dient.

Ermitteln Sie – wieder unter Verwendung des Tabellenkalkulationsprogramms MS Excel - für die links angegebenen Wertepaare von W und Q den funktionalen Zusammenhang!

Welche Art von Regressionsfunktion ergibt den höchsten Regressionskoeffizienten und was lässt sich daraus über die Aussagekraft der ermittelten Funktion schließen?

# Beispiel Regression von Q auf W

W	Q
0,36 m	162,00 m³/s
0,80 m	177,00 m³/s
0,77 m	190,00 m³/s
1,73 m	270,00 m³/s
0,64 m	165,00 m³/s
0,94 m	216,00 m³/s
0,46 m	179,00 m³/s
0,78 m	186,00 m³/s
2,05 m	321,00 m³/s
1,10 m	220,00 m³/s
0,57 m	169,00 m³/s
0,49 m	173,00 m³/s
1,64 m	245,00 m³/s
1,72 m	272,00 m³/s
0,73 m	175,00 m³/s
1,17 m	227,00 m³/s
2,40 m	341,00 m³/s
2,10 m	344,00 m³/s
3,05 m	499,00 m³/s
1,31 m	257,00 m³/s
3,75 m	669,00 m³/s
4,11 m	707,00 m³/s
2,42 m	357,00 m³/s
1,47 m	261,00 m³/s
4,85 m	880,00 m³/s
5,30 m	1081,00 m³/s
5,92 m	1529,00 m³/s
6,42 m	1901,00 m³/s
6,70 m	1857,00 m³/s
6,98 m	2329,00 m³/s
7,48 m	2864,00 m³/s



# Beispiel Jährlichkeit von Hochwasser

Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Hochwasser mit einer Jährlichkeit (einem Wiederkehrintervall) von  $z = 5$  a in fünf aufeinander folgenden Kalenderjahren nicht eintritt?

Innerhalb eines Kalenderjahres kann ein solches Hochwasser mit einer Wahrscheinlichkeit von

$$\frac{1}{z} = 0.2/a$$

beobachtet werden. Also wird es mit der Wahrscheinlichkeit von

$$1 - 0.2 = 0.8$$

während eines Kalenderjahrs nicht beobachtet. Die Wahrscheinlichkeit, dass fünf Jahre in Serie ein solches Hochwasser nicht eintritt, beträgt

$$0,8^5 = 0.33.$$

unter Verwendung von [GUJER, 2007](#)

# Beispiel Jährlichkeit von Hochwasser

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein  $HQ_5$  in fünf aufeinander folgenden Kalenderjahren eintritt, ist

$$1 - 0,33 = 0,67$$

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein  $HQ_5$  während einer Periode von fünf Kalenderjahren genau einmal eintritt beträgt:

$$W = 5 * 0.8^4 * 0.2 = 0.41$$

Also treten mit einer Wahrscheinlichkeit von

$$1 - 0.33 - 0.41 = 0.26$$

in einer solchen Periode mindestens 2 oder mehr solcher Hochwässer auf.

unter Verwendung von [GUJER, 2007](#)

# 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
GUJER, 2007	Gujer, W. Siedlungswasserwirtschaft Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007
HABERKERN et al., 2008	Haberkern, B.; Maier, W.; Schneider, U. Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen Umweltbundesamt Texte Nr. 11/08, Dessau-Roßlau, März 2008 <a href="http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3347.pdf">http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3347.pdf</a>

# Gewässerschutz

## Berechnungen zum Sauerstoffdefizit mit der Streeter-Phelps-Gleichung

# Streeter-Phelps-Gleichung - Aufgabe

Aufgrund einer massiven Betriebsstörung muss vorübergehend der Notumlauf einer Kläranlage geöffnet und ungereinigtes Abwasser von 50.000 Einwohnern in den Vorfluter abgeleitet werden.

Über den Zulauf zur Kläranlage liegen folgende Informationen vor:

Abwasseranfall:	200 l/E * d
BSB <sub>5</sub> :	60 g/E * d
Abwassertemperatur:	20°C
Sauerstoffdefizit:	100%

Über die Situation im Vorfluter oberhalb der Einleitungsstelle liegen folgende Informationen vor:

Durchfluss:	1,5 m <sup>3</sup> /s
Fließgeschwindigkeit:	0,3 m/s
mittlere Wassertiefe:	0,75 m
Wassertemperatur:	12°C
BSB <sub>5</sub> :	1 mg/l,
Sauerstoffdefizit:	0%

# Streeter-Phelps-Gleichung - Aufgabe

Berechnen Sie mit Hilfe der Streeter-Phelps-Gleichung aller 5 km Fließweg die sich einstellende Sauerstoffkonzentration auf einer Fließstrecke von insgesamt 100 km unter der Voraussetzung, dass

$$\text{Abbaukoeffizient } k_1 = \frac{0,4}{d} !$$

Berechnen Sie weiterhin die kritische Fließzeit  $t_C$  und die kritische Fließstrecke  $s_C$ , an der das höchste Sauerstoffdefizit eintritt!

Wie hoch sind das Sauerstoffdefizit  $D_C$  und die Sauerstoffkonzentration  $c_C$  an der kritischen Stelle?

# Streeter-Phelps-Gleichung

1. Berechnen von Menge und Beschaffenheit des ungereinigten Abwassers:

$$Q_A = 50.000 \text{ EW} \cdot \frac{0,2 \text{ m}^3/d}{\text{EW} \cdot 24 \cdot 3.600} = 0,11574 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Syntax in MS Excel -Tabelle: „=E2\*0.2/24/3600“

$$F_{A(BSB_5)} = 50.000 \text{ EW} \cdot \frac{60 \text{ g BSB}_5}{\text{EW} \cdot d} \cdot \frac{d}{24 \text{ h}} \cdot \frac{h}{3.600 \text{ s}} = 34,722 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

$$C_{A(BSB_5)} = \frac{34,722 \frac{\text{g}}{\text{s}}}{0,11574 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 300 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} = 300 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

=E2\*60/24/3600/E3

# Streeter-Phelps-Gleichung

2. Berechnen der Konzentrationen für  $BSB_5$  und  $O_2$  sowie der Wassertemperatur unterhalb der Abwassereinleitungsstelle ( $t = 0$ )

$$L_0 = \frac{300 \frac{mg}{l} * 0,11574 \frac{m^3}{s} + 1 \frac{mg}{l} * 1,5 \frac{m^3}{s}}{0,11574 \frac{m^3}{s} + 1,5 \frac{m^3}{s}} = 22 \frac{mg}{l}$$

$$=(E5*E3+E9*E7)/E12$$

$$C_0 = \frac{10,8 \frac{mg}{l} * 1,5 \frac{m^3}{s}}{0,11574 \frac{m^3}{s} + 1,5 \frac{m^3}{s}} = 10,0 \frac{mg}{l}$$

$$=RUNDEN(E10*E7/E12,1)$$

$$T_0 = \frac{20^{\circ}C * 0,11574 \frac{m^3}{s} + 12^{\circ}C * 1,5 \frac{m^3}{s}}{0,11574 \frac{m^3}{s} + 1,5 \frac{m^3}{s}} = 12,6^{\circ}C$$

$$=(E7*E8+E4*E3)/E12$$

# Streeter-Phelps-Gleichung

3. Berechnen der Zeitdifferenz in d für 5 km Fließweg:

$$\Delta t = \frac{5 \text{ km} \cdot \frac{1.000 \text{ m}}{\text{km}}}{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{d}}} = 0,193 \text{ d}$$

4. Berechnen der Sauerstoffsättigungskonzentration für  $t = 0$ :

$$c_{S,0} = e^{(-139,3441 + 1,575701 \cdot \frac{10^5}{12,6} - 6,642308 \cdot \frac{10^7}{12,6^2} + 1,2438 \cdot \frac{10^{10}}{12,6^3} - 8,621949 \cdot \frac{10^{11}}{12,6^4})}$$
$$= 10,64 \frac{\text{mg } O_2}{\text{l}}$$

5. Berechnen des Sauerstoffdefizits unterhalb der Abwassereinleitungsstelle:

$$D_0 = 10,64 - 10,0 = 0,64 \text{ mg } O_2/\text{l}$$

=E16-E15

# Streeter-Phelps-Gleichung

6. Nebenrechnung: Ermittlung von  $k_2$

$$k_2 = 2,59 \cdot \left( \frac{0,3^{0,674}}{0,75^{1,865}} \right) = 2,0$$

$$= \text{RUNDEN}(2.59 * 0.3^{0.674} / 0.75^{1.865}, 0)$$

# Streeter-Phelps-Gleichung

7. Anlegen einer Tabelle, Berechnen und Eintragen der jeweiligen Werte für das Sauerstoffdefizit  $D_t$  bzw. die Sauerstoffkonzentration  $C_t$

Zeit	Fließstrecke	Sauerstoffdefizit	Sauerstoffkonzentration
0,000 d	0,0 km	= 10,64 - 10,00 = 0,64	10,00
0,193 d	5,0 km	1,81	= 10,64 - 1,81 = 8,83
0,386 d	10,0 km		
0,579 d	15,0 km		
0,772 d	20,0 km		
0,965 d	25,0 km		
1,157 d	30,0 km		
1,350 d	35,0 km		
1,543 d	40,0 km		

$$D_{5,0 \text{ km}} = \frac{0,4 \cdot 22}{2,0 - 0,4} \cdot (e^{-0,4 \cdot 0,193} - e^{-2 \cdot 0,193}) + 0,64 \cdot e^{-2 \cdot 0,193}$$

$$= 1,81 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

0,772 d	20,0 km
3,665 d	95,0 km
3,858 d	100,0 km

$$= ((E\$18 * E\$14) / (E\$19 - E\$18)) * (EXP(-E\$18 * \$C23) - EXP(-E\$19 * \$C23)) + (E\$17 * (EXP(-E\$19 * \$C23)))$$

# Streeter-Phelps-Gleichung

8. Berechnen der kritischen Zeit  $t_c$

$$t_c = \left( \frac{1}{k_2 - k_1} \right) \cdot \ln \left\{ \frac{k_2}{k_1} \left[ 1 - \frac{(k_2 - k_1) \cdot D_0}{k_1 \cdot L_0} \right] \right\}$$

$$t_c = \left( \frac{1}{2,0 - 0,4} \right) \cdot \ln \left\{ \frac{2,0}{0,4} \left[ 1 - \frac{(2,0 - 0,4) \cdot 0,64}{0,4 \cdot 22} \right] \right\}$$
$$= 0,93 \text{ d}$$

9. Berechnen der kritischen Fließstrecke  $s_c$

$$s_c = 0,93 \text{ d} \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{3.600 \text{ s}}{\text{h}} \cdot 0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{km}}{1.000 \text{ m}} = 24,1 \text{ km}$$

# Streeter-Phelps-Gleichung

10. Berechnen des kritischen Sauerstoffdefizits  $D_c$

$$D_c = \frac{k_1 \cdot L_0}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 \cdot t_c} - e^{-k_2 \cdot t_c}) + D_0 \cdot e^{-k_2 \cdot t_c}$$

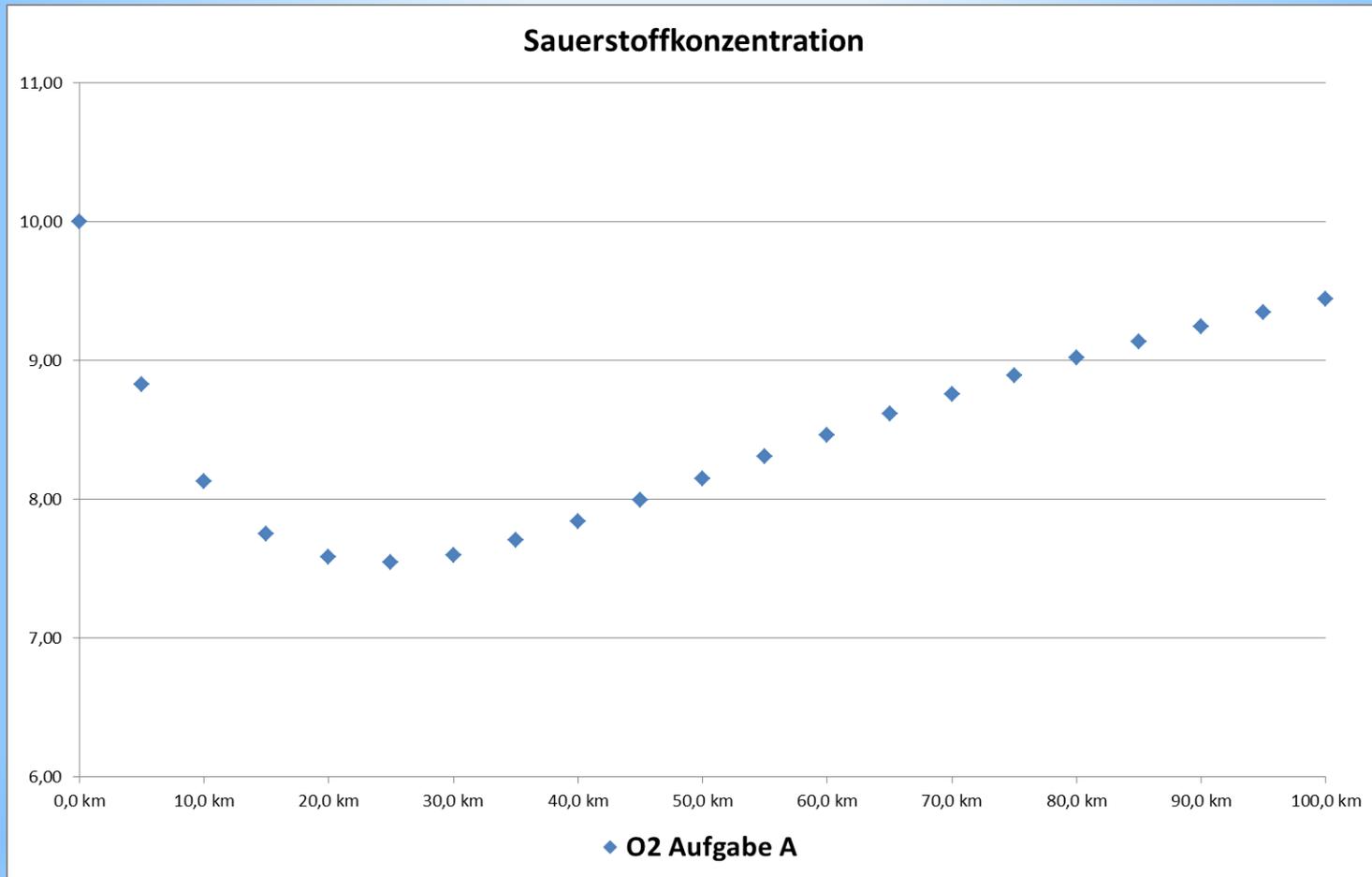
$$\begin{aligned} D_c &= \frac{0,4 \cdot 22}{2,0 - 0,4} \cdot (e^{-0,4 \cdot 0,93} - e^{-2 \cdot 0,93}) + 0,64 \cdot e^{-2 \cdot 0,93} \\ &= 3,09 \frac{\text{mg } O_2}{l} \end{aligned}$$

11. Berechnen der kritischen Sauerstoffkonzentration  $c_c$

$$c_c = 10,64 \frac{\text{mg } O_2}{l} - 3,09 \frac{\text{mg } O_2}{l} = 7,55 \frac{\text{mg } O_2}{l}$$

# Streeter-Phelps-Gleichung

## 12. Grafik zum Verlauf der Sauerstoffkonzentration entlang der Fließstrecke



# Literaturverzeichnis

BESCH et al., 1992	Besch, W.-K.; Hamm, A.; Lenhart, B.; Melzer, A.; Scharf, B.; Steinberg, C.: Limnologie für die Praxis - Grundlagen des Gewässerschutzes, 3. Auflage ecomед Fachverlag, Landsberg, 1992
BUSCH, UHLMANN & WEISE, 1983	Busch, K.-F.; Uhlmann, D.; Weise, G. Ingenieurökologie VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1983
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
U.S. EPA, 2000	Watershed Analysis and Management (WAM) Guide for Tribes <a href="http://nepis.epa.gov/Simple.html">http://nepis.epa.gov/Simple.html</a>
SCHWOERBEL, 1984	Schwoerbel, J.: Einführung in die Limnologie VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1984
U.S. EPA, 2013	U.S. Environmental Protection Agency Internetseite zu Water Quality Models <a href="http://water.epa.gov/scitech/datait/models/index.cfm">http://water.epa.gov/scitech/datait/models/index.cfm</a>

