

Klärtechnische Berechnung SBR

Kläranlage

KA Eistal-West

4.230 E

1. Grunddaten

Anschlusswert:

4.230 Einwohner

1.1 Abwasserzufluss

Kommunales Abwasser

Spezifischer Schmutzwasseranfall:

$w_{S,d} = 86,95 \text{ l/(E*d)}$

$$Q_{S,aM} = \frac{EZ * w_{S,d}}{86400}$$

Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel:

4,26 l/s
15,33 m3/h

Spezifischer Fremdwasseranfall:

$q_f = 99,84 \%$

Stundenmittel für Fremdwasser:

24,00 h/d

Fremdwasseranfall:

$Q_{F,aM} = 4,25 \text{ l/s}$
 $= 15,30 \text{ m3/h}$

Trockenwetterabfluss im Jahresmittel:

$Q_{T,aM} = 8,51 \text{ l/s}$
30,63 m3/h
735,00 m3/d

Divisor für die Tagesspitze:

$x_{Qmax} = 8,01 \text{ h/d}$

$$Q_{T,h,max} = Q_{F,aM} + \frac{24 * Q_{S,aM}}{x_{Qmax}}$$

Tagesspitze bei Trockenwetter im Jahresmittel:

$Q_{T,h,max} = 17,00 \text{ l/s}$
61,20 m3/h

Entwässerung im Mischsystem

Faktor für Mischwasserzufluss:

$f_{S,QM} = 5,99$

$$Q_M = f_{S,QM} * Q_{S,aM} + Q_{F,aM} \text{ l/s}$$

Mischwasserabfluss:

$Q_M = 29,75 \text{ l/s}$
107,10 m3/h

1.2 Abwasserverschmutzung

Die stündlichen Mengen sind mit den Stundenmitteln für Schmutzwasser und Fremdwasser berechnet.

Abwasserverschmutzung			
	g/(E*d)	kg/d	mg/l
CSB-Kommunal	120,00	507,60	690,61
TSO-Kommunal	70,00	296,10	402,86
TKN-Kommunal	11,00	46,53	63,31
P-Kommunal	1,80	7,61	10,36

2. Biologische Stufe

2.1 Vorbemessung nach DWA-A 131

Belebungsanlage mit intermittierender Denitrifikation

Die Belebungsbecken werden mit simultaner Schlammstabilisierung bemessen.
Die Belüftung wird intermittierend betrieben.

Abwasserverschmutzung			
	g/(E*d)	kg/d	mg/l
CSB-Kommunal	120,00	507,60	690,61
CSB-Gesamt		507,60	690,61
BSB5-Kommunal	60,00	253,80	345,31
BSB5-Gesamt		253,80	345,31
TSO-Kommunal	70,00	296,10	402,86
TSO-Gesamt		296,10	402,86
TKN-Kommunal	11,00	46,53	63,31
TKN-Gesamt		46,53	63,31
P-Kommunal	1,80	7,61	10,36
P-Gesamt		7,61	10,36

Qd,konz:

735,00 m³/d

Konstanten

Anteil anorganische Stoffe an den abfiltrierbaren Stoffen:

$$f_B = 0,30$$

Inerter Anteil am partikulären CSB:

$$f_A = 0,30$$

Anteil des leicht abbaubaren CSB am abbaubaren CSB (0,15 - 0,25):

$$f_{CSB} = 0,20$$

Zerfallskoeffizient:

$$b = 0,17$$

Ertragskoeffizient:

$$Y = 0,67$$

Anteil des gelösten inerten CSB:

$$f_S = 0,05$$

Zusätzliche ÜS-Produktion: YCSB,dos = 0,00

Konzentrationen der Fraktionen der Abwasserinhaltsstoffe im Zulauf zur Biologie

Partikulärer CSB: XCSB,ZB = 451,20 mg/l
 Gelöster CSB: SCSB,ZB = 239,41 mg/l
 Gelöster inerter CSB: SCSB,inert,ZB = 34,53 mg/l
 partikulärer inerter CSB: XCSB,inert,ZB = 135,36 mg/l
 abbaubarer CSB in der homogenisierten Probe: CCSB,abb,ZB = 520,72 mg/l
 leicht abbaubarer CSB in der homogen. Probe: CCSB,la,ZB = 104,14 mg/l
 abfiltrierbare anorganische Stoffe: Xanorg,TS,ZB = 120,86 mg/l
 Aufstockung des CSB durch externen Kohlenstoff: CCSB,dos = 0,00 mg/l

Dimensionierung der Belebung

Reaktionstemperatur: T = 12,00 °C
 Prozessfaktor: PF = 1,60
 Erforderliches aerobes Schlammalter: tTS,aerob,Bem = 7,30 d

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

Temperaturfaktor FT:

$$FT = 1,072^{(T-15)} = 0,81$$

Stickstoffbilanz		kg/d	mg/l
TKN (Zulauf)	CTKN,ZB	46,53	63,31
Nitrat-N (Zulauf)	SNO3,ZB	0,00	0,00
N-Inkorporation (Biomasse)	XorgN,BM	4,77	6,50
N-Einlagerung	XorgN,inert	4,11	5,60
Ammonium-N (Ablauf)	SNH4-N,AN	0,00	0,00
organisch-N (Ablauf)	CorgN,AN	1,47	2,00
Nitrat-N (Ablauf)	SNO3,AN	4,41	6,00
Zu denitrifizierendes Nitrat	SNO3,D	31,76	43,22

$$SNO3,D = CTKN,ZB - SorgN,AN - SNH4-N,AN - XorgN,BM - XorgN,inert - SNO3,AN \text{ [mg/l]}$$