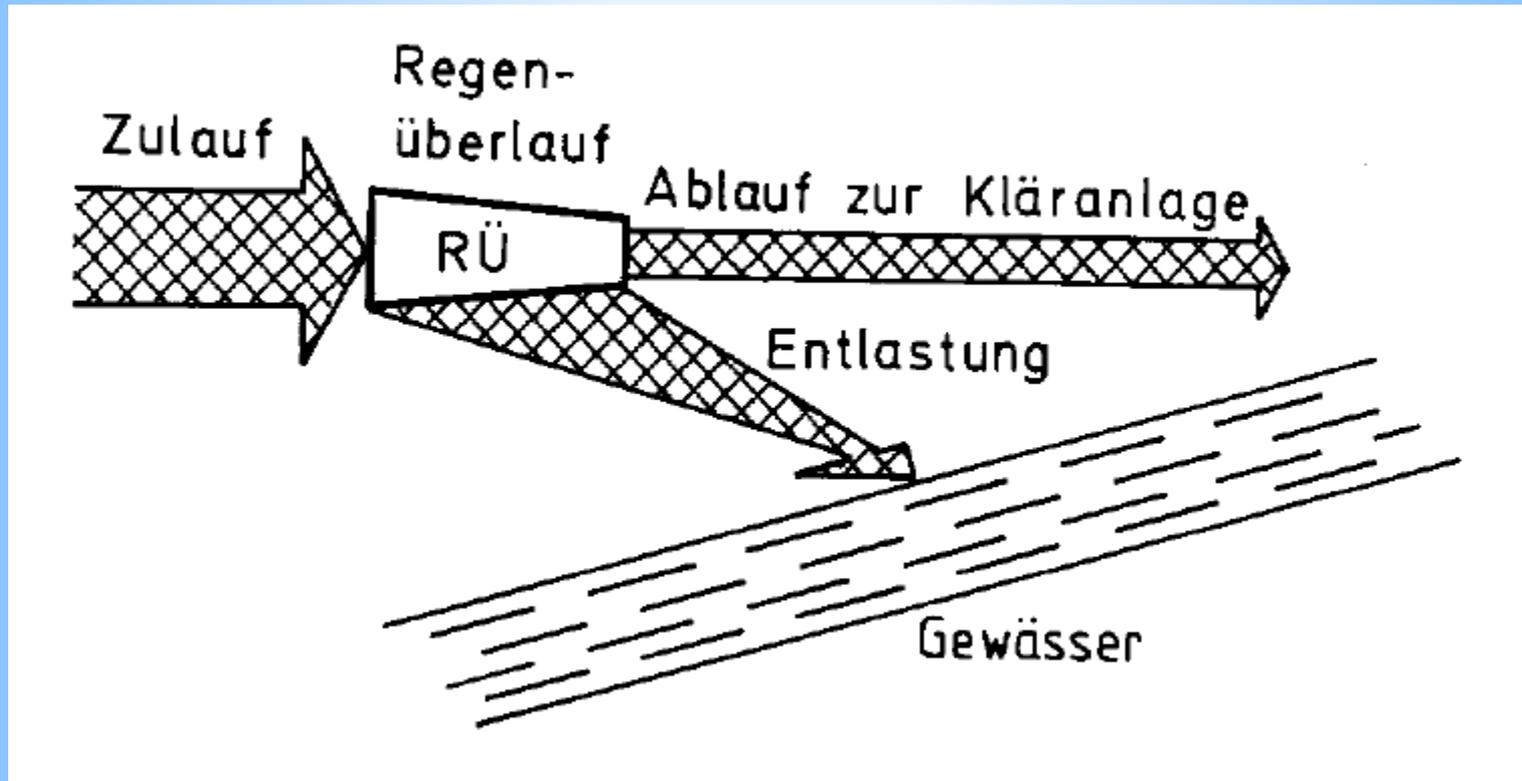
# Gewässerschutz

Einführung in die dynamische  
Kläranlagensimulation mit dem  
Programmsystem STOAT, Teil I

# Mischwasserentlastung

Unter Mischwasserentlastung (engl. combined sewer overflow, CSO) ist das Abschlagen von Abwasser aus einer Mischkanalisation vor der Kläranlage zu verstehen. Es erfolgt mit dem Ziel, der Kläranlage nicht mehr als den Bemessungszufluss zuzuführen (z. B. dreifacher Trockenwetterzufluss,  $1 + 2$ ). Mischwasserentlastungen können eine nennenswerte Belastung darstellen. Oft enthalten sie hohe Konzentrationen an abfiltrierbaren Stoffen, pathogenen Keimen, toxischen Verunreinigungen, flotierbaren Stoffen (Öle und Fette), Nährstoffen und sauerstoffzehrenden Substanzen und verursachen damit Überschreitungen der zulässigen Gewässerbeschaffenheit.

# Mischwasserentlastung



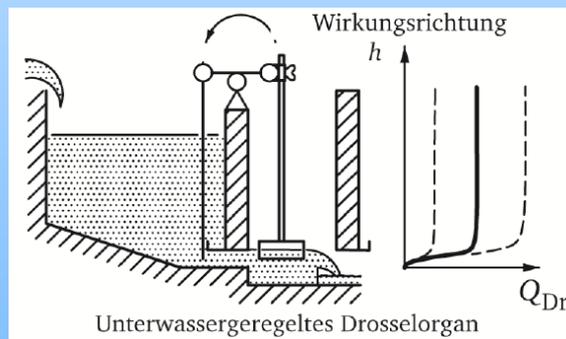
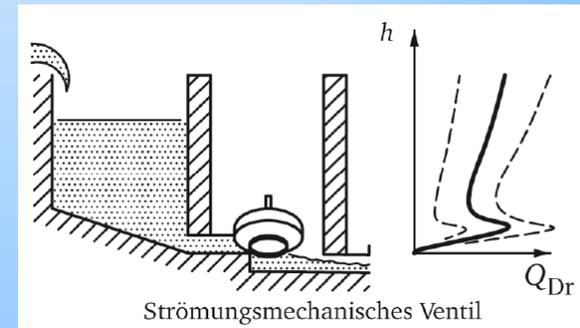
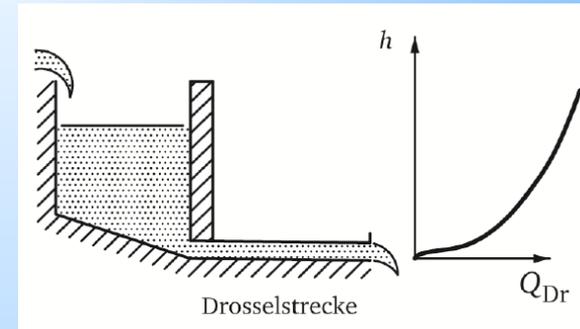
Funktionsschema eines Regenüberlaufes

[aus ATV-A 128](#)

# Mischwasserentlastung

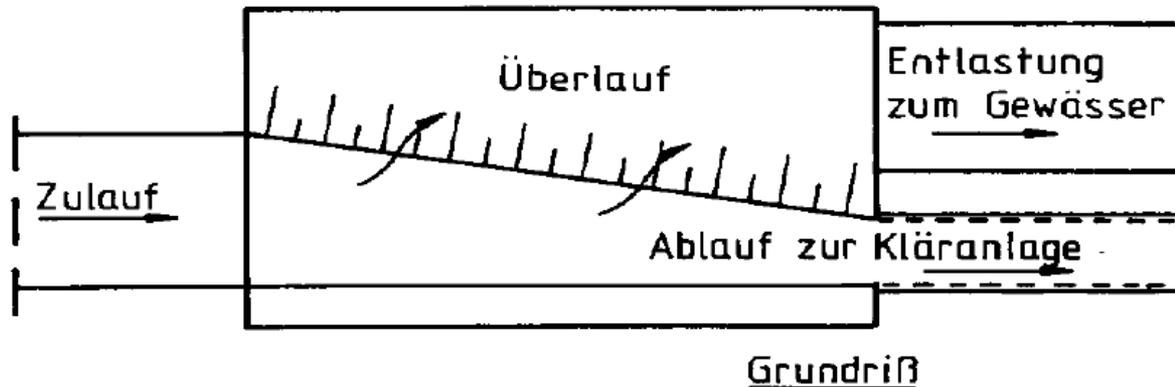
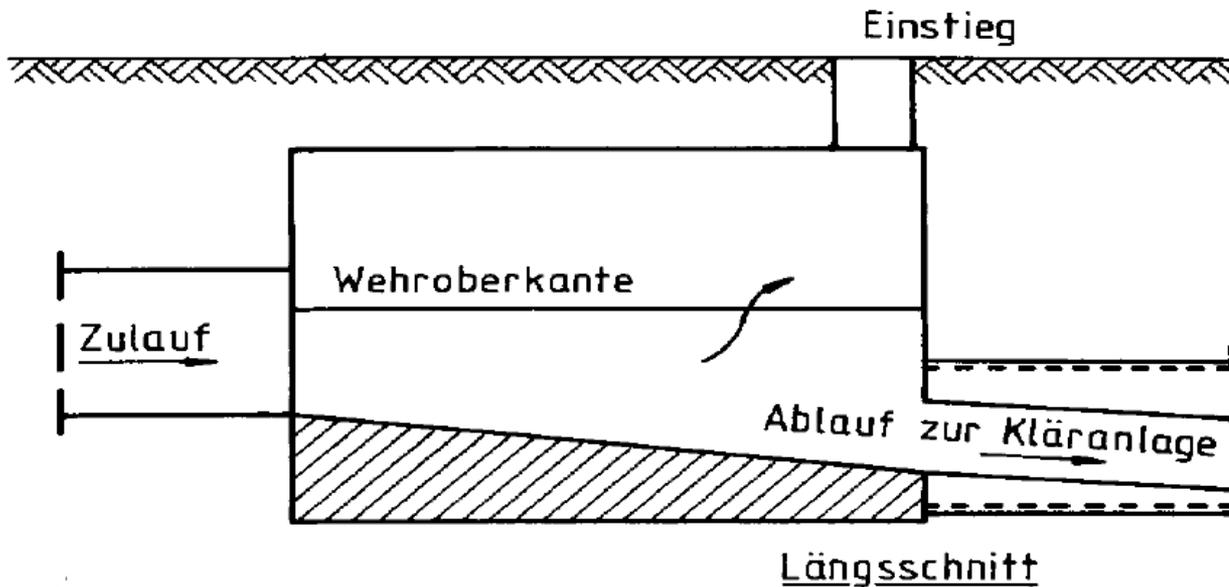
Bautechnische Ausführung einer Drossel in zahlreichen Formen möglich, z. B.

- Streichwehr
- Drosselstrecke
- Wirbeldrossel
- Wirbelschieber



aus DWA-A 111

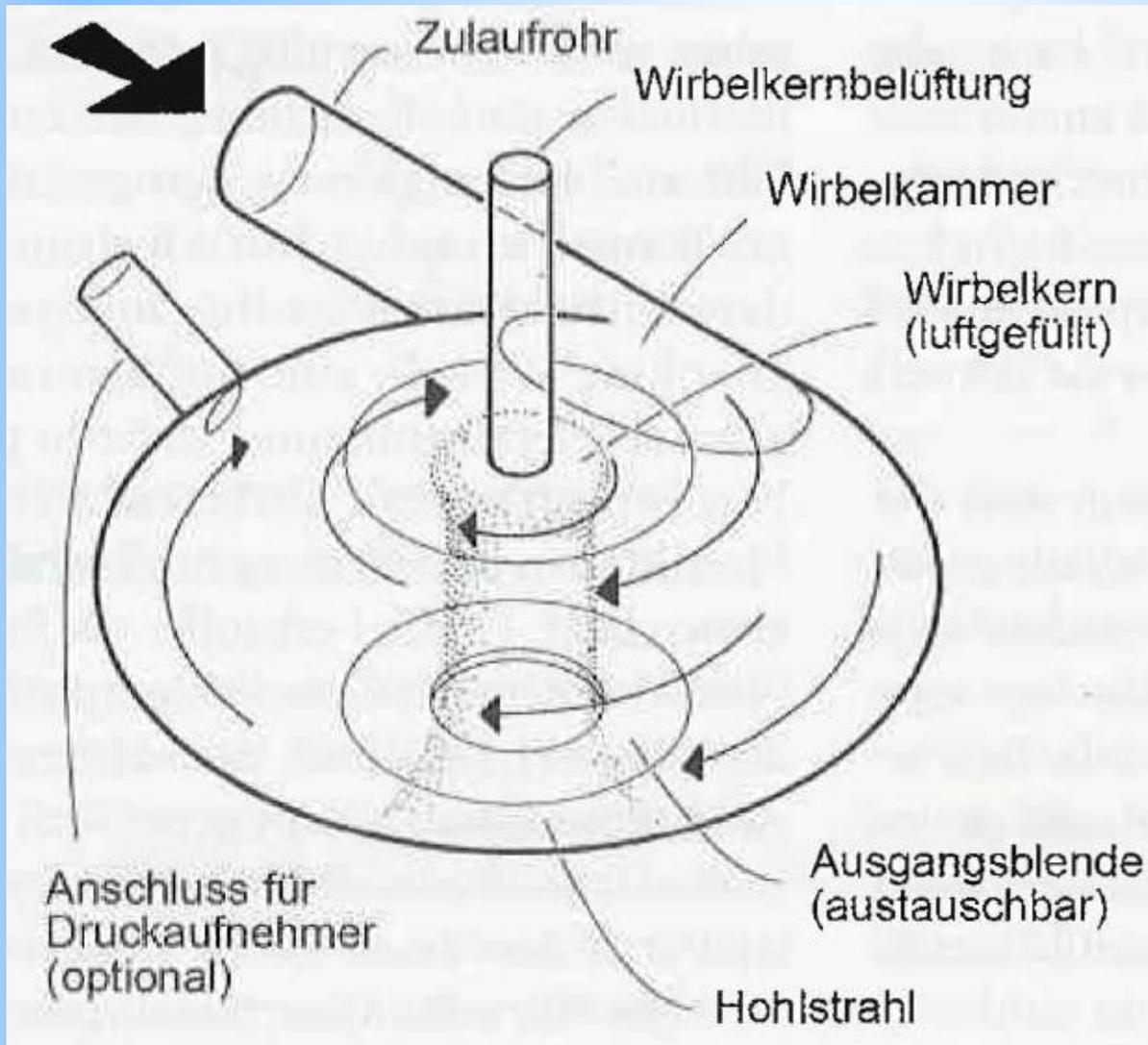
# Mischwasserentlastung



Bautechnische Ausführung einer Drossel in Form eines Streichwehrs (Regenüberlauf mit einseitigem, hochgezogenem Wehr)

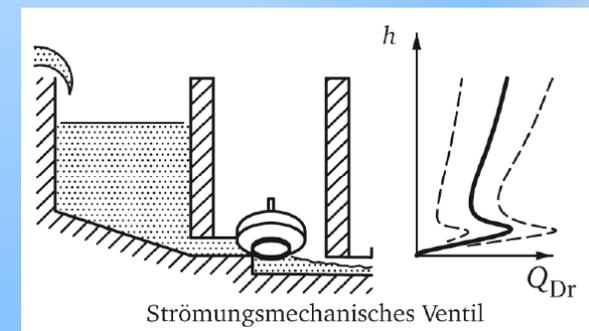
[aus ATV-A 128](#)

# Mischwasserentlastung

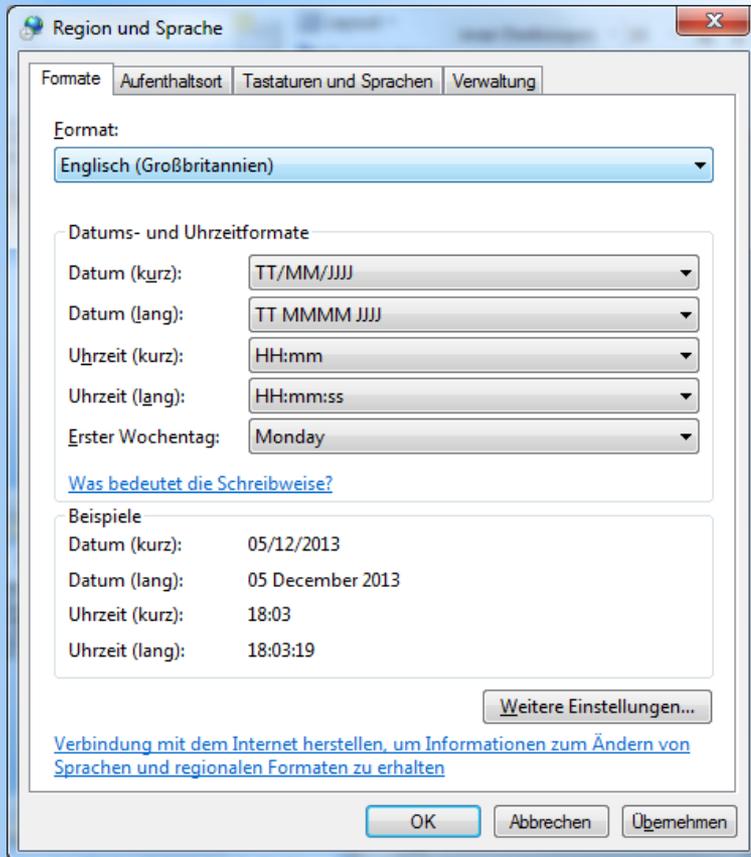


Strömungsbild einer  
Wirbeldrossel

aus BROMBACH, 2012



# Erf. Windows Regionaleinstellung



**Einstellung von Windows (alle Versionen)**  
STOAT wurde im Water Research centre Swindon/ Großbritannien für Rechner mit Betriebssystem Windows von Microsoft® entwickelt. Deshalb läuft STOAT nur ordnungsgemäß, wenn der im Englischen übliche **Punkt als Dezimaltrennzeichen** verwendet wird. Bevor STOAT gestartet wird, sollte also sichergestellt sein, dass als Regionaleinstellung des Betriebssystems „Englisch (Großbritannien)“ gewählt wurde.

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

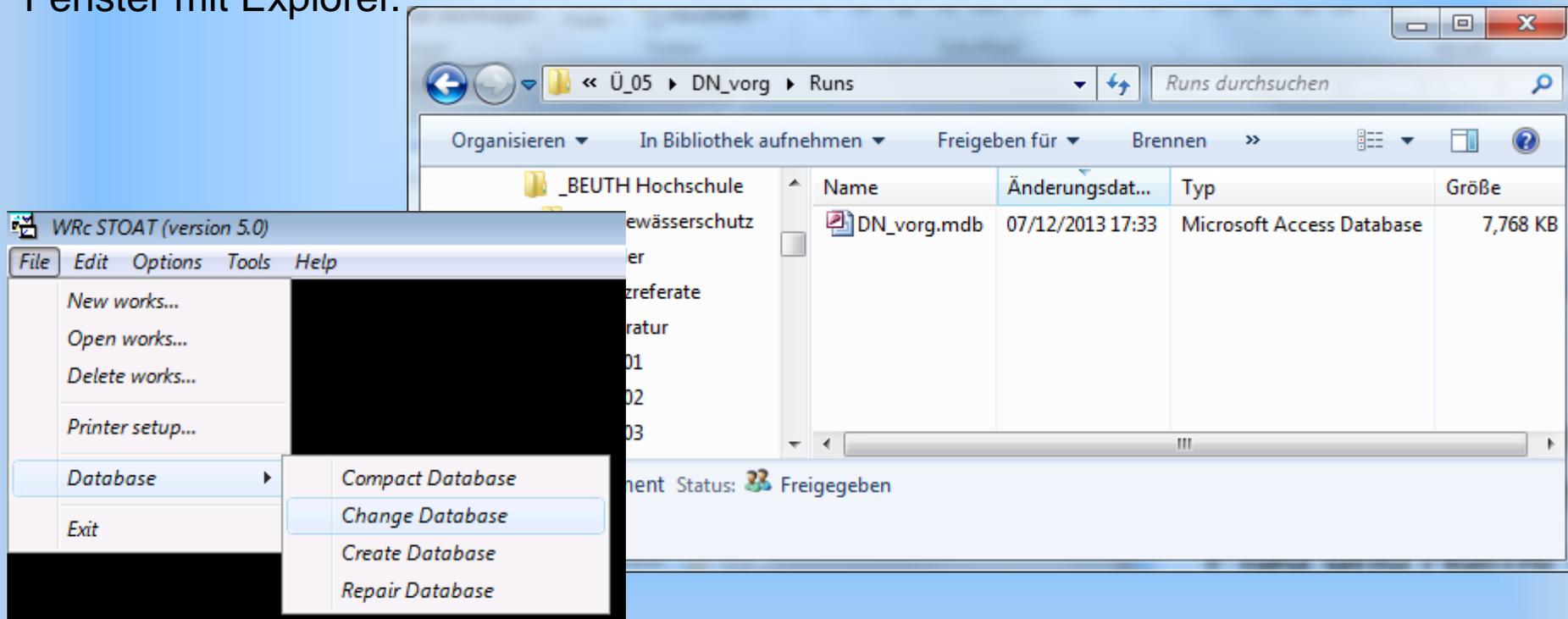
# Datenbankverbindung, Modell, Rechnerlauf

Nach erfolgreichem Start von STOAT Version 5.0 ist zunächst die Verbindung mit der Datenbank herzustellen.

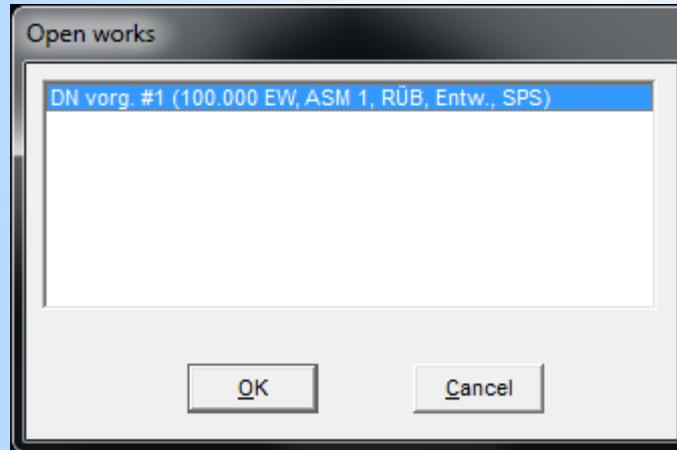
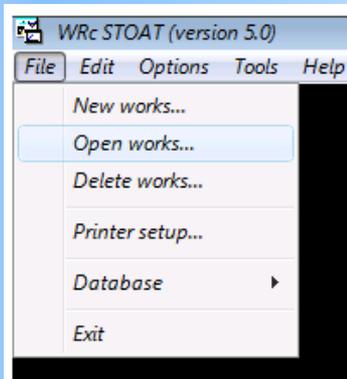
Pfad und Name der Datenbank:

**.../Pfadname/Datenbankname.MDB** (hier: Datenbankname = DN\_vorg)

Dies geschieht über File → Database → Change Database, darauf öffnet sich ein Fenster mit Explorer.

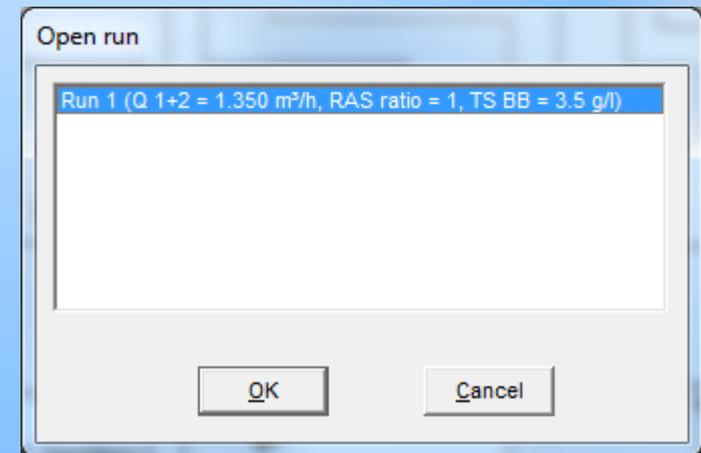
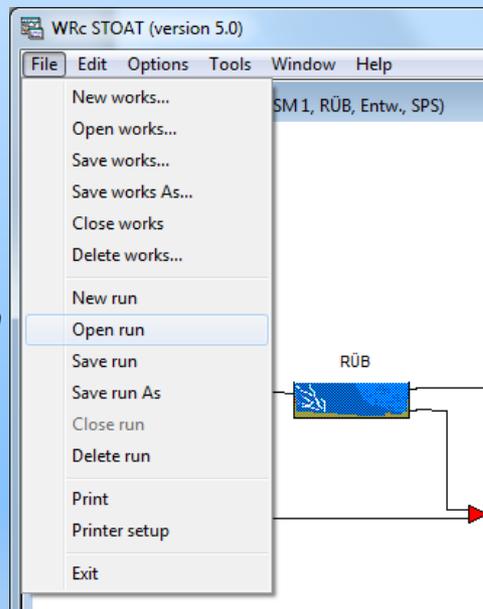


# Datenbankverbindung, Modell, Rechnerlauf



Danach kann man mit **Open works...** ein Modell auswählen (File → Open works → DN vorg.)

Sobald ein Modell geöffnet ist, steht das Menu für Rechnerläufe zur Verfügung. Man kann also jetzt mit **Open run** einen Rechnerlauf öffnen (File → Open run → Run 1):



# Zur Erinnerung: STOAT Arbeitsebenen

## Report-Ebene

Einsichtnahme in die Ergebnisse eines Rechnerlaufs  
(keinerlei Änderungen, weder am Run noch am Modell möglich!)

Jeder Baustein und Teilstrom kann untersucht werden

## Run-Ebene (Run = Rechnerlauf)

Abbildung der Betriebsweise einer Anlage  
(Menge und Beschaffenheit des Abwasserzulaufs und ggf. der dosierten Chemikalien, Belüftung, Rücklaufschlammförderung, Überschussschlammmentnahme, interne Rezirkulation usw.)

Modell kann nicht mehr geändert werden!

File → New run / Open run → Runname

Je Modell sind bis zu 256 Runs möglich

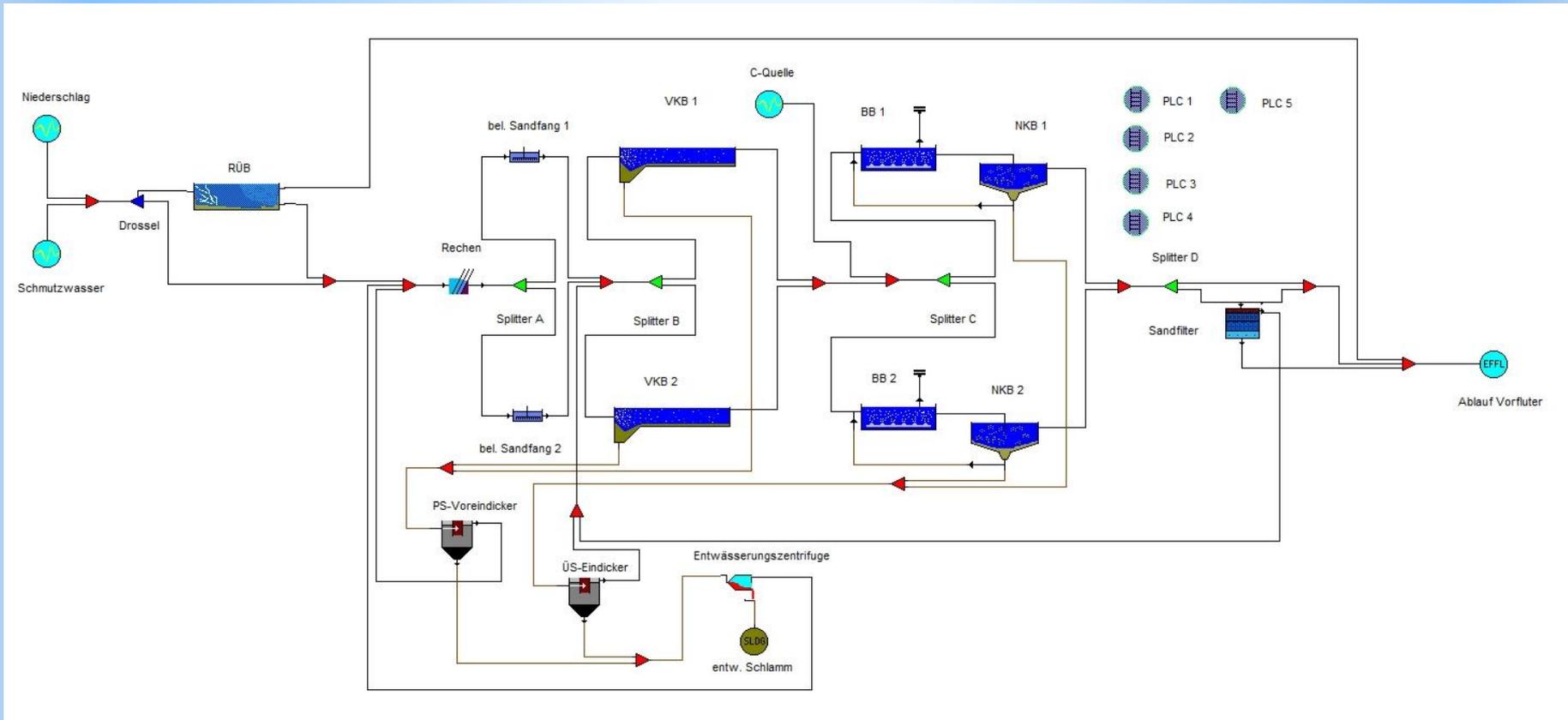
## Works-Ebene (Works = Modell)

Abbildung des vorhandenen oder geplanten Designs einer Anlage (Fließweg des Abwassers, Anzahl und Volumina der Reaktoren, anzuwendende mathematische Modelle usw.)

File → New works / Open works → Worksname)

Je Modell sind bis zu 4.096 STOAT-“Bausteine“ möglich

# Modell der Kläranlage DN\_vorg, #1



Kläranlage mit vorgeschalteter Denitrifikation (zweistraßig) für 100.000 EW  
Modell #1

# Modellbeschreibung

Kläranlage mit vorgeschalteter Denitrifikation (zweistufig) für 100.000 EW  
Modell #1 (ASM 1, Drossel & RÜB, Rechen, belüfteter Sandfang, VKB, 4-stufige Belebungsbecken, NKB, Sandfilter, Schlammthickener und Entwässerungszentrifuge).

Als Modell für die NKBs wurde "Generic" gewählt. Die Rücklaufschlammförderung ist für beide NKBs auf "ratio" eingestellt (Input-Data → Name and dimensions → RAS flow = rate), d. h. dass das Rücklaufschlammverhältnis im Rechnerlauf in Abhängigkeit vom Zulauf zum Belebungsbecken zu spezifizieren ist (in operation data der NKBs). Die Überschussschlammabfuhr erfolgt in Abhängigkeit vom Feststoffgehalt in Stufe 4 des jeweiligen Belebungsbeckens. Deshalb ist „Variable rate over fixed time“ eingestellt (Input-Data → Name and dimensions → Wastage method). Der Sollwert des Feststoffgehalts wird in den für jeden Rechnerlauf spezifisch wählbaren Operation data der NKBs festgelegt.

Das Modell ist so aufgebaut, dass auch die Dosierung einer C-Quelle zur Unterstützung der Denitrifikation simuliert werden kann.

# Modellbeschreibung

Verwendung der PLCs:

- PLC 1 & 2: Regelung des Sollwerts der Gelöstsauerstoffkonzentration in Stufe 2 der Belebung nach der Ammoniumkonzentration und der Nitratkonzentration im Ablauf der Belebung
- PLC 3: Zulaufregelung zum Sandfilter über den Splitter D (so eingestellt, dass Sandfilter ab 20 mg/l Suspended Solids beaufschlagt wird / diese Konzentration wird aber nicht erreicht, deshalb wird der gesamte Ablauf aus den NKB über den Bypass am Sandfilter vorbei geführt).
- PLC 4 & 5: Regelung des Sollwerts der Gelöstsauerstoffkonzentration in Stufe 3 der Belebung nach der Ammoniumkonzentration und der Nitratkonzentration im Ablauf der Belebung

Die unterschiedlichen Teilströme sind im Modell farbig wie folgt gekennzeichnet:

schwarz - Abwasser

braun – Klärschlamm

Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) – engl. Programmable Logic Controller (PLC)

# Activated Sludge Models

		ASM#1	ASM#2D	ASM#3
<b>Prozesse</b>	Kohlenstoffabbau	X	X	X
	Nitrifikation	X	X	X
	Denitrifikation	X	X	X
	Biologische Phosphatelimination		X	
	Phosphatfällung/-flockung		X	
<b>Akteure</b>	Heterotrophe	X	X	X
	Autotrophe	X	X	X
	Phosphor akkumulierende Organismen		X	
Parameter der Input-Dateien		22	48	48
Parameter zur Modellkalibrierung		26	30	46
Rechenzeit		normal	hoch	sehr hoch
Aufwand zum Erstellen der Inputdateien		normal	hoch	hoch
Aufwand bei der Kalibrierung		normal	sehr hoch	hoch

# Mischwasserentlastung

Jetzt wird's ernst:

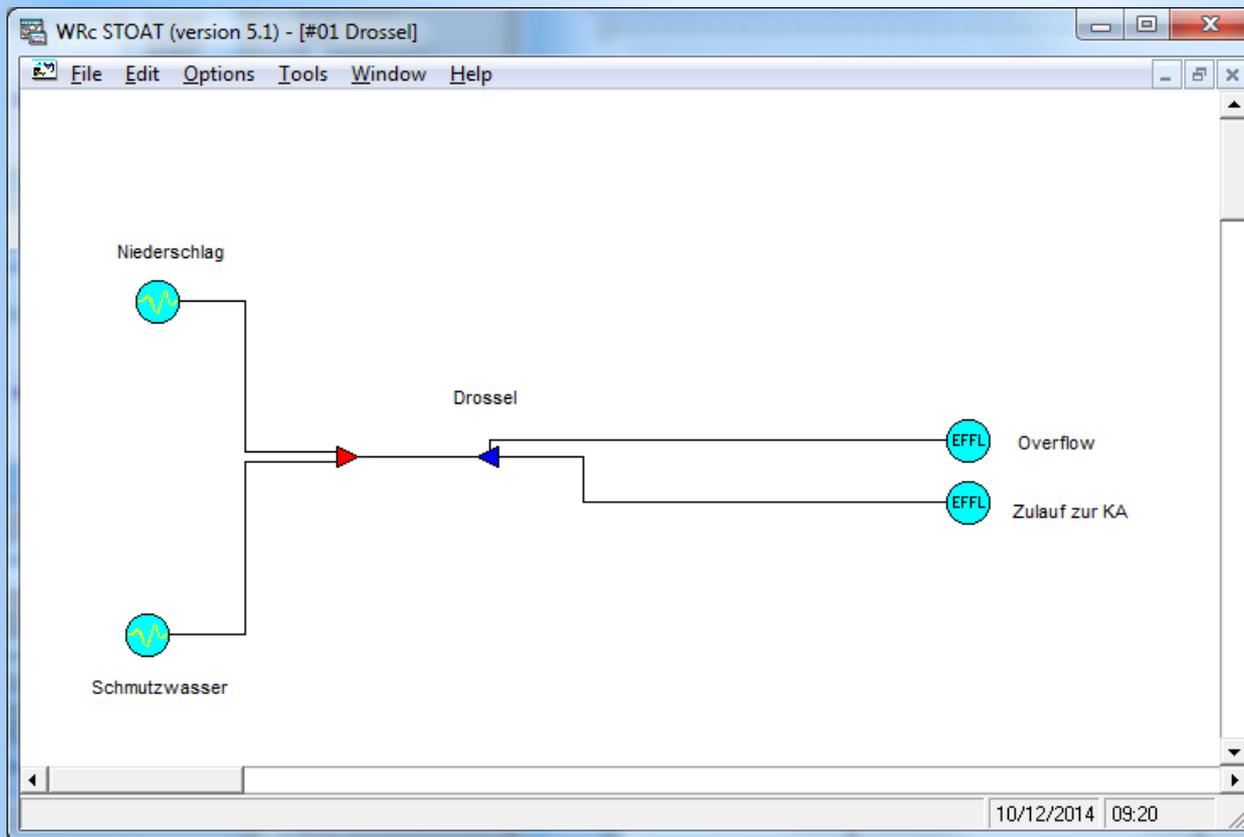
Sie dürfen selbst mit STOAT arbeiten!