Erforderliches Schlammalter - Simultane aerobe Schlammstabilisierung:

$$t_{TS} = \frac{f_{B,Stab}}{b_{H,15C} * 1,072^{(T-15)} * (1 - f_{B,Stab} - f_i)}$$

Zerfallskoeffizient 15°C: bH,15C = 0,17 1/d
 Inerter Anteil: fi = 0,20

Anteil anorganischer Stoffe in der filtr. Probe:	fB,Stab =	0,62
Gesamtschlammalter:	tTS =	20,00 d
Trockensubstanzkonzentration:	TSBB =	4,00 kg/m ³

Geforderte Ablaufwerte

Nitrat-N im Ablauf:		6,00 mg/l
Ammonium-N im Ablauf:		0,00 mg/l
Organisch-N im Ablauf:		2,00 mg/l

Aerobes Schlammalter (maximal):	tTS,aerob,max =	11,20 d
erforderliches Denitrifikationsverhältnis:	VD/VBB =	0,440
Verhältnis Nitrifikationsvolumen zu Gesamtvolumen:	VN/V =	0,56

Ergebnis der Bemessung

Überschussschlammproduktion aus Kohlenstoffelimination

$$X_{CSB,ÜS} = X_{CSB,inert,ZB} + X_{CSB,BM} + X_{CSB,inert,BM} \quad [mg/l]$$

$$X_{CSB,BM} = \frac{C_{CSB,abb,ZB} * Y + C_{CSB,dos} * Y_{CSB,dos}}{1 + b * t_{TS} * FT} \quad [mg/l]$$

CSB der Biomasse:	X _{CSB,BM} =	92,79 mg/l
-------------------	-----------------------	------------

$$X_{CSB,inert,BM} = 0,2 * X_{CSB,BM} * t_{TS} * b * FT \quad [mg/l]$$

inertes Anteil des CSB in der Biomasse:	X _{CSB,inert,BM} =	51,22 mg/l
---	-----------------------------	------------

auf den Abwasserzufluss bezogene CSB-Konzentration des Überschussschlammes:	X _{CSB,ÜS} =	279,37 mg/l
---	-----------------------	-------------

Tägliche Schlammproduktion aus der Kohlenstoffelimination:

$$\dot{U}_{Sd,C} = \frac{Q_{d,konz} * (X_{CSB,inert,ZB} / 1,33 + (X_{CSB,BM} + X_{CSB,inert,BM}) / (0,92 * 1,42) + fB * X_{TS,ZB})}{1000} \quad [kg/d]$$

$$\dot{U}_{Sd,C} = 244,66 \text{ kg/d}$$

$$\dot{U}_{Sd,P} = \frac{Q_{d,konz} * (3 * X_{PbioP} + 6,8 * X_{PFaellFe} + 5,3 * X_{PFaellAl})}{1000} \quad [kg/d]$$

$$\dot{U}_{Sd,P} = 24,52 \text{ kg/d}$$

$$\dot{U}_{Sd} = \dot{U}_{Sd,C} + \dot{U}_{Sd,P} \quad [kg/d]$$

$$\text{ÜSd} = 269,18 \text{ kg/d}$$

Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau:

$$\text{OVC} = \text{CCSB,abb,ZB} + \text{CCSB,dos} - \text{XCSB,BM} - \text{XCSB,inert,BM} \quad [\text{mg/l}]$$

$$\text{OVC} = 376,71 \text{ mg/l}$$

Anteil des Sauerstoffbedarfs aus leicht abbaubarem CSB und extern dosiertem CSB für intermittierende Denitrifikation:

$$\text{OVC,la,int} = \text{CCSB,dos} * (1 - \text{YCSB,dos}) = 0,00 \quad \text{mg/l}$$

Gesamter Sauerstoffverbrauch in der Denitrifikationszone für intermittierende Denitrifikation:

$$\text{OVC,D} = 0,75 * (\text{OVC,la,int} + (\text{OVC} - \text{OVCla,inter}) * \text{VD/VBB})$$

$$\text{OVC,D} = 124,32 \text{ mg/l}$$

Vergleich Sauerstoffzehrung zu Sauerstoffangebot:

$$x = \frac{\text{OVC,D}}{2,86 * \text{SNO3,D}} = 1,01$$

Erforderliches Volumen:

$$\text{VBBmin} = 1.345,88 \text{ m}^3$$

2.2 Auslegung der SBR-Anlage nach DWA - M 210

2. 2.1 Dimensionierungsgrößen (A 131), Zusammenstellung

Bemessung auf der Basis des CSB.