# Mischwasserentlastung - Drossel

## Ziele:

- Einhaltung der maximalen hydraulischen Kapazität der Kläranlage (= 1.350 m<sup>3</sup>/h)

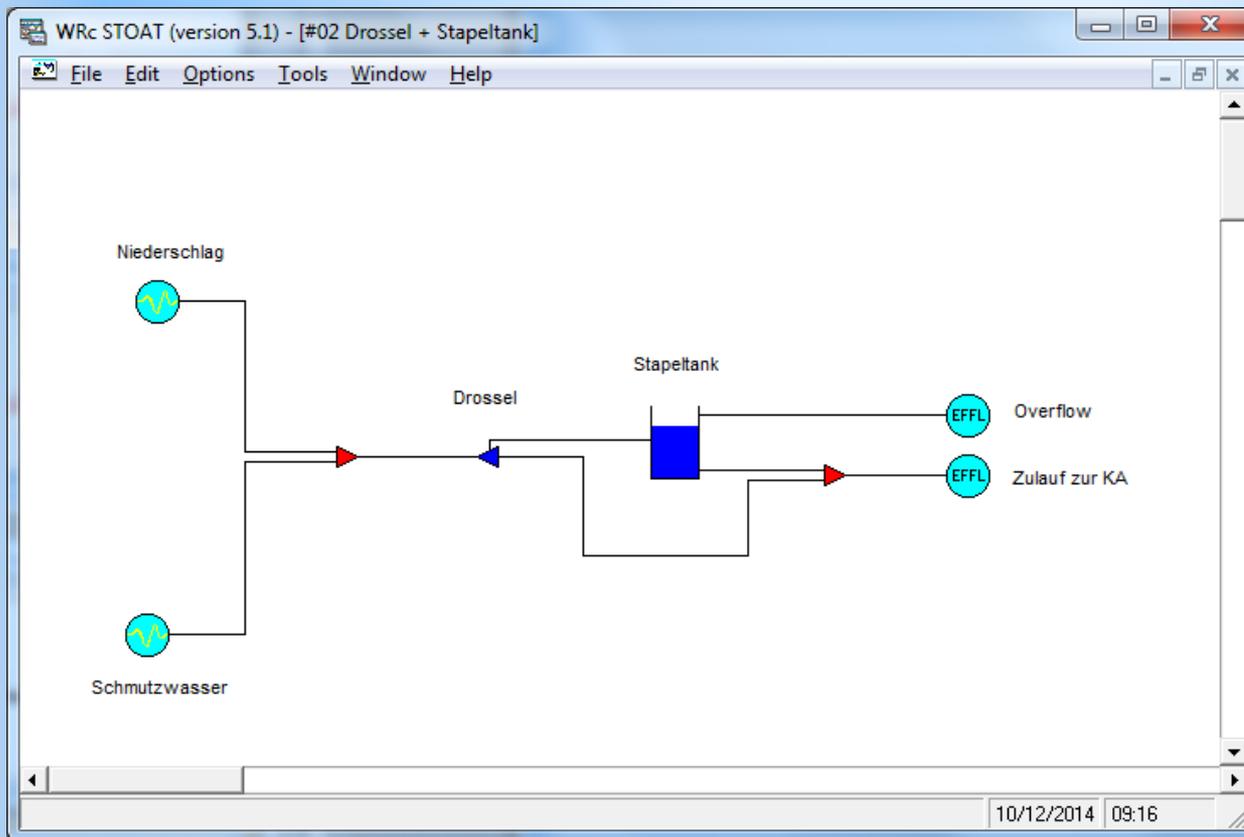
(Mischwasserentlastung - Überlauf in das Gewässer - kann nicht beeinflusst werden)



# Mischwasserentlastung - Stapeltank

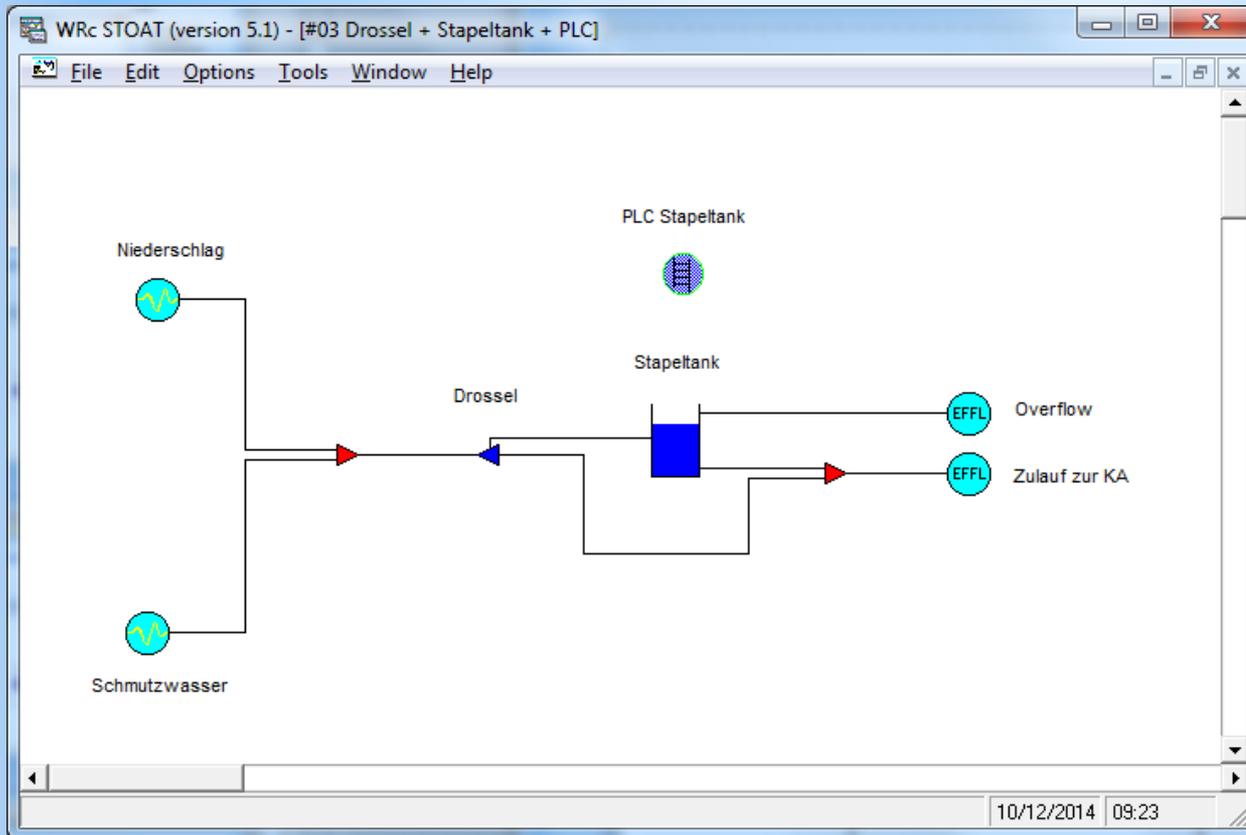
## Ziele:

- Einhaltung der maximalen hydraulischen Kapazität der Kläranlage (= 1.350 m<sup>3</sup>/h)
- möglichst geringe Mischwasserentlastung (Überlauf in das Gewässer)
- Minimierung des Volumens des Stapeltanks (Investkosten!)



# Mischwasserentl. – Stapeltank + PLC

## Ziele:

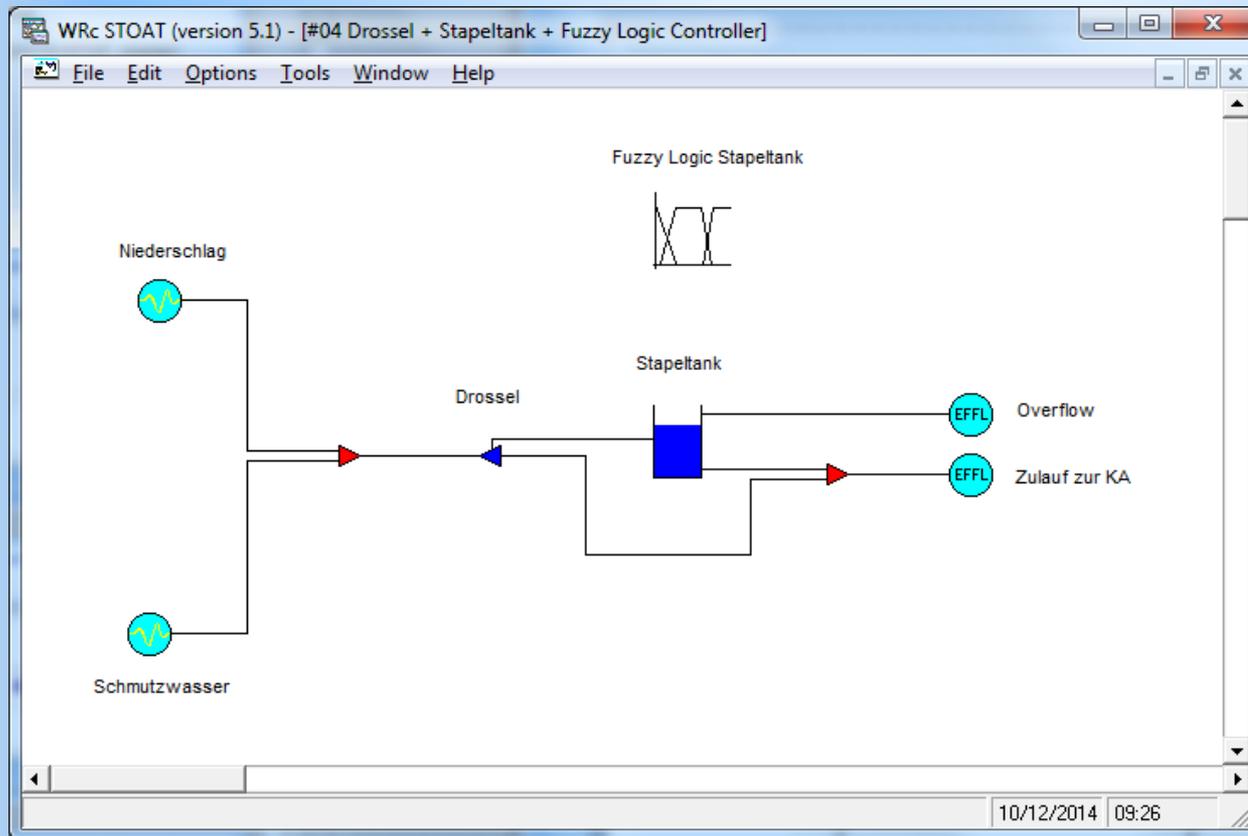


- Einhaltung der maximalen hydraulischen Kapazität der Kläranlage (= 1.350 m<sup>3</sup>/h)
- möglichst geringe Mischwasserentlastung (Überlauf in das Gewässer)
- Minimierung des Volumens des Stapeltanks (Investkosten!)
- Optimieren der Steuerung/Regelung

# Mischwasserentl. – Stapeltank + Fuzzy

## Ziele:

- Einhaltung der maximalen hydraulischen Kapazität der Kläranlage (= 1.350 m<sup>3</sup>/h)
- möglichst geringe Mischwasserentlastung (Überlauf in das Gewässer)
- Minimierung des Volumens des Stapeltanks (Investkosten!)
- Optimieren der Steuerung/Regelung



# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Nachdem ein neues Modells erarbeitet oder ein bereits vorhandenes Modell „umgebaut“ wurde, muss normalerweise immer erst ein neuer Rechnerlauf konfiguriert werden, bevor die eigentliche Simulation gestartet werden kann. Dies kann schon bei relativ einfachen Modellen viel Arbeit bedeuten, denn STOAT benötigt für jeden Rechnerlauf Informationen über

- Einstellungen des Rechnerlaufs,
- Influent-Dateien,
- Arbeit der „Bausteine“ (z. B. Einstellung der Belüftung, der Rücklaufschlammförderung oder der Überschussschlammmentnahme) usw.

Wenn ein „**work**“, d.h. das Design einer modellierten Anlage, verändert werden soll, ohne die Einstellungen aus bisherigen Rechnerläufen zu verlieren, ist das „**Build**“-Menü die Methode der Wahl. Die Arbeit zur Neukonfigurierung des Rechnerlaufs (**Run**) lässt sich damit umgehen.

Aktivieren des *Build*-Menüs: → Options → Build

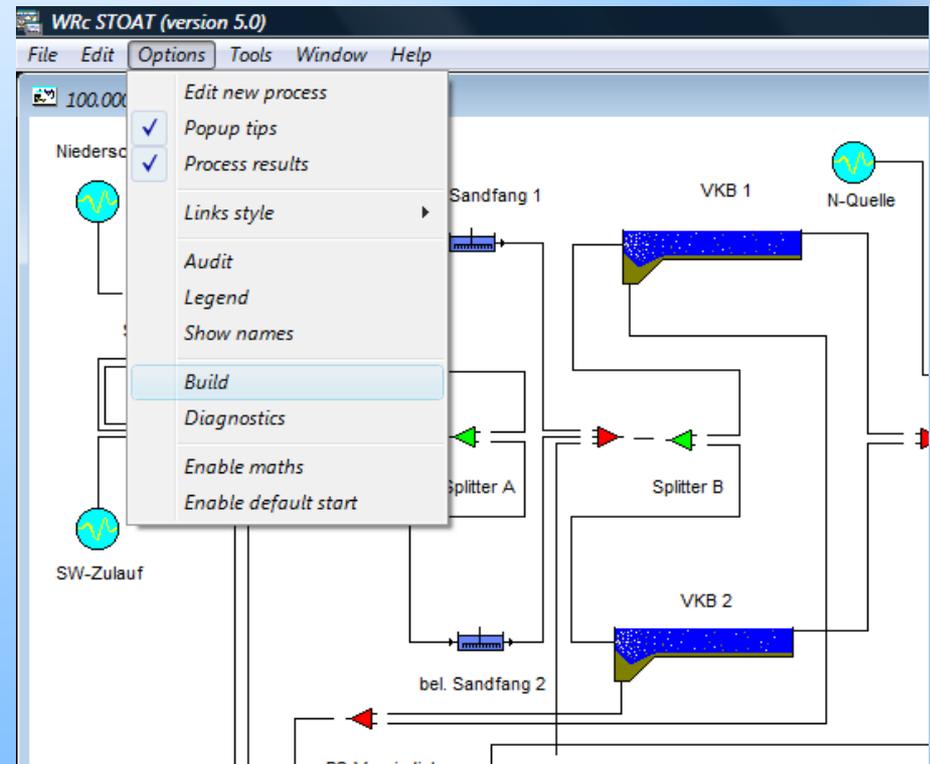
# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Dabei ist wie folgt vorzugehen:

1. Öffnen des Modells, das die Grundlage für das neue Modell bilden soll (z.B. Works #3)
2. Anlegen eines neuen Rechnerlaufs mittels **File** → **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 Simulationsergebnisse aufwies)

---

### 3. *Build*-Menü aktivieren



*Build*-Menü aktivieren: → Options → Build

# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

4. Basis-Modell entsprechend dem gewünschten Design verändern
  5. Geändertes Modelldesign mittels **File** → **Save works As** abspeichern (Eingabe des Namens für das geänderte Modell, z.B. Works #4)
  6. Daraufhin scheint ein Fenster auf, in dem STOAT vorschlägt, sofort den ersten Rechnerlauf unter dem neuen Modell zu sichern: **Save run as** New run („Run 1“)
- 
7. „**Build**“ deaktivieren
  8. Von jetzt ab kann die Arbeit ganz normal fortgesetzt werden (z. B. indem der abgespeicherte Rechnerlauf gestartet und dessen Ergebnisse untersucht werden)

# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Diese Vorgehensweise ist Punkt für Punkt einzuhalten, anderenfalls schlägt die Übernahme der Einstellungen aus dem Rechnerlauf des vorhergehenden Modells fehl.