Schlammalter:

$$t_{\text{TS,Bem}} = 20,00 \text{ d}$$

Trockensubstanzkonzentration:

$$\text{TSBB} = 4,00 \text{ kg/m}^3$$

Spezifische Überschussschlammproduktion (12°C):

$$\text{üs} = 0,53 \text{ kgTS/kgCSB}$$

Schlammbelastung:

$$\text{BTS,CSB} = 0,09 \text{ kgCSB}/(\text{kg*d})$$

Schlammbelastung:	BTS,BSB5 =	0,05 kgBSB5/(kg*d)
Raumbelastung:	BR,CSB =	0,38 kgCSB/(m ³ *d)
Raumbelastung:	BR,BSB5 =	0,19 kgBSB5/(m ³ *d)
Volumen:	VBB =	1.345,88 m ³

2.2.2 Dimensionierungsgrößen (M 210)

Trockensubstanzkonzentration im Mindestvolumen:	TSR =	5,00 kg/m ³
Schlammvolumenindex:	ISV =	100,00 ml/g
Maximaler Wasserspiegel:	HWmax =	6,90 m

2. 2.3 Zyklusgestaltung

Zyklusgestaltung

Zyklusdauer (Trockenwetter):	tZ(TW) =	8,00 h
Zyklusdauer (Regenwetter):	tZ(RW) =	6,00 h
Dauer der Anaerobphase:	tBioP =	0,00 h
Dauer der Reaktionsphase (Trockenwetter):	tR(TW) =	6,00 h
Dauer der Reaktionsphase (Regenwetter):	tR(RW) =	4,00 h
Dauer der Beruhigungs- und Flockungsphase:	tFlock =	0,17 h
Dauer der Sedimentationsphase (Trockenwetter):	tSed =	1,00 h
Dauer der Klarwasserabzugsphase (Trockenwetter):	tAB =	1,00 h
Dauer der Stillstandsphase (Trockenwetter):	tStill =	0,00 h
Dauer der Sedimentationsphase (Regenwetter):	tSed =	1,00 h
Dauer der Klarwasserabzugsphase (Regenwetter):	tAB =	1,00 h
Dauer der Stillstandsphase (Regenwetter):	tStill =	0,00 h

2. 2.4 Erforderliches Reaktorvolumen

Erforderliche Masse an Schlamm in den SBR-Reaktoren:

$$MTS, BB = t_{TS, Bem} \cdot \ddot{U}Sd$$

$$MTS, BB = 20,00 \cdot 269,18 = 5383,53 \text{ kg}$$

$$MTS, R = \frac{MTS, BB \cdot tZ}{tR}$$

$$MTS,R = \frac{5.383,53 * 8,00}{6,00} = 7.178,04 \text{ kg}$$

Erforderliches Mindestvolumen:

$$V_{min} = \frac{MTS,R}{TS_{min}}$$

$$V_{min} = \frac{7.178,04}{5,00} = 1.435,61 \text{ m}^3$$

Erforderliches Volumen bei maximalem Zufluss

$$VR_{max} = V_{min} + Q_{max} * t_{z,RW}$$

$$VR_{max} = 1.435,6 + 107,1 * 6 = 2.078,21 \text{ m}^3$$

$$TSR(V_{max}) = \frac{TS_{min} * V_{min}}{VR_{max}}$$

$$TSR(V_{max}) = \frac{5,00 * 1.435,6}{2.078,21} = 3,45 \text{ kg/m}^3$$

Volumenaustauschverhältnis

$$f_{A,max} = 1 - \frac{V_{min}}{VR_{max}}$$

$$f_{A,max} = 1 - \frac{1435,61}{2.078,21} = 0,31$$

Maximaler Wasserspiegel, gewählt:

$$HW_{max} = 6,90 \text{ m}$$

Minimaler Wasserspiegel:

$$H_{min} = H_{max} * (1 - f_{A,max}) \text{ [m]}$$

$$H_{min} = 6,90 * (1 - 0,31) = 4,77 \text{ m}$$

2. 2.5 Gewählte Abmessungen des Reaktors

Anzahl der Reaktionsbehälter:

$$n = 1,00$$

Durchmesser:

$$D = 19,60 \text{ m}$$

Maximaler Wasserspiegel:

$$hW = 6,89 \text{ m}$$

Volumen (pro Becken): VR = 2.078,21 m³
 Volumen (gesamt): VRges = 2.078,21 m³

3. Absetzverhalten

3.1 Mittlerer Trockenwetterzufluss, Qd/24

Erforderliches Volumen

$$VR,TW24 = V_{min} + Q_{TW24} * t_{z,TW}$$

$$VR,W24 = 1.435,6 + 30,6 * 8 = 1.680,61 \text{ m}^3$$

Trockensubstanzkonzentration:

$$TSR,TW24 = \frac{TS_{min} * V_{min}}{VR,24}$$

$$TSR,TW24 = \frac{5,00 * 1.435,6}{1.680,61} = 4,27 \text{ kg/m}^3$$

Vergleichsschlammvolumen:

$$VSV,TW24 = TSR,TW24 * ISV$$

$$VSV,TW24 = 4,27 * 100 = 427,11 \text{ l/m}^3$$

Volumenaustauschverhältnis

$$f_{A,TW24} = 1 - \frac{V_{min}}{VR,TW24}$$

$$f_{A,TW24} = 1 - \frac{1435,61}{1.680,61} = 0,15$$

Relative Endschlamm Spiegelhöhe:

$$h_{s,e} = \frac{TSR,TW24 * ISV}{1000} =$$

$$h_{s,e} = \frac{4,27 * 100}{1000} = 0,43 \text{ m}$$

Absolute Schlamm Spiegelhöhe beim Absetzbeginn:

$$HW_{0,TW24} = \frac{H_{min}}{1 - f_A} = \quad \quad \quad m$$

$$HW_{0,TW24} = \frac{4,77}{1 - 0,15} = \quad \quad \quad 5,57 \text{ m}$$

Verlaufparameter der e-Funktion:

$$a = \frac{725}{HW_{0,0} * (1 - VSV/1000) * (VSV - 100)}$$

$$a = \frac{725}{5,57 * (1 - 427/1000) * (427 - 100)} = 0,69 \quad m/h$$

Sedimentationslinie:

$$HS = HW_{0,0} * [hs,e + (1 - hs,e) * e^{-a(t-t_{Flock})}]$$

Abzugshöhe unter dem Wasserspiegel: = 0,20 m

Beginn Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges: HW₀ = 5,57 m

Schlamm Spiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges:

$$HS = 5,57 * [0,43 + (1 - 0,43) * e^{-0,69(0 - 0,17)}] = 4,17 \quad m$$

Klarwasserhöhe: 1,40 m

Differenz: 5,57 - 0,20 - 4,17 = 1,20 m

Minstdifferenz: 0,84 m

Ende Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Ende des Klarwasserabzuges: WT_{min} = 4,76 m

Schlamm Spiegel zu Ende des Klarwasserabzuges:

$$HS = 5,57 * [0,43 + (1 - 0,43) * e^{-0,69(2 - 0,17)}] = 3,27 \quad m$$

Klarwasserhöhe: 1,49 m

Differenz: 4,76 - 0,20 - 3,27 = 1,28 m

Minstdifferenz:

0,71 m

3. 2 Trockenwetterzufluss

Erforderliches Volumen

$$V_{R,TW} = V_{min} + Q_{TW} \cdot t_{z,TW}$$

$$V_{R,TW} = 1.435,6 + 61,2 \cdot 8 = 1.925,21 \text{ m}^3$$

$$TS_{R,TW} = \frac{TS_{min} \cdot V_{min}}{V_{R,TW}}$$

$$TS_{R,TW} = \frac{5,00 \cdot 1.435,6}{1.925,21} = 3,73 \text{ kg/m}^3$$

Vergleichsschlammvolumen:

$$V_{SV,TW} = TS_{R,TW} \cdot ISV$$

$$V_{SV,TW} = 3,73 \cdot 100 = 372,85 \text{ l/m}^3$$

Volumenaustauschverhältnis

$$f_{A,TW} = 1 - \frac{V_{min}}{V_{R,TW}}$$

$$f_{A,TW} = 1 - \frac{1.435,61}{1.925,21} = 0,25$$

Relative Endschlamm Spiegelhöhe:

$$h_{s,e} = \frac{TS_{R,TW} \cdot ISV}{1000} =$$

$$h_{s,e} = \frac{3,73 \cdot 100}{1000} = 0,37 \text{ m}$$

Absolute Schlamm Spiegelhöhe beim Absetzbeginn:

$$H_{W0,TW} = \frac{H_{min}}{1 - f_A} = \text{m}$$

$$HW_{0,TW} = \frac{4,77}{1 - 0,25} = 6,39 \text{ m}$$

Verlaufparameter der e-Funktion:

$$a = \frac{725}{HW_{0,TW} * (1 - VSV/1000) * (VSV - 100)}$$

$$a = \frac{725}{6,39 * (1 - 373/1000) * (373 - 100)} = 0,66 \text{ m/h}$$

Sedimentationslinie:

$$HS = HW_{0,TW} * [hs,e + (1 - hs,e) * e^{-a(t - t_{Flock})}]$$

Abzugshöhe unter dem Wasserspiegel: = 0,20 m

Beginn Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges: $HW_0 = 6,38 \text{ m}$

Schlamm Spiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges:

$$HS = 6,38 * [0,37 + (1 - 0,37) * e^{-0,66(0 - 0,17)}] = 4,69 \text{ m}$$

Klarwasserhöhe: 1,69 m

Differenz: $6,38 - 0,20 - 4,69 = 1,49 \text{ m}$

Minstdifferenz: 0,96 m

Ende Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Ende des Klarwasserabzuges: $WT_{min} = 4,76 \text{ m}$

Schlamm Spiegel zu Ende des Klarwasserabzuges:

$$HS = 6,38 * [0,37 + (1 - 0,37) * e^{-0,66(2 - 0,17)}] = 3,57 \text{ m}$$

Klarwasserhöhe: 1,19 m

Differenz: $4,76 - 0,20 - 3,57 = 0,99 \text{ m}$

Minstdifferenz: 0,96 m

3.3 Regenwetterzufluss**Erforderliches Volumen**

$$V_{R,RW} = V_{min} + Q_{RW} * t_{z,RW}$$

$$V_{R,RW} = 1.435,6 + 107,1 * 6 = 2.078,21 \text{ m}^3$$

$$TS_{R,RW} = \frac{TS_{min} * V_{min}}{V_{R,RW}}$$

$$TS_{R,RW} = \frac{5,00 * 1.435,6}{2.078,21} = 3,45 \text{ kg/m}^3$$

Vergleichsschlammvolumen:

$$V_{SV,RW} = TS_{R,RW} * ISV$$

$$V_{SV,RW} = 3,45 * 100 = 345,40 \text{ l/m}^3$$

Volumenaustauschverhältnis

$$f_{A,RW} = 1 - \frac{V_{min}}{V_{R,RW}}$$

$$f_{A,RW} = 1 - \frac{1.435,61}{2.078,21} = 0,31$$

Relative Endschlamm Spiegelhöhe:

$$h_{s,e} = \frac{TS_{R,RW} * ISV}{1000} =$$

$$h_{s,e} = \frac{3,45 * 100}{1000} = 0,35 \text{ m}$$

Absolute Schlamm Spiegelhöhe beim Absetzbeginn:

$$H_{W0,RW} = \frac{H_{min}}{1 - f_A} = \text{m}$$

$$H_{W0,RW} = \frac{4,77}{1 - 0,31} = 6,90 \text{ m}$$

Verlaufsparemeter der e-Funktion:

$$a = \frac{725}{HW_{0,0} * (1-VSV/1000) * (VSV - 100)}$$

$$a = \frac{725}{6,90 * (1-345/1000) * (345 - 100)} = 0,65 \quad \text{m/h}$$

Sedimentationslinie:

$$HS = HW_{0,0} * [hs,e + (1-hs,e) * e^{-a(t-t_{Flock})}]$$

Abzugshöhe unter dem Wasserspiegel: = 0,20 m

Beginn Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges: HW0 = 6,89 m

Schlamm Spiegel zu Beginn des Klarwasserabzuges:

$$HS = 6,89 * [0,35 + (1-0,35) * e^{-0,65(0-0,17)}] = 5,00 \quad \text{m}$$

Klarwasserhöhe: 1,89 m

Differenz: 6,89 - 0,20 - 5,00 = 1,69 m

Minstdifferenz: 1,03 m

Ende Klarwasserabzug

Wasserspiegel zu Ende des Klarwasserabzuges: WTmin = 4,76 m

Schlamm Spiegel zu Ende des Klarwasserabzuges:

$$HS = 6,89 * [0,35 + (1-0,35) * e^{-0,65(2-0,17)}] = 3,74 \quad \text{m}$$

Klarwasserhöhe: 1,02 m

Differenz: 4,76 - 0,20 - 3,74 = 0,82 m

Minstdifferenz: 0,71 m

3. 4 Übersicht

	QW24	QW	QRW
tZ h	8,00	8,00	6,00

tR h	6,00	6,00	4,00
Vmax m3	1680,61	1925,21	2078,21
fA	0,15	0,25	0,31
TSR	4,27	3,73	3,45

4. Überschussschlammanfall

Pro Zyklus abzuziehende Masse an Überschussschlamm:

$$V_{\text{ÜS}} \cdot TS_{\text{ÜS}} = \frac{V_R \cdot TSR \cdot t_R}{t_{TS} \cdot 24} = 89,73 \text{ kgTS/Zyklus}$$

Täglich anfallende Masse an Überschussschlamm: $\text{ÜSd} = 269,18 \text{ kg/d}$

Kontrollrechnung: $\text{ÜSd} = B_{d,CSB} \cdot \text{ÜSC,CSB} = 269,18 \text{ kg/d}$

Trockensubstanzkonzentration am Ende der Klarwasserabzugsphase:

$$TS_{\text{ÜS}} > 1000/\text{ISV} = 10,00 \text{ kg/m}^3$$

Abzuziehendes Schlammvolumen pro Zyklus: $8,97 \text{ m}^3/\text{Zyklus}$

5. Phosphatelimination

Ermittlung der zu fällenden Phosphatfracht

		mg/l	kg/d
P-Konzentration Zulauf	CP,Z	10,36	7,61
P-Konzentration Zulauf Belebung	CP,ZB	10,36	7,61
Biologisch gebundener Phosphor	XP,BM	3,45	2,54
Biologische P-Elimination	XP,BioP	0,00	0,00
P-Konzentration (Ablauf)	CP,AN	2,00	1,47

Zu fällender Phosphor

$$XP_{\text{Fäll}} = CP_{\text{ZB}} - CP_{\text{AN}} - XP_{\text{BM}} - XP_{\text{BioP}} \quad [\text{mg/l}]$$

Zulaufende Fracht: $7,61 \text{ kg/d}$

In die Biomasse eingebauter Phosphor XP,BM: $0,005 \text{ kg/kg}$

Ablaufende P-Fracht (2,0 mg/l): $1,47 \text{ kg/d}$

Zu fällende P-Fracht (Auslegung): 3,60 kg/d

Erforderliche tägliche Fällmittelmenge

Fällmittel: FeCl3

Molverhältnis: $\beta = 1,50 \text{ molFe/molP}$
 Verhältnis der Molekulargewichte: $\text{Fe/P} = 1,80$
 Notwendige Eisenmenge (Auslegung): $\text{PO4-P} * \text{Fe/P} * \beta = 9,73 \text{ kg/d}$

Tägliche Dosiermenge (40 % Eisenchloridlösung): 71,00 kg/d

Dichte der Lösung: $\rho = 1,50 \text{ kg/l}$

Erforderliche Eisensalzmenge (Auslegung): 47,33 l/d

Überschussschlammanfall aufgrund der Phosphatelimination

Spezifischer Überschussschlammanfall: $\text{üsP} = 0,048 \text{ kgTS/kgCSB}$
 Täglicher Überschussschlammanfall: 24,52 kg/d
 Anteil der TS am Belebtschlamm: $\text{TSp} = 3,92 \text{ kg/m}^3$