Zu beachten ist auch, dass sämtliche Änderungen „auf einen Rutsch“ geschafft werden müssen. Die Arbeit innerhalb der oben aufgeführten Reihenfolge kann nur an zwei Punkten unterbrochen werden (hier kann STOAT sogar ohne Datenverlust heruntergefahren und wieder neu gestartet werden):

Zwischen Punkt 2 und Punkt 3, sofern der neu angelegte Rechnerlauf mit „Save run“ gespeichert wird

und

zwischen Punkt 6 und Punkt 7.

Diese Stellen sind gekennzeichnet durch eine Strichpunktlinie. Eine Unterbrechung an anderer Stelle führt zum Datenverlust!

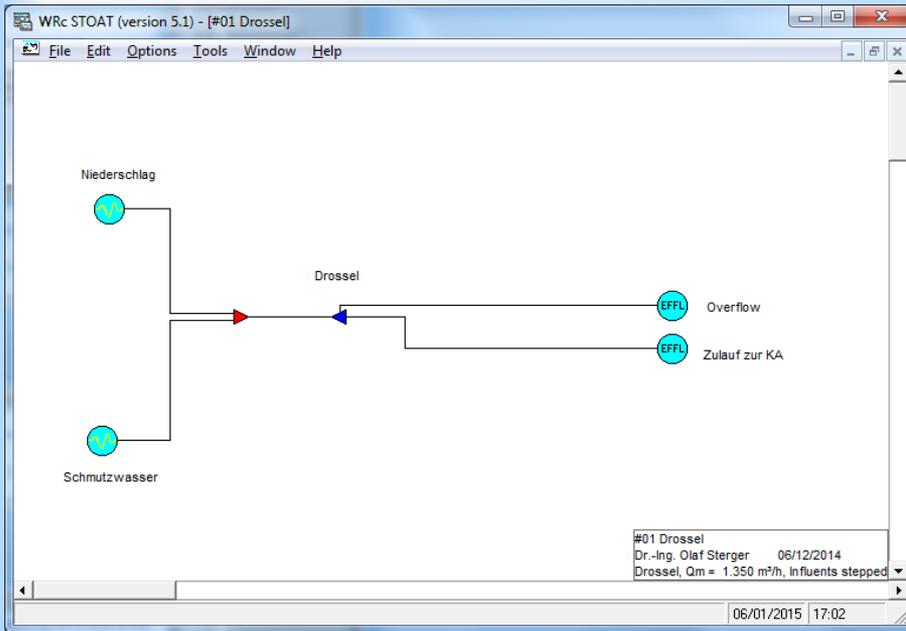
# Literaturverzeichnis

BESCH et al., 1992	Besch, W.-K.; Hamm, A.; Lenhart, B.; Melzer, A.; Scharf, B.; Steinberg, C.: Limnologie für die Praxis - Grundlagen des Gewässerschutzes, 3. Auflage ecomed Fachverlag, Landsberg, 1992
BUSCH, UHLMANN & WEISE, 1983	Busch, K.-F.; Uhlmann, D.; Weise, G. Ingenieurökologie VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1983
DROSTE, 1997	Droste, R. L.: Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997
U.S. EPA, 2000	Watershed Analysis and Management (WAM) Guide for Tribes <a href="http://nepis.epa.gov/Simple.html">http://nepis.epa.gov/Simple.html</a>
SCHWOERBEL, 1984	Schwoerbel, J.: Einführung in die Limnologie VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1984
U.S. EPA, 2013	U.S. Environmental Protection Agency Internetseite zu Water Quality Models <a href="http://water.epa.gov/scitech/datait/models/index.cfm">http://water.epa.gov/scitech/datait/models/index.cfm</a>

# Gewässerschutz

Einführung in die dynamische  
Kläranlagensimulation mit dem  
Programmsystem STOAT, Teil 2

# Modell #01



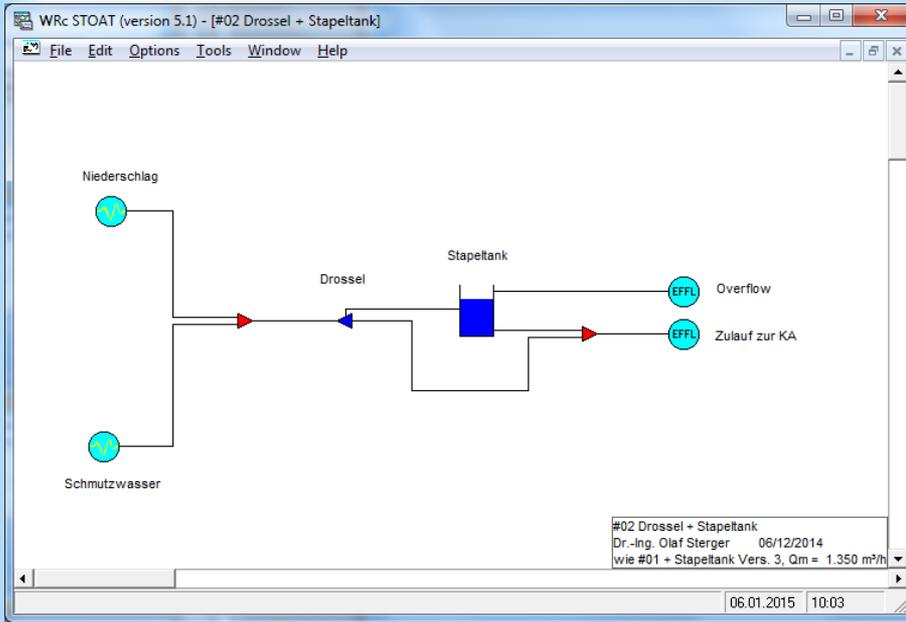
Run 1

Drossel

Operation

Overflow 1.350 m³/h

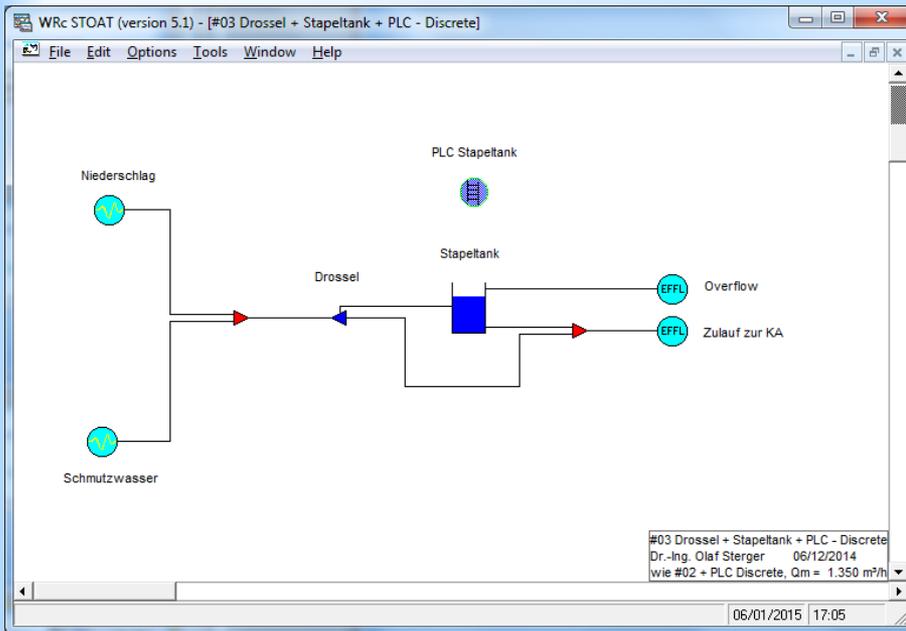
# Modell #02



Rechnerlauf Run 3 ist unter Nutzung von Run 1 oder Run 2 einzurichten!

<b>Run 1</b>	<b>Drossel</b>		
	Operation	Overflow 1.350 m <sup>3</sup> /h	
	<b>Stapel-tank</b>		
	Process calibration	Variable volume 500 ... 10.000 m <sup>3</sup>	
	Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>	
	Operation	Pump rate 0 m <sup>3</sup> /h	
	<b>Run 2</b>	<b>Drossel</b>	
		Operation	Overflow 0 m <sup>3</sup> /h
<b>Stapel-tank</b>			
Process calibration		Infinite volume 500 ... ∞ m <sup>3</sup>	
	Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>	
	Operation	Pump rate 1.350 m <sup>3</sup> /h	
	<b>Run 3</b>	<b>Drossel</b>	
		Operation	Overflow 750 m <sup>3</sup> /h
<b>Stapel-tank</b>			
Process calibration		Variable volume 500 ... 10.000 m <sup>3</sup>	
	Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>	
	Operation	Pump rate 600 m <sup>3</sup> /h	

# Modell #03

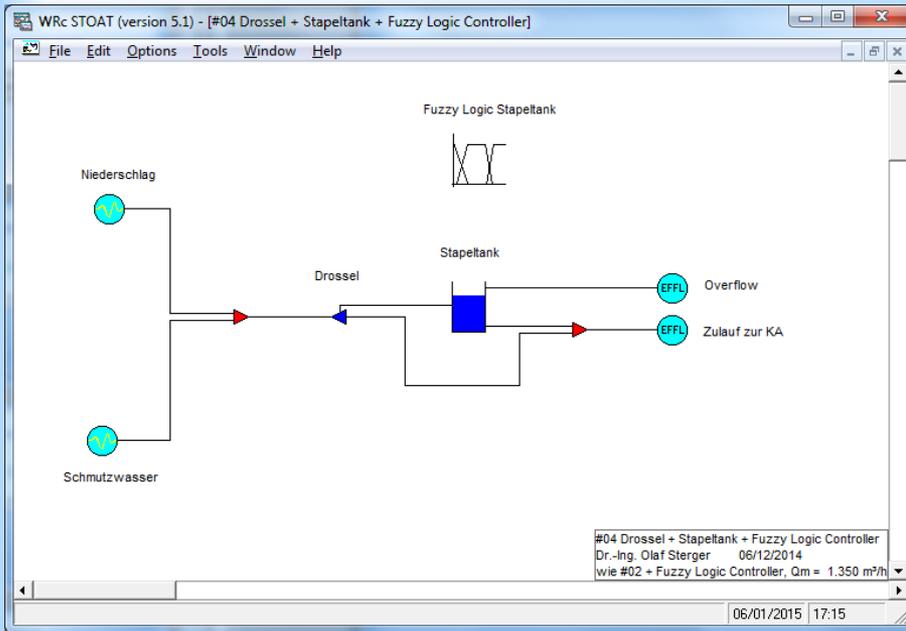


Modell #03 ist mittels «Build»-Menü aus Modell #02 zu generieren, Rechnerlauf Run 1 ist entsprechend einzurichten!

## Run 1

<b>Drossel</b>	
Operation	Overflow 1.350 m <sup>3</sup> /h
<b>Stapel-tank</b>	
Process calibration	Variable volume 500 ... 10.000m <sup>3</sup>
Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>
Operation	Pump rate 0 m <sup>3</sup> /h
<b>Programmable Logic Controller (PLC)</b>	
Connectivity	Input Bypass, flow Output Stapeltank, pump rate
Operation	Output max. 1.150 m <sup>3</sup> /h

# Modell #04



Modell #04 ist mittels «Build»-Menü aus Modell #03 zu generieren, Rechnerläufe Run 1 und Run 2 sind entsprechend einzurichten!

## Run 1

<b>Drossel</b>	
Operation	Overflow 550 m <sup>3</sup> /h
<b>Stapel tank</b>	
Process calibration	Variable volume 500 ... 10.000m <sup>3</sup>
Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>
Operation	Pump rate 700 m <sup>3</sup> /h
<b>Fuzzy Logic Controller</b>	
Inputs	Bypass, flow
Outputs	Stapel tank, pump rate Output max. 800 m <sup>3</sup> /h

## Run 2

<b>Drossel</b>	
Operation	Overflow 550 m <sup>3</sup> /h
<b>Stapel tank</b>	
Process calibration	Variable volume 500 ... 10.000m <sup>3</sup>
Initial conditions	Tank volume 1.000 m <sup>3</sup>
Operation	Pump rate 700 m <sup>3</sup> /h
<b>Fuzzy Logic Controller</b>	
Inputs	Stapel tank, volume
Outputs	Stapel tank, pump rate Output max. 800 m <sup>3</sup> /h

# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Nachdem ein neues Modells erarbeitet oder ein bereits vorhandenes Modell „umgebaut“ wurde, muss normalerweise immer erst ein neuer Rechnerlauf konfiguriert werden, bevor die eigentliche Simulation gestartet werden kann. Dies kann schon bei relativ einfachen Modellen viel Arbeit bedeuten, denn STOAT benötigt für jeden Rechnerlauf Informationen über

- Einstellungen des Rechnerlaufs,
- Influent-Dateien,
- Arbeit der „Bausteine“ (z. B. Einstellung der Belüftung, der Rücklaufschlammförderung oder der Überschussschlammmentnahme) usw.

Wenn ein „**work**“, d.h. das Design einer modellierten Anlage, verändert werden soll, ohne die Einstellungen aus bisherigen Rechnerläufen zu verlieren, ist das „**Build**“-Menü die Methode der Wahl. Die Arbeit zur Neukonfigurierung des Rechnerlaufs (**Run**) lässt sich damit umgehen.

Aktivieren des *Build*-Menüs: → Options → Build

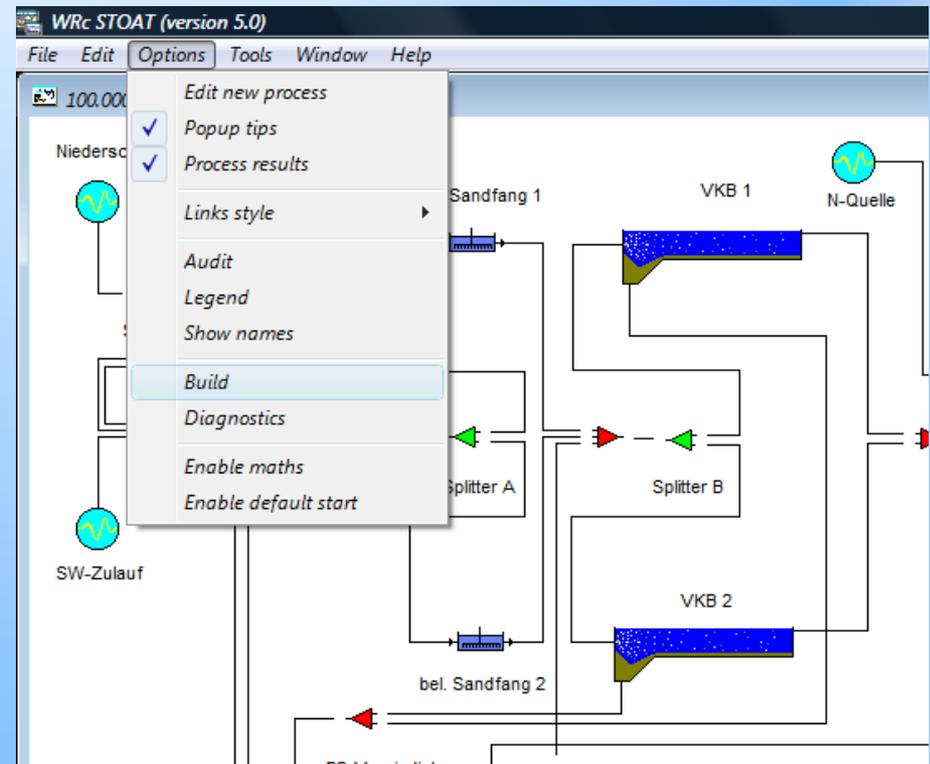
# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Dabei ist wie folgt vorzugehen:

1. Öffnen des Modells, das die Grundlage für das neue Modell bilden soll (z.B. Works #3)
2. Anlegen eines neuen Rechnerlaufs mittels **File** → **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**-Menü aktivieren



*Build*-Menü aktivieren: → Options → Build

# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

4. Basis-Modell entsprechend dem gewünschten Design verändern
  5. Geändertes Modelldesign mittels **File** → **Save works As** abspeichern (Eingabe des Namens für das geänderte Modell, z.B. Works #4)
  6. Daraufhin scheint ein Fenster auf, in dem STOAT vorschlägt, sofort den ersten Rechnerlauf unter dem neuen Modell zu sichern: **Save run as** New run („Run 1“)
- 
7. „**Build**“ deaktivieren
  8. Von jetzt ab kann die Arbeit ganz normal fortgesetzt werden (z. B. indem der abgespeicherte Rechnerlauf gestartet und dessen Ergebnisse untersucht werden)

# Umbau von Modellen mit dem *Build*-Menü

Diese Vorgehensweise ist Punkt für Punkt einzuhalten, anderenfalls schlägt die Übernahme der Einstellungen aus dem Rechnerlauf des vorhergehenden Modells fehl.