Gesamte Überschussschlammproduktion:

$$\text{ÜSd} = \text{ÜSd,C} + \text{ÜSd,P} = 269,18 \text{ kg/d}$$

6. Stickstoffelimination

Stickstoffbilanz		kg/d	mg/l
TKN (Zulauf)	CTKN,ZB	46,53	63,31
Nitrat-N (Zulauf)	SNO3,ZB	0,00	0,00
N-Inkorporation (Biomasse)	XorgN,BM	4,77	6,50
N-Einlagerung	XorgN,inert	4,11	5,60
Ammonium-N (Ablauf)	SNH4-N,AN	0,00	0,00
organisch-N (Ablauf)	CorgN,AN	1,47	2,00
Ammonium-N (nitrifizierbar)	SNH4-N	36,17	49,22
Nitrat-N (Ablauf)	SNO3,AN	4,41	6,00
Zu denitrifizierendes Nitrat	SNO3,D	31,76	43,22

Die Belüftung wird auf Denitrifikation ausgelegt.

Volumenaustauschverhältnis (Trockenwetter): $f_{A,TW} = 0,25$
 Anzahl der Schübe: $z = 3$

Nitrat im Ablauf aufgrund der Massenbilanz:

$$S_{NO3,AN} = \frac{S_{NH4,N} * f_{A,TW}}{z}$$

$$S_{NO3,AN} = \frac{49,22 * 0,25}{3,00} = 4,17 \text{ mg/l}$$

Nitrat-N im Ablauf $S_{NO3,AN}$ (gefordert): $6,00 \text{ mg/l}$

zu denitrifizierendes Nitrat: $S_{NO3,D} = 45,05 \text{ mg/l}$

Säurekapazität

Säurekapazität im Zulauf: $K_{So} = 8,00 \text{ mmol/l}$
 Ammonium-N im Zulauf: $NH_4\text{-No} = 31,66 \text{ mg/l}$
 Ammonium-N im Ablauf: $NH_4\text{-Ne} = 0,00 \text{ mg/l}$
 Nitrat-N im Ablauf: $NO_3\text{-Ne} = 6,00 \text{ mg/l}$
 Eisenkonzentration: $Fe_3 = 13,23 \text{ mg/l}$
 Gefällter Phosphor: $Po\text{-Pe} = 4,90 \text{ mg/l}$

$$K_{Se} = K_{So} - [0,07 * (NH_4\text{No} - NH_4\text{Ne} + NO_3\text{Ne}) + 0,06 * Fe_3 + 0,11 * Al_3 - 0,03 * (Po\text{-Pe})]$$

Theoretische Säurekapazität im Ablauf: $K_{Se} = 4,72 \text{ mmol/l}$

Der von der DWA vorgegebene Minimalwert der verbleibenden Säurekapazität im Ablauf der Belebungsanlage von $1,5 \text{ mmol/l}$ wird nicht unterschritten.

7. Belüftung

7.1 Sauerstoffbedarf / Intermittierende Denitrifikation

Die Berechnung des Sauerstoffbedarfs erfolgt über eine Bilanzierung nach DWA-M 229-1.

- Lastfall 0 = Bemessung
- Lastfall 1 = Mittlerer Luftbedarf
- Lastfall 2 = Luftbedarf für die Bemessung des Belüftungssystems
- Lastfall 3 = Minimaler Luftbedarf
- Lastfall 4 = Prognose
- Lastfall 5 = -----

Stickstoffbilanz

Lastfall	CTKN,ZB	SNO3,ZB	SNH4-N,AN	XorgN,BM	XorgN,inert,BM
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
0	63,31	0,00	0,00	6,50	5,60
1	63,31	0,00	0,00	4,47	5,77
2	63,31	0,00	0,00	3,99	5,81
3	63,31	0,00	0,00	4,47	5,77
4	63,31	0,00	0,00	5,44	5,69
5	---	---	---	---	---

Parameter Biologie

Erforderliches aerobes Schlammalter:

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

Prozessfaktor:

PF

Reaktionstemperatur:

T [°C]

Denitrifikationsverhältnis

$$VD/VBB_{max} = 1 - t_{TS,aerob} / t_{TS}$$

SNO3,D1 : Zu denitrifizierendes Nitrat, Ablaufanforderungen

SNO3,D2 : denitrifiziertes Nitrat, aufgrund der gewählten Denitrifikationskapazität

SNO3,D3 : denitrifiziertes Nitrat, tatsächlich

VD/V2 : Denitrifikationsverhältnis, gewählt

$$SNO3,D1 = CTKN,ZB + SNO3,ZB - SorgN,AN - SNH4-N,AN - SNO3,AN - XorgN,BM \quad [mg/l]$$

$$SNO3,D2 = \text{Denitrifikationskapazität} * CCSB,ZB \quad [mg/l]$$

$$SNO3,D3 = CTKN,ZB + SNO3,ZB - SorgN,AN - SNH4-N,AN - SNO3,AN,tatsächlich - XorgN,BM \quad [mg/l]$$