Zu beachten ist auch, dass sämtliche Änderungen „auf einen Rutsch“ geschafft werden müssen. Die Arbeit innerhalb der oben aufgeführten Reihenfolge kann nur an zwei Punkten unterbrochen werden (hier kann STOAT sogar ohne Datenverlust heruntergefahren und wieder neu gestartet werden):

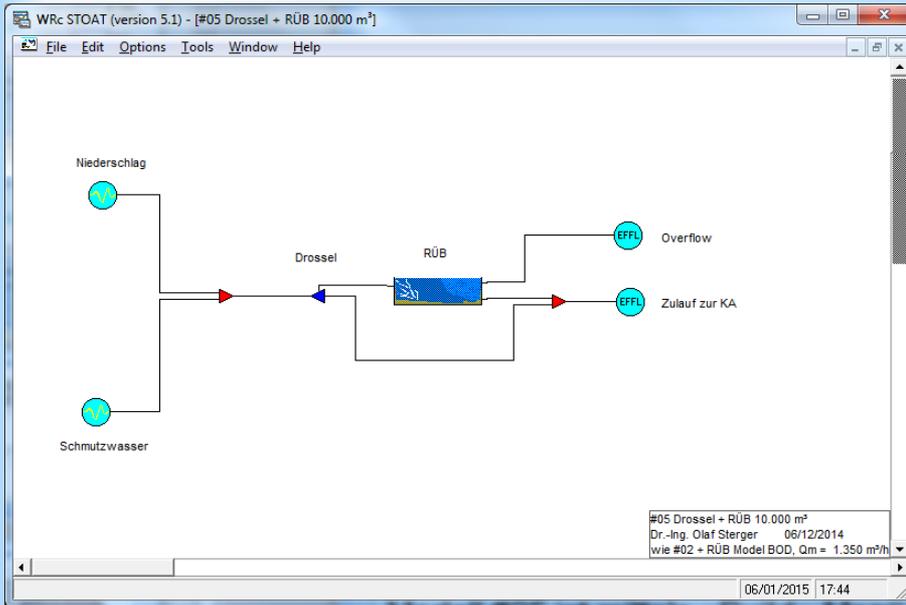
Zwischen Punkt 2 und Punkt 3, sofern der neu angelegte Rechnerlauf mit „Save run“ gespeichert wird

und

zwischen Punkt 6 und Punkt 7.

Diese Stellen sind gekennzeichnet durch eine Strichpunktlinie. Eine Unterbrechung an anderer Stelle führt zum Datenverlust!

# Modell #05



Modell #05 ist mittels «Build»-Menü aus Modell #02 zu generieren, Rechnerläufe Run 1 bis Run 5 sind entsprechend einzurichten!

<b>Run 1</b>	<b>Drossel</b>	
	Operation	Overflow 1.350 m <sup>3</sup> /h
	<b>Regenüberlaufbecken 10.000 m<sup>3</sup> (RÜB)</b>	
	Return pump rate	1.100 m <sup>3</sup> /h
	Control stream	250 m <sup>3</sup> /h

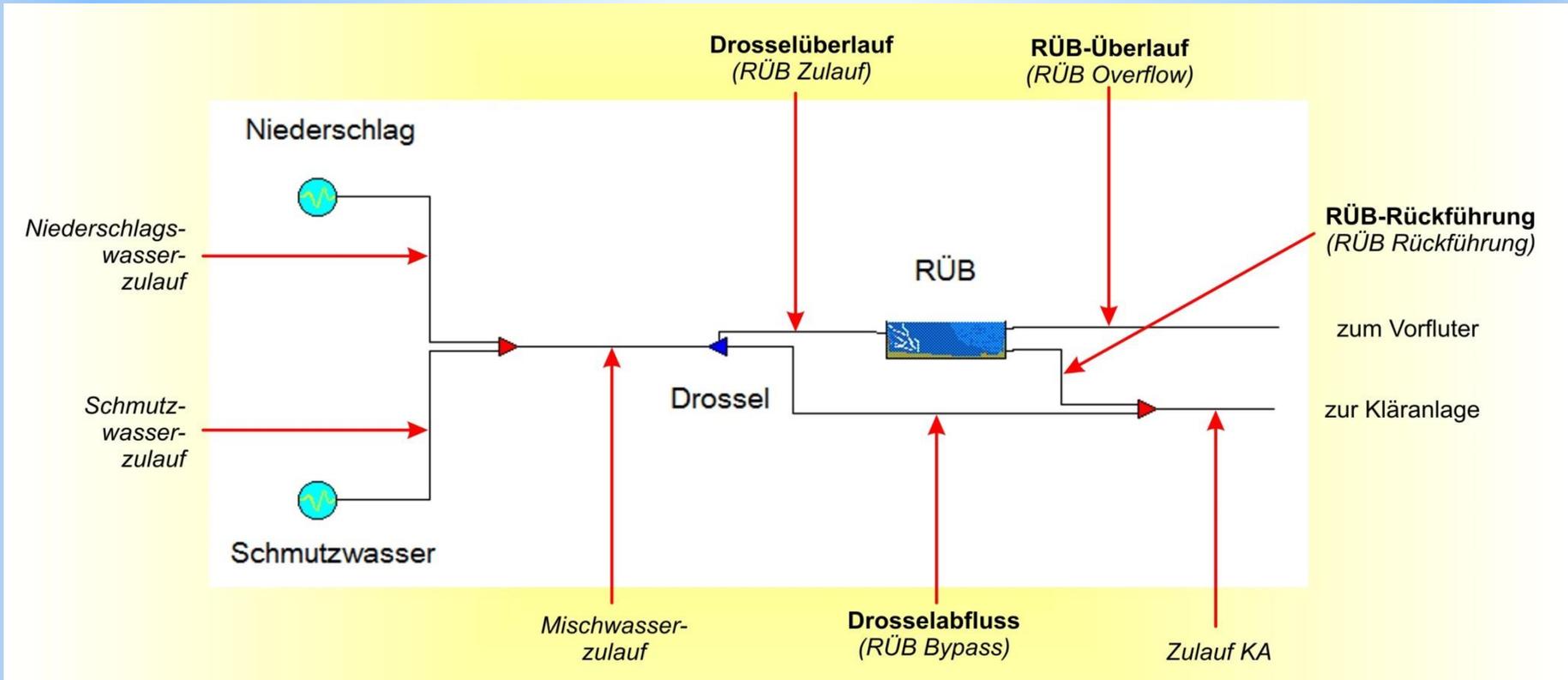
<b>Run 2</b>	<b>Drossel</b> Operation wie vor	
	<b>Regenüberlaufbecken 10.000 m<sup>3</sup> (RÜB)</b>	
	Return pump rate	850 m <sup>3</sup> /h
	Control stream	500 m <sup>3</sup> /h

<b>Run 3</b>	<b>Drossel</b> Operation wie vor	
	<b>Regenüberlaufbecken 10.000 m<sup>3</sup> (RÜB)</b>	
	Return pump rate	600 m <sup>3</sup> /h
	Control stream	750 m <sup>3</sup> /h

<b>Run 4</b>	<b>Drossel</b> Operation wie vor	
	<b>Regenüberlaufbecken 10.000 m<sup>3</sup> (RÜB)</b>	
	Return pump rate	350 m <sup>3</sup> /h
	Control stream	1.000 m <sup>3</sup> /h

<b>Run 5</b>	<b>Drossel</b> Operation wie vor	
	<b>Regenüberlaufbecken 10.000 m<sup>3</sup> (RÜB)</b>	
	Return pump rate	100 m <sup>3</sup> /h
	Control stream	1.250 m <sup>3</sup> /h

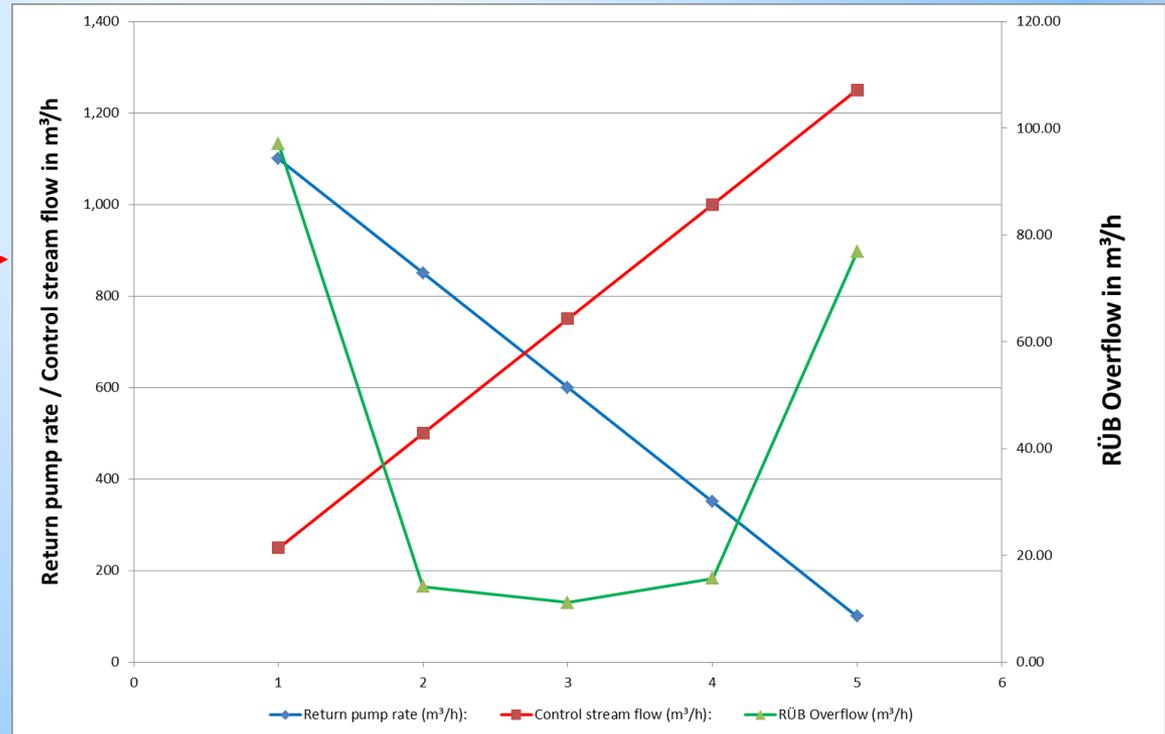
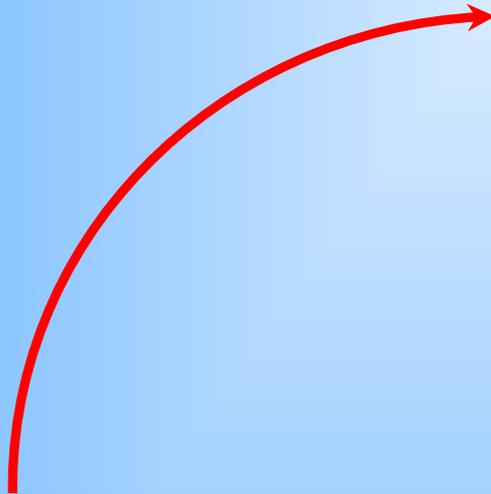
# Studie zur Einstellung von Drossel & RÜB



STOAT-Modell #05 RÜB 10.000 m<sup>3</sup> mit Erläuterungen und Teilstrombezeichnungen (Kursiv)

# Studie zur Einstellung von Drossel & RÜB

[Excel-Datei Übung\\_06.xlsx](#)



Modell	Scenario	Return pump rate (m³/h):	Control stream flow (m³/h):	RÜB Overflow (m³/h)
#05 Drossel + RÜB 10.000 m³	Run 1	1,100	250	97.07
	Run 2	850	500	14.16
	Run 3	600	750	11.13
	Run 4	350	1,000	15.67
	Run 5	100	1,250	76.86

Grafische Auswertung verdeutlicht, dass die Rückführung aus dem RÜB (*Return pump rate*) 500 m³/h nicht unterschreiten und 1.000 m³/h nicht überschreiten sollte

# Literaturverzeichnis

ATV-A 128	Arbeitsblatt ATV-A 128 Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungsanlagen in Mischwasserkanälen Abwassertechnische Vereinigung e. V., April 1992
BROMBACH, 2012	Brombach, H. Wirbeldrossel, Wirbelventile und Wirbelabscheider - von der Grundlagenforschung zu Industrieprodukten WASSERWIRTSCHAFT Heft 10/2012, S. 42 – 48
DWA-A 111	Arbeitsblatt DWA-A 111 Hydraulische Dimensionierung und betrieblicher Leistungsnachweis von Anlagen zur Abfluss- und Wasserstandsbegrenzung in Entwässerungssystemen Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Dezember 2010
DWA-A 166	Arbeitsblatt DWA-A 166 Bauwerke der zentralen Regenwasserbehandlung und -rückhaltung Konstruktive Gestaltung und Ausrüstung Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., November 2010

# Gewässerschutz

## Berechnungen in Zusammenhang mit der Sanierung von Gewässern

# ppm & Co.

Massenkonzentrationen werden im englischsprachigen Schrifttum oft ausgedrückt als

**ppm** = parts per million ( $10^6$ )

Die Konzentration des gelösten Stoffes X im Lösungsmittel Y beträgt in ppm

$$\frac{\text{Masse des gelösten Stoffes}}{\text{Masse des Lösemittels}}, \text{ d. h. } \frac{x \text{ g von X}}{10^6 \text{ g von (Y + X)}} = x \text{ ppm}$$

1 kg einer Lösung mit Wasser als Lösemittel hat ein Volumen von etwa 1 Liter, demzufolge wiegt 1 Liter Lösung ca.  $10^6$  Milligramm, d. h.

**1 ppm ~ 1 mg/L**

Manchmal findet man auch

**ppb** = parts per billion (billion  $\neq$  Billion, billion = Milliarde, deshalb  $10^9$ ), d. h.

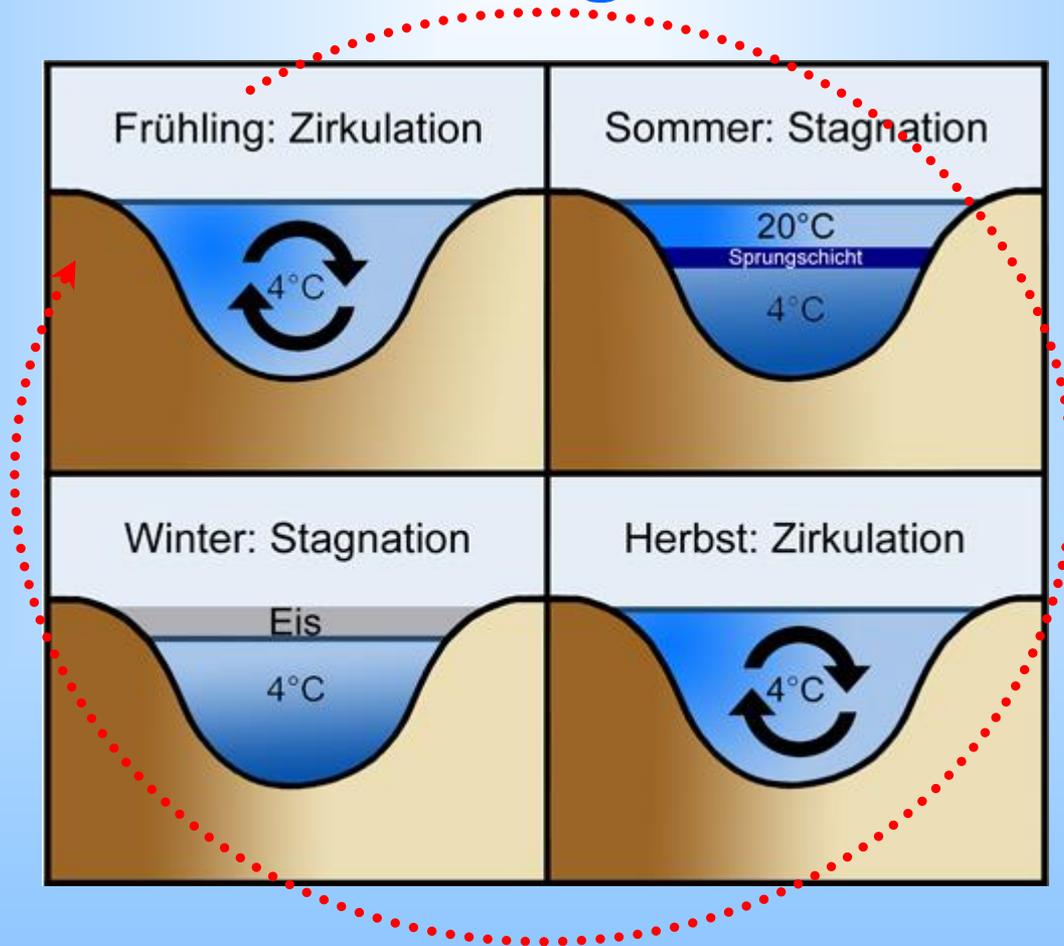
**1 ppb ~ 1  $\mu$ g/L**

oder

**ppt** = parts per thousand ( $10^3$ ), d. h.

**1 ppt ~ 1 g/L**

# Vollzirkulation und Stagnation in einem See



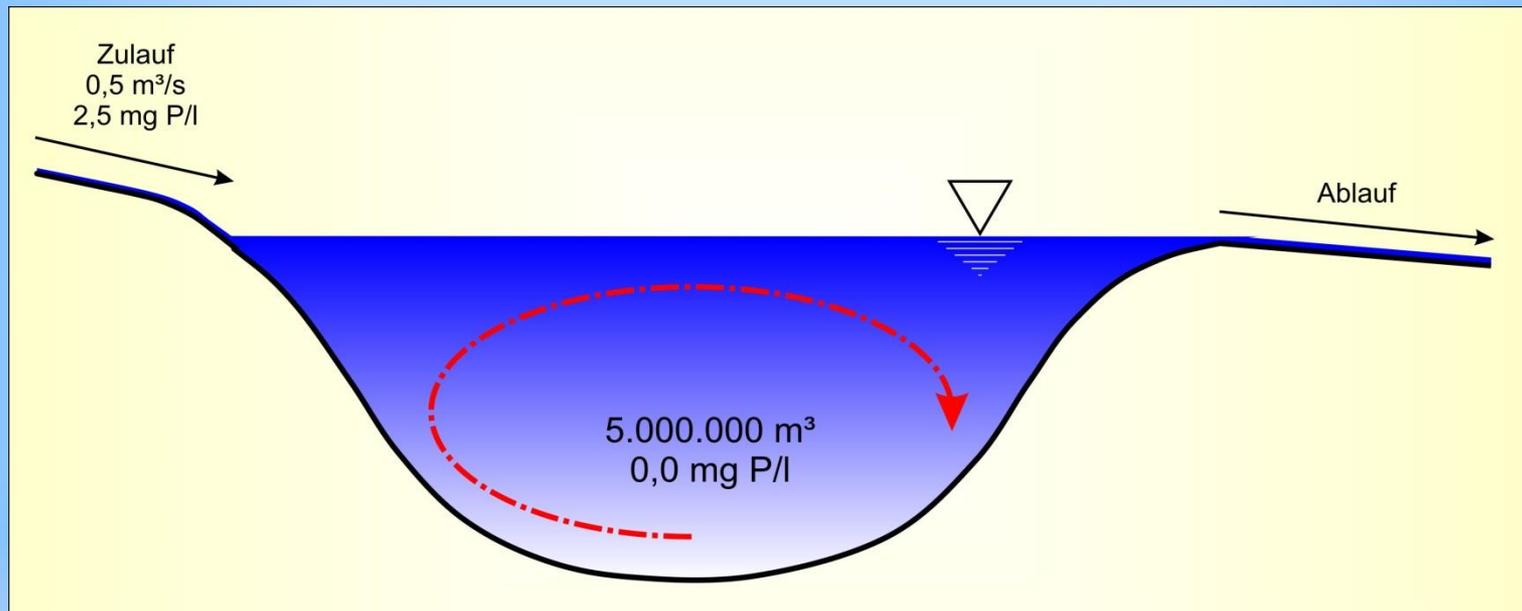
Schematische Darstellung der Sommer- und Winter-Stagnation sowie Vollzirkulation im Frühjahr und im Herbst

aus [http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/WasserSek\\_I/oekosystem\\_see/dateien/wie\\_sieht\\_es\\_am\\_see\\_aus/jahreszeiten.html](http://www.uni-duesseldorf.de/MathNat/Biologie/Didaktik/WasserSek_I/oekosystem_see/dateien/wie_sieht_es_am_see_aus/jahreszeiten.html)