Nitratkonzentration im Ablauf SNO3,AN, gewähltes Denitrifikationsverhältnis

$$SNO3,AN = CTKN,ZB - SorgN,AN - SNH4-N,AN - XorgN,BM - SNO3,D3$$

Lastfall	Belastung	TW	TSBB	üsd	tTS	PF	tTS,aerob	tTS,aerob2
	%	°C	kg/m³	kg/dCSB	d		d	d
0	100,0	12,00	5,00	269,2	20,00	1,60	7,30	
1	80,0	15,00	5,00	204,9	26,27	1,60	5,44	14,97
2	100,0	20,00	5,00	253,1	21,27	1,60	3,33	12,15
3	80,0	15,00	5,00	204,9	26,27	1,60	5,44	14,97
4	100,0	15,00	5,00	262,4	20,51	1,60	5,44	11,62
5	---	---	---	---	---	---	---	---

Lastfall	VD/VBBmax	VD/V2	SNO3,Dist	SNO3,AN	x
----------	-----------	-------	-----------	---------	---

	-	-	mg/l	mg/l	
0	0,440	0,440	43,22	6,00	1,01
1	0,793	0,430	45,11	5,96	1,00
2	0,843	0,429	45,55	5,95	1,00
3	0,793	0,430	45,11	5,96	1,00
4	0,735	0,434	44,22	5,96	1,00
5	---	---	---	---	---

Sauerstoffbedarf

Sauerstoffverbrauch für die Kohlenstoffelimination

$$OVC = CCSB,abb,ZB + CCSB,dos - XCSB,BM - XCSB,inert,BM \quad [mg/l]$$

$$OVd,C = \frac{Qd,konz * OVC}{1000} \quad [kgO2/d]$$

$$XCSB,BM = \frac{(CCSB,abb,ZB * Y + CCSB,dos * YCSB,Dos)}{1 + b * tTS * FT} \quad [mg/l]$$

$$XCSB,inert,BM = 0,2 * XCSB,BM * tTS * b * FT \quad [mg/l]$$

Sauerstoffverbrauch für die Nitrifikation

$$OVd,N = \frac{Qd * 4,3 * (SNO3,D - SNO3,ZB + SNO3,AN)}{1000} \quad [kgO2/d]$$

SNO3 Konzentration des Nitratstickstoffs mg/l
in der filtrierten Probe als N

Sauerstoffverbrauch für die Denitrifikation

$$OVd,D = \frac{Qd * 2,86 * SNO3,D}{1000} \quad [kgO2/d]$$

Sauerstoffbedarf für die verschiedenen Lastfälle OVh

$$OVh = \frac{(OVd,C - OVd,D) * fC + OVd,N * fN}{24} \quad [kgO2/h]$$

Für die Lastfälle 2 und 3 gilt:

Lastfall 2: fC, fN aus Tabelle 8, A131

Lastfall 3, minimaler Sauerstoffverbrauch

$$OV_{hmin} = \frac{OV_{d,C}}{(3,92 / (t_{TS} * 1,072^{(TW-15)}) + 1,66) * 24} \quad [\text{kgO}_2/\text{h}]$$

Lastfall 3, alternativ bei signifikantem Nachtzufluss

$$OV_h = \frac{(OV_{d,C} - OV_{d,D}) * f_{C,min} + OV_{d,N} * f_{N,min}}{24} \quad [\text{kgO}_2/\text{h}]$$

Erhöhungsfaktor für intermittierende Belüftung:

$$f_{int} = \frac{1}{1 - VD/VBB}$$

Lastfall	XCSB,BM mg/l	XCSB,inert,BM mg/l	ÜSC kg/d	OVC,la mg/l	OVCD mg/l	OVC mg/l
0	92,79	51,22	244,66	0,00	124,32	376,71
1	63,83	57,01	185,30	0,00	129,01	399,88
2	57,01	58,37	228,55	0,00	130,28	405,33
3	63,83	57,01	185,30	0,00	129,01	399,88
4	77,75	54,23	237,89	0,00	126,47	388,75
5	---	---	---	---	---	---

Lastfall	OV _{d,C} kgO ₂ /d	OV _{d,N} kgO ₂ /d	OV _{d,D} kgO ₂ /d	OV _h kgO ₂ /h	f _C	f _N	f _{int}
0	276,88	155,55	90,85	14,23	1,00	1,00	1,79
1	235,13	129,13	75,86	12,02	1,00	1,00	1,75
2	297,92	162,79	95,76	20,90	1,12	1,69	1,75
3	235,13	129,13	75,86	15,37	1,10	1,50	1,75
3			OV _{hmin} =	5,42			
4	285,73	158,59	92,96	18,75	1,10	1,50	1,77
5	---	---	---	---	---	---	---

Sauerstoffbedarf OV_h, und notwendige Sauerstoffzufuhr SOTR

$$SOTR = \frac{f_d * \beta_{St} * C_{S,20} * f_{ST,ST}}{\alpha * f_S * \alpha * (f_d * \beta_{\alpha} * C_{s,T} * (P_{atm}/1.013) - C_x) * \Theta^{(T-20)}} \quad * OV_h * f_{int} * f_{SBR} * 24$$

[kgO₂/h]

$$f_{SBR} = \frac{1}{mZ * tR} = 0,06$$

mZ Zyklus Anzahl

tR Dauer der Reaktionsphase

βSt Salzfaktor Sauerstoffsättigungswert in Reinwasser
 βα Salzfaktor Sauerstoffsättigungswert unter Betriebsbedingungen
 fSt,ST Salzfaktor Belüftungskoeffizient in Reinwasser
 fS,α Salzfaktor Belüftungskoeffizient unter Betriebsbedingungen
 cS,20 Sauerstoffsättigung bei 20°C [mg/l]
 cS,T Sauerstoffsättigung bei Bemessungstemperatur [mg/l]
 cx Betrieb Sauerstoffkonzentrationen [mg/l]
 Θ Temperaturfaktor, 1,024