# Aufg. 1: Eutrophierung eines Sees

Die Phosphorkonzentration im Zulauf eines Sees verschlechtert sich schlagartig von 0 auf 2,5 mg/l. Der Zulaufvolumenstrom sei 0,5 m<sup>3</sup>/s. Der See hat ein Volumen von 5.000.000 m<sup>3</sup> und ist im Ausgangszustand oligotroph, d. h. die Phosphor-Konzentration ist vernachlässigbar gering. Der See ist ganzjährig vollständig durchmischt (= holomiktisch).

Der Sprung in der Phosphor-Konzentration des Zulaufs sei am 1.1.2015. Berechnen Sie für zwei Jahre den Verlauf der Phosphor-Konzentration im Wasserkörper des Sees in monatlichen Abständen.



# Aufg. 1: Eutrophierung eines Sees

$$C(t) = C_I * \left(1 - e^{-\frac{t}{t_d}}\right)$$

(unter Verwendung von DROSTE, 1997)

wobei

$C(t)$  Konzentration im See zum Zeitpunkt  $t$

$C_I$  Zulaufkonzentration

$e$  Eulersche Zahl (2,71828 18284 59045...)

$t$  abgelaufene Zeit zum Zeitpunkt  $t$

$t_d$  Aufenthaltszeit des zulaufenden Wassers im See

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

wobei

$V$  Volumen des Wasserkörpers im See

$Q$  Zulaufvolumenstrom

# Aufg. 1: Eutrophierung eines Sees

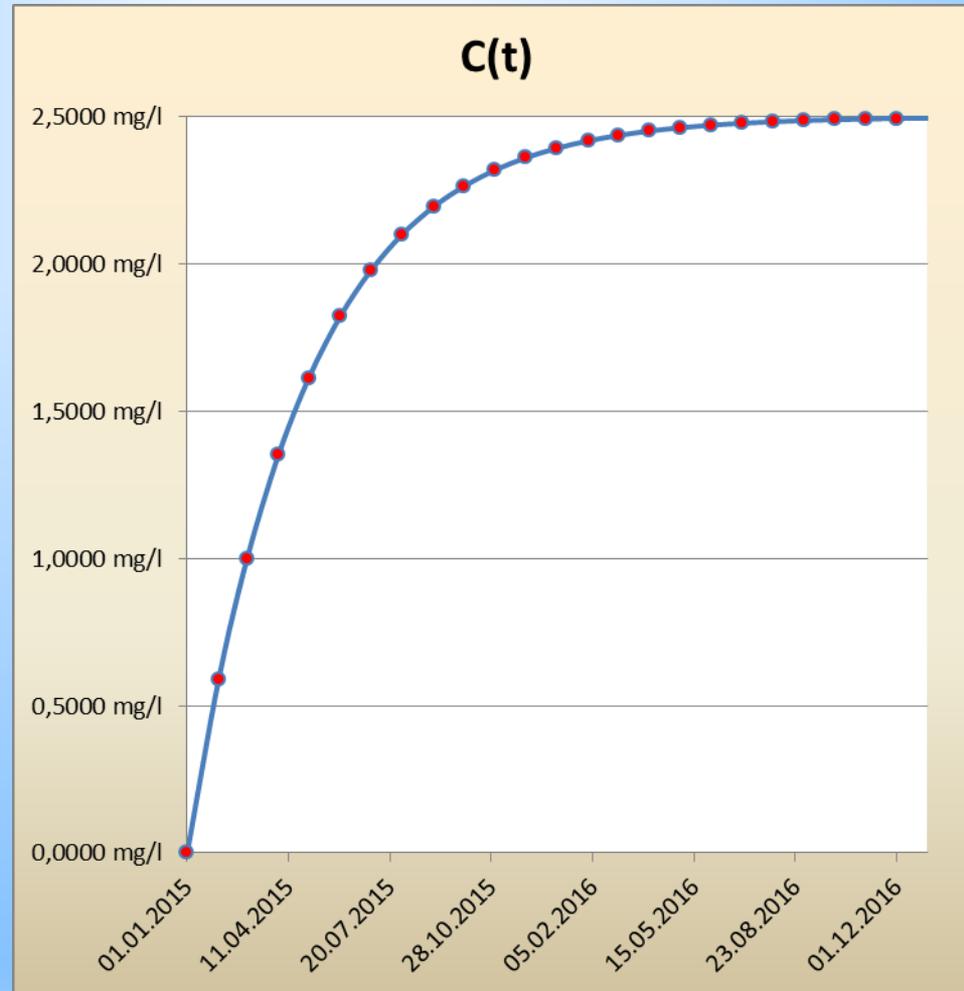
$$t_d = \frac{V}{Q} = \frac{5.000.000 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}^3/\text{s}} = 10.000.000 \text{ s} = 10^7 \text{ s}$$

P-Konzentration nach Ablauf von 100.000 s:

$$\begin{aligned} C(100.000 \text{ s}) &= 2,5 * \left( 1 - e^{-\frac{10^5}{10^7}} \right) \\ &= 2,5 * (1 - e^{-0,01}) = 0,0249 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

# Aufg. 1: Eutrophierung eines Sees

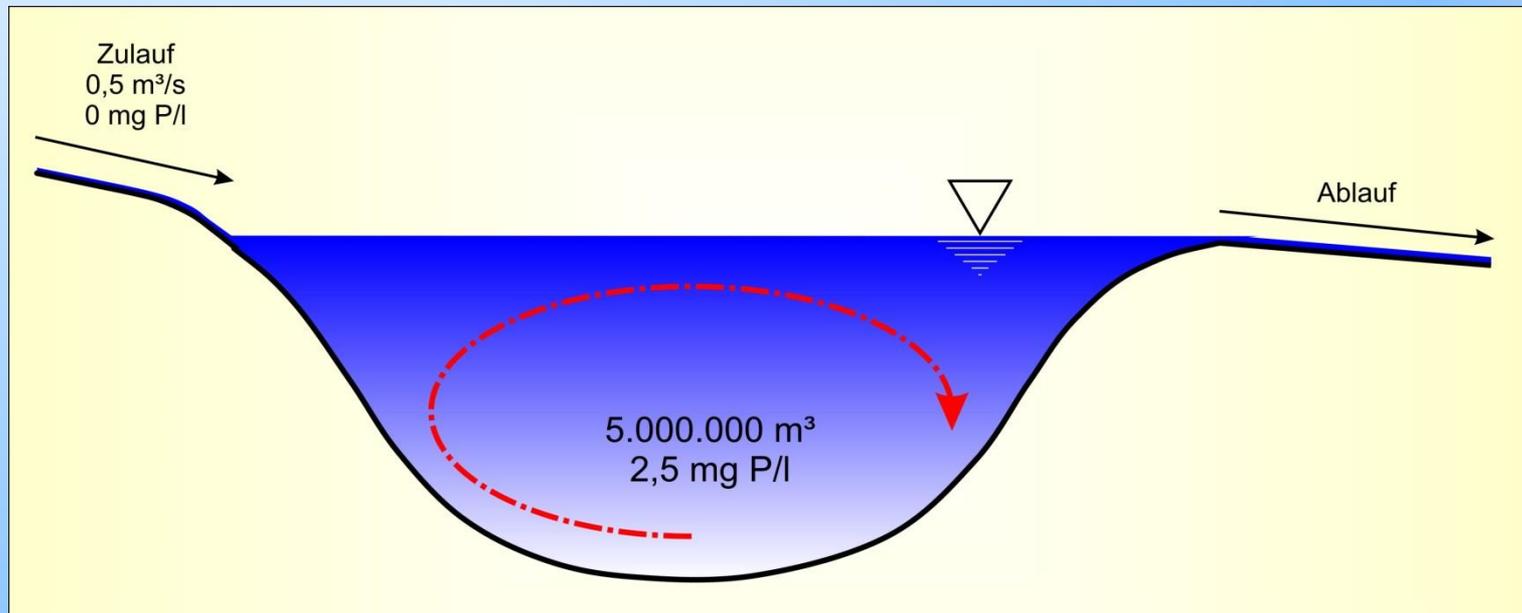
Excel-Tabelle,  
Tabellenblatt  
«Eutrophierung»



# Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserzufuhr)

Der See aus dem 1. Berechnungsbeispiel soll im Wege der Frischwasserzufuhr wieder auf eine verträgliche Phosphorkonzentration von 0,15 mg/l gebracht werden.

Der Beginn der Sanierung sei am 1.1.2017.



Wann wird das Sanierungsziel erreicht?

# Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserzufuhr)

$$C(t) = C_0 * e^{-\frac{t}{t_d}}$$

(unter Verwendung von DROSTE, 1997)

wobei

$C(t)$	Konzentration im See zum Zeitpunkt $t$
$C_0$	Ausgangskonzentration im See zum Zeitpunkt $t_0$
$e$	Eulersche Zahl (2,71828 18284 59045...)
$t$	abgelaufene Zeit zum Zeitpunkt $t$
$t_d$	Aufenthaltszeit des zulaufenden Wassers im See

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

wobei

$V$	Volumen des Wasserkörpers im See
$Q$	Zulaufvolumenstrom

# Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserezufuhr)

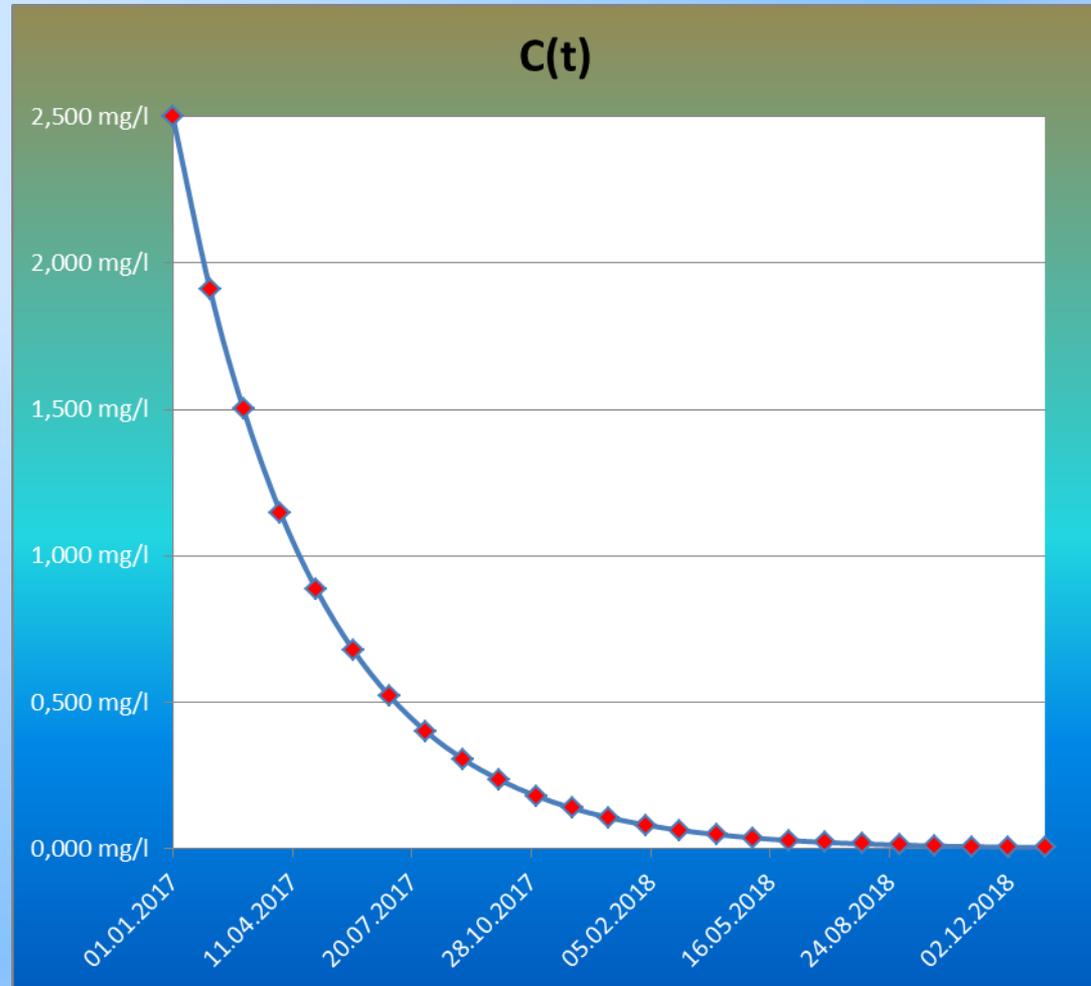
$$t_d = \frac{V}{Q} = \frac{5.000.000 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}^3/\text{s}} = 10.000.000 \text{ s} = 10^7 \text{ s}$$

P-Konzentration nach Ablauf von 100.000 s:

$$\begin{aligned} C(100.000 \text{ s}) &= 2,5 * e^{-\frac{10^5}{10^7}} \\ &= 2,5 * e^{-0,01} = 2,4751 \text{ mg/l} \end{aligned}$$

# Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserzufuhr)

Excel-Tabelle,  
Tabellenblatt  
«Frischwasserzufuhr»



# Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserezufuhr)

Wann ist das Sanierungsziel erreicht?

$$0,15 = 2,5 * e^{-\frac{t}{10^7}}$$

Einsetzen der Werte in Berechnungsformel

Division durch 2,5

$$\frac{0,15}{2,5} = e^{-\frac{t}{10^7}}$$

$$\ln\left(\frac{0,15}{2,5}\right) = -\frac{t}{10^7}$$

Logarithmus naturalis bilden

Multiplikation mit  $-10^7$   
und Umstellen nach  $t$

$$t = -\ln\left(\frac{0,15}{2,5}\right) * 10^7$$

## Aufg. 2: Seensanierung (Frischwasserezufuhr)

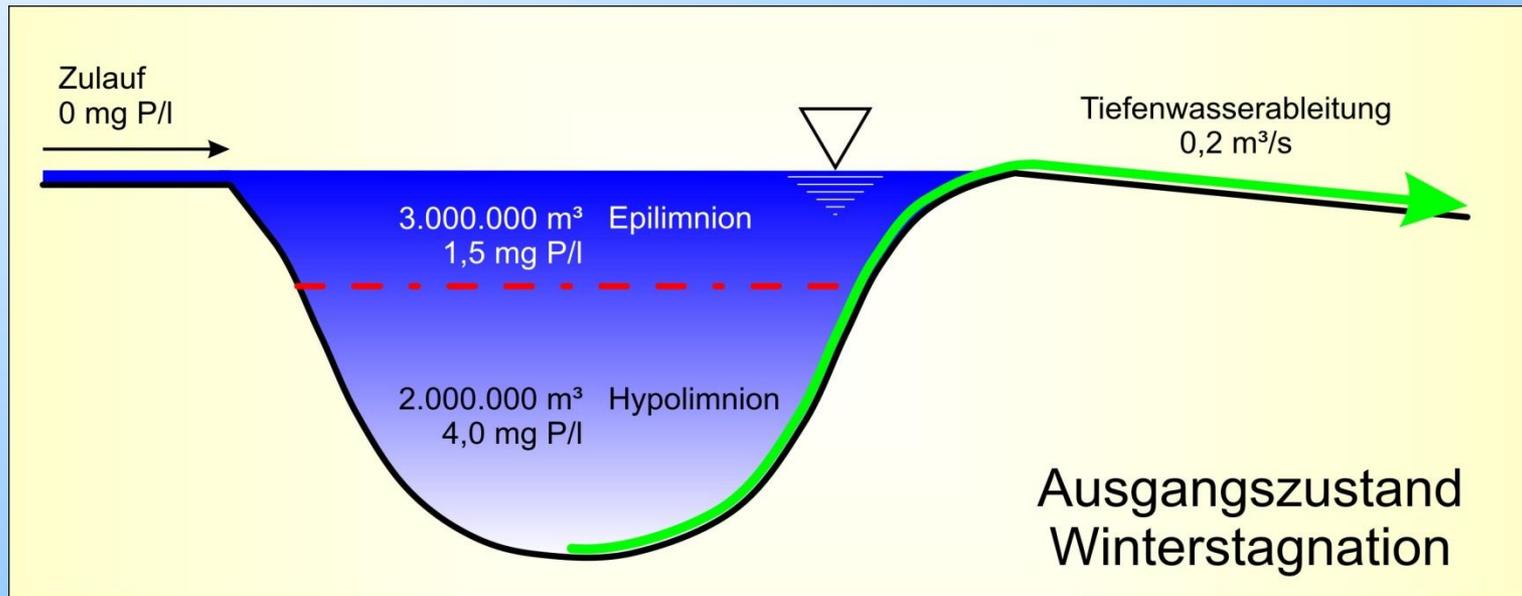
$$\begin{aligned} t &= -\ln(0,06) * 10^7 = 2,813410717 * 10^7 \\ &= 28.134.107,17 \text{ s} \\ &= \frac{28.134.107,17 \text{ s}}{\frac{3.600 \text{ s}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{d}}} = 325,6262404 \text{ d} \end{aligned}$$

*Sanierungsziel erreicht*

*am 22.11.2017, 15:01:47 Uhr*

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Der Wasserkörper des im Ergebnis der ersten Aufgabe eutrophierten Sees soll im Wege der Tiefenwasserableitung restauriert werden. Der Zulauf zum See soll phosphatfrei sein. Die zulaufende Wassermenge richtet sich danach, wie viel Wasser dem See durch die Tiefenwasserableitung entzogen wird.



Während der Sommer- und Winterstagnation hat der See eine ausgeprägte Schichtung (meromiktischer See). Die maßgeblichen Eckwerte gehen aus der Skizze hervor. Das Metalimnion wird nicht gesondert berücksichtigt. Dessen Anteile am Volumen und der Phosphorfracht werden dem Epi- bzw. Hypolimnion zugeschlagen und dort mit erfasst.

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Bei der Berechnung soll unterstellt werden, dass

- die Sanierung am 1. Januar 2017 beginnt,
- ohne Tiefenwasserableitung während der Sommer- und Winter-Stagnation nur das Epilimnion mit dem zufließenden Klarwasser vollständig durchmischt wird und
- während der Vollzirkulation im Frühjahr (April) und im Herbst (Oktober) jeweils der gesamte Wasserkörper vollständig durchmischt wird.

Wann wird das Sanierungsziel erreicht?

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Täglich ablaufende (=zulaufende ) Wassermenge

$$0,2 \frac{m^3}{s} * 3.600 \frac{s}{h} * 24 \frac{h}{d} =$$

17.280 m<sup>3</sup>/d

$t_d$  bei Vollzirkulation (im gesamten Wasserkörper):

$$t_d = \frac{V}{Q} = \frac{5.000.000 m^3}{\frac{0,2 m^3}{s}} = 25.000.000 s$$

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Sanierung beginnt am 1. Januar 2015			Konzentration
	P im Epilimnion (Ausgangszustand)	12.500.000 g	1,50 mg/l
	P im Hypolimnion (Ausgangszustand)	8.000.000 g	4,00 mg/l
	P im gesamten Wasserkörper (Ausgangszustand)	20.500.000 g	2,50 mg/l

Tiefenwasserableitung erfolgt aus dem Hypolimnion, im Zeitraum 1.1. bis 31.3. werden 1.537.920 m<sup>3</sup> entnommen, das ist < 2.000.000 m<sup>3</sup> (Volumen des Hypolimnions)

Abgeleitete P-Fracht wird ausschließlich von Hypolimnion bestimmt, Epilimnion hat keinen Einfluss!

Hypolimnion, 31. März 2017:

$$P_{Hypo} = 8.000.000 \text{ g} - (31 + 28 + 31) d$$

$$04-31$$

$$* 17.280 \frac{m^3}{d} * 4 \frac{mg}{l} = 1.848.320 \text{ g}$$

1.848.320 g    0,92 mg/l

P im Epilimnion zu Beginn der Vollzirkulation Anfang April:

4.500.000 g    1,50 mg/l

P im gesamten Wasserkörper zu Beginn der Vollzirkulation Anfang April:

6.348.320 g    1,27 mg/l

$$P_{See} = 1,27 * e^{-\frac{2.505.600}{25.000.000}} = 1,07 \frac{mg}{l}$$

$$04-30$$

P im gesamten Wasserkörper zum Ende der Vollzirkulation am 30. April 2017:

5.371.731 g    1,07 mg/l

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Im Zeitraum 1.5. bis 30.9.  
werden 2.626.560 m<sup>3</sup> entnommen,  
das ist > 2.000.000 m<sup>3</sup>

Vermischung  
von Epilimnion mit  
Hypolimnion, quasi  
Vollzirkulation!

See gesamt am 30. September 2017:

$$P_{See} = 1,07 * e^{-\frac{13.132.800}{25.000.000}} = 0,64 \frac{mg}{l}$$

09-31

1.848.320 g    0,64 mg/l

See gesamt am 31. Oktober 2017:

$$P_{See} = 0,64 * e^{-\frac{2.592.000}{25.000.000}} = 0,57 \frac{mg}{l}$$

09-31

2.863.825 g    0,57 mg/l

See gesamt am 31. März 2018:

$$P_{See} = 0,57 * e^{-\frac{12.960.000}{25.000.000}} = 0,34 \frac{mg}{l}$$

09-31

1.705.329 g    0,34 mg/l

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)

Ab 1.4.2017  
praktisch immer  
Vollzirkulation!

$$0,15 = 1,27 * e^{-\frac{t}{25.000.000}}$$

Einsetzen der Werte in Berechnungsformel

Division durch 1,27

$$\frac{0,15}{1,27} = e^{-\frac{t}{25.000.000}}$$

$$\ln\left(\frac{0,15}{1,27}\right) = -\frac{t}{25.000.000}$$

Logarithmus naturalis bilden

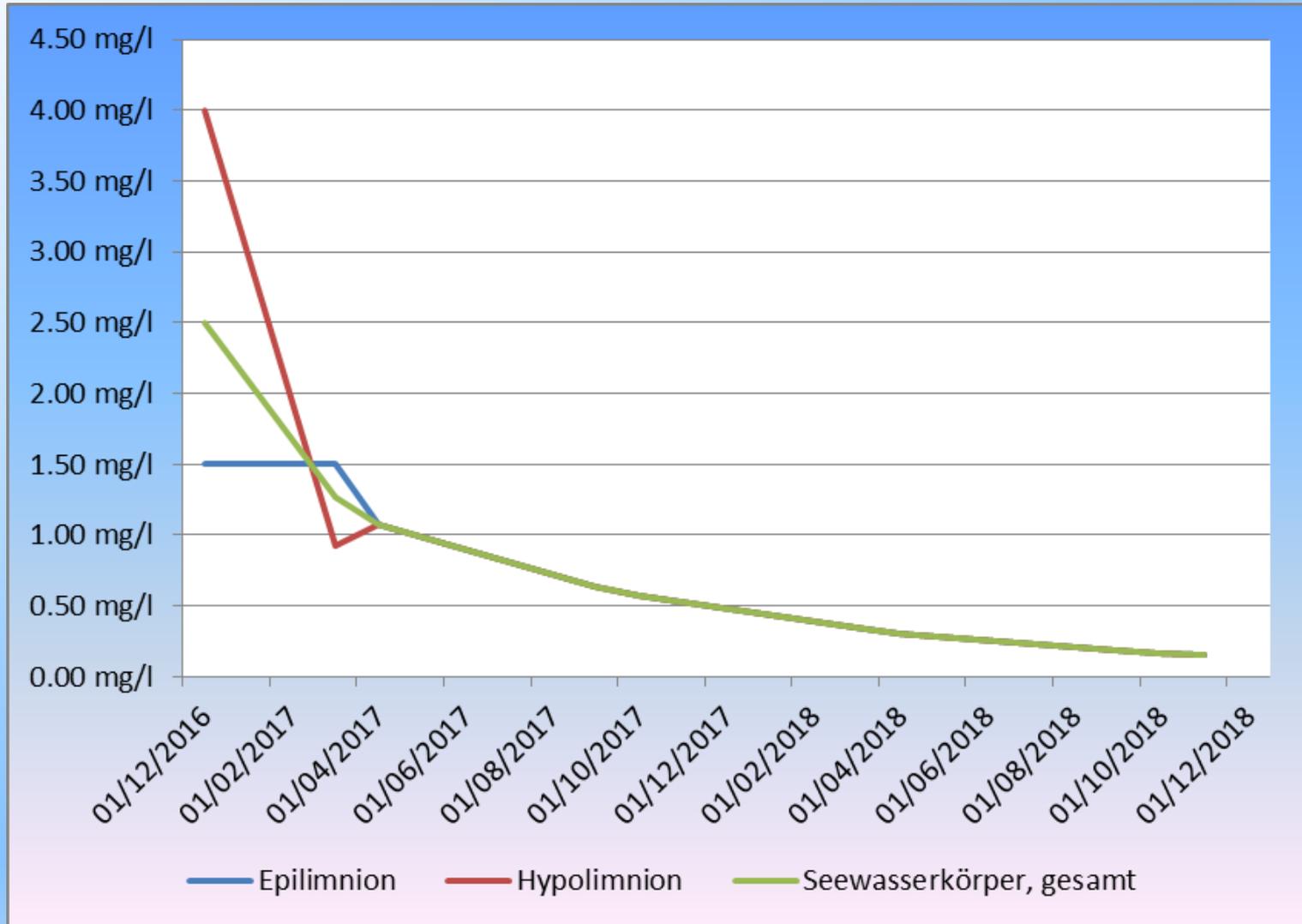
Multiplikation mit  $-2,5 * 10^7$   
und Umstellen nach  $t$

$$t = -25.000.000 * \ln\left(\frac{0,15}{1,27}\right)$$

$$t = 53403422,13 \text{ s}$$

Restaurierung abgeschlossen  
am 10.12.2018, 02:17:02 Uhr

# Aufg. 3: Seenrestaurierung (Tiefenwasserabl.)



# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

## Grundwassersanierung:

Unter Berücksichtigung der Flächenrepräsentanz der Sondierungen, der Tiefenrepräsentanz, Mächtigkeiten, Lagerungsdichten/Trockenraumdichte und geogenen Gehalte der einzelnen untersuchten Horizonte sollen aus Untersuchungsergebnissen die Schadstoffmassen eines Bodenkörpers abgeschätzt werden.



Die Größe der zu untersuchenden Fläche beträgt 750 m<sup>2</sup>. Die Fläche ist mit Blei (Pb) kontaminiert. Vier Bodenprofile (P1 bis P4) liegen vor. Die Flächenrepräsentanz R der Bodenprofile ist kursiv angegeben [%].

aus HLUG, 2008

# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

$$M_{\text{Sch,P}} = \sum_{i=1}^n (G_i \cdot LD_i \cdot M\ddot{a}_i)$$

$M_{\text{Sch,P}}$	Masse des Schadstoffes pro Fläche [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ] im Bereich eines Bodenprofils, summiert über die einzelnen Bodenhorizonte
$G$	Gesamtgehalt des Schadstoffes in einer Bodenprobe [ $\text{mg}/\text{kg TM}$ ]
$i$	laufende Nummer eines Horizontes in einem Bodenprofil
$LD$	Lagerungsdichte [ $\text{kg TM}/\text{m}^3$ ]
$M\ddot{a}$	Mächtigkeit der einzelnen Bodenhorizonte
$n$	Anzahl der zu berücksichtigenden Horizonte eines Profils [-]

aus HLUG, 2008

# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

Horizont	Tiefe		Mächtigkeit	Lagerungs- dichte	Pb-Gehalt	Pb-Masse
	von	bis				
1	0,0 m	0,3 m	0,3 m	0,8 g/cm <sup>3</sup>	100 mg/kg	24 g/m <sup>2</sup>
2	0,3 m	1,3 m	1,0 m	1,4 g/cm <sup>3</sup>	250 mg/kg	350 g/m <sup>2</sup>
3	1,3 m	1,8 m	0,5 m	1,8 g/cm <sup>3</sup>	1.000 mg/kg	900 g/m <sup>2</sup>
4	1,8 m	2,2 m	0,4 m	1,5 g/cm <sup>3</sup>	20 mg/kg	12 g/m <sup>2</sup>
						1.286 g/m <sup>2</sup>

Für Profil 1 ergibt sich eine Pb-Masse  $M_{Sch, P}$  von 1.286 g/m<sup>2</sup> Pb. Auf die Darstellung der Profilbilanzierung der Pb-Massen für die Profile 2, 3 und 4 wird verzichtet.

aus HLUG, 2008

# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

$$M_{\text{Sch, Bk}} = \sum_{i=1}^n (M_{\text{Sch, i}} \cdot R_1 / 100)$$

$M_{\text{Sch, Bk}}$	Durchschnittliche flächenrepräsentative Masse des Schadstoffes im Bodenkörper bezogen auf 1 Quadratmeter [mg/m <sup>2</sup> ]
$i$	laufende Nummer eines Bodenprofils [-]
$R$	Flächenrepräsentanz [%]
$n$	Anzahl der zu berücksichtigenden Profile einer Fläche [-]

aus HLUG, 2008

# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

Profil	Pb-Masse	Flächen-repräsentanz	repräsentative Pb-Masse
1	1.286 g/m <sup>2</sup>	25,0%	322 g/m <sup>2</sup>
2	600 g/m <sup>2</sup>	50,0%	300 g/m <sup>2</sup>
3	1.800 g/m <sup>2</sup>	12,5%	225 g/m <sup>2</sup>
4	2.500 g/m <sup>2</sup>	12,5%	313 g/m <sup>2</sup>
			<b>1.160 g/m<sup>2</sup></b>

Für den untersuchten Bodenkörper ergibt sich eine durchschnittliche flächenrepräsentative Pb-Masse pro Einheitsgrundfläche  $M_{\text{Sch, Bk}}$  von 1.160 g/m<sup>2</sup>.

aus HLUG, 2008

# Aufg. 4: Boden- und Grundwassersanierung

$$M_{\text{Sch},F} = M_{\text{Sch},\text{Bk}} \cdot F$$

$M_{\text{Sch},\text{Bk}}$	Gesamte Schadstoffmasse im Bereich einer Schadstoffquelle [mg]
$M_{\text{Sch},F}$	Durchschnittliche flächenrepräsentative Masse des Schadstoffes im Bodenkörper bezogen auf 1 Quadratmeter [ $\text{mg}/\text{m}^2$ ]
$F$	Fläche der Schadstoffquelle (horizontale Ebene) [ $\text{m}^2$ ]

$$1.160 \text{ mg Pb}/\text{m}^2 * 750 \text{ m}^2 = 870.000 \text{ g Pb}$$

Somit ergibt sich für den untersuchten Bodenkörper eine flächenrepräsentative Pb-Masse von 870.000 g Pb oder **870 kg Pb**.

aus HLOG, 2008

# Literaturverzeichnis

BESCH et al., 1992	Besch, W.-K.; Hamm, A.; Lenhart, B.; Melzer, A.; Scharf, B.; Steinberg, C.: Limnologie für die Praxis - Grundlagen des Gewässerschutzes, 3. Auflage ecommed Fachverlag, Landsberg, 1992
BUSCH, UHLMANN & WEISE, 1983	Busch, K.-F.; Uhlmann, D.; Weise, G. Ingenieurökologie VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1983
DOKULIL et. al., 2001	Dokulil, M.; Hamm, A.; Kohl, J.-G. (Hrsg.): Ökologie und Schutz von Seen Facultas Verlags- und Buchhandels AG, Wien, 2001
DROSTE, 1997	Droste, R. L. Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment John Wiley & Sons, Inc. New York, 1997
HLUG, 2008	Handbuch Altlasten Band 3, Teil 6 Ermittlung von Schadstofffrachten im Grund- und Sickerwasser Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden 2008 <a href="http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/fracht/Handbuch_Fracht_Grundwasser_Sickerwasser_nur_lesen.pdf">http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/fracht/Handbuch_Fracht_Grundwasser_Sickerwasser_nur_lesen.pdf</a>
KLAPPER, 1997	Klapper, H. Phosphatfällung im Gewässer In: Handbuch des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik, Band 5: Sanierender Umweltschutz, (Hrsg.: Heinz Brauer), S. 189 ff. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1997
SCHWOERBEL, 1984	Schwoerbel, J.: Einführung in die Limnologie VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 1984