Salzfaktor	βSt	βα	fSt,ST	fS,α
	1,00	1,00	1,00	1,00

Lastfall	tL	α	cS,T	cx	SOTR
	h/d		mg/l	mg/l	kgO2/h
0	10,08	0,85	10,78	1,50	46,44
1	10,26	0,85	10,09	1,50	38,66
2	10,29	0,65	9,10	1,50	87,62
3	10,26	0,85	10,09	1,50	49,46
4	10,19	0,65	10,09	1,50	79,39
5	---	---	---	---	---

Notwendige Luftmenge

$$Q_{L,N} = \frac{1000 * SOTR}{SSOTR * hD} \quad [mN3/h]$$

Umrechnung von Normbedingungen auf Ansaugbedingungen
 Atmosphärischer Druck

$$patm = \left(\frac{288 - 0,0065 * h_{geo}}{288} \right)^{5.255} * 1013,25 = 994,41 \text{ [hPa]}$$

Ansaugdruck

$$p_{1,abs} = patm - \Delta p_1$$

Sättigungsdampfdruck

$$p_s = 6,112 * \text{EXP}((17,62 * T_{L1}) / (243,12 + T_{L1})) \quad [\text{hPa}]$$

Ansaugvolumenstrom Q1

$$Q_1 = \frac{(T_N + T_{L1}) * p_N * Q_{L,N}}{T_N * (p_{1,abs} - \varphi * p_s)} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

Q1	Ansaugvolumenstrom	m ³ /h
TN	Normtemperatur	273,15 k
TL,1	Ansaugtemperatur, Standardwert	30°C
pN	Normluftdruck	1.013,25 hPa (1hPa = 1 mbar)
φ	relative Luftfeuchte	0,3

Lastfall	SSOTR	hD	QL,N
	gO2/(mN3*m)	m	mN3/h
0	18,00	6,59	391,48
1	18,00	6,59	325,95
2	18,00	6,59	738,67
3	18,00	6,59	416,92
4	18,00	6,59	669,24
5	---	---	---

Luftmenge für die Bemessung der Belüftungseinrichtung, Lastfall 2

Kapazität der gewählten Gebläse :

QL,N (pro Becken):	817,20	m ³ /h
QL,N (Gesamt: 1 Becken):	817,20	m ³ /h
Q1 (pro Becken):	968,35	m ³ /h
Q1 (Gesamt: 1 Becken):	968,35	m ³ /h

Gegendruck für die Auslegung der Gebläse Gebläseauswahl 1: 900,00 mbar

Berechnung für verschiedene Lastfälle gemäß DWA-A 131

		T-bem	V1	V2
Temperatur	°C	12,00	15,00	
Trockensubstanzkonzentration	kg/m ³	5,00	5,00	
TKN-Konzentration im Zulauf CTKN,ZB	mg/l	63,31	63,31	
Nitrat-N im Zulauf SNO3,ZB	mg/l	0,00	0,00	
Ammonium-N im Ablauf SNH4-N,AN	mg/l	0,00	0,00	
Organisch-N im Ablauf SorgN,AN	mg/l	2,00	2,00	

N-Inkorporation in der Biomasse XorgN,BM	mg/l	6,50	5,44	
Zu denitrifizierendes Nitrat SNO3,D	mg/l	43,22	44,18	
Zu denitrifizierendes Nitrat SNO3,Dist	mg/l	43,22	44,22	
Nitrat-N im Ablauf SNO3,AN	mg/l	6,00	5,96	
Gesamtschlammalter tTS	d	20,00	20,51	
Stoßfaktor fC		1,00	1,10	
Stoßfaktor fN		1,00	1,50	
VD/VBB max		0,440	0,735	
VD/VBB gewählt		0,440	0,434	
Belüftungszeit tL	h/d	10,08	10,19	
OVd,C	kgO2/d	276,88	285,73	
OVd,N	kgO2/d	155,55	158,59	
OVd,D	kgO2/d	90,85	92,96	
OVh	kgO2/h	14,23	18,75	
cx	mg/l	1,50	1,50	
α		0,85	0,65	
Sauerstoffzufuhr SOTR	kgO2/h	46,44	79,39	
QL	m³/h	391,48	669,24	

		aM	max	min
Temperatur	°C	15,00	20,00	15,00
Trockensubstanzkonzentration	kg/m³	5,00	5,00	5,00
TKN-Konzentration im Zulauf CTKN,ZB	mg/l	63,31	63,31	63,31
Nitrat-N im Zulauf) SNO3,ZB	mg/l	0,00	0,00	0,00
Ammonium-N im Ablauf SNH4-N,AN	mg/l	0,00	0,00	0,00
Organisch-N im Ablauf SorgN,AN	mg/l	2,00	2,00	2,00
N-Inkorporation in der Biomasse XorgN,BM	mg/l	4,47	3,99	4,47
Zu denitrifizierendes Nitrat SNO3,D	mg/l	45,07	45,51	45,07
Zu denitrifizierendes Nitrat SNO3,Dist	mg/l	45,11	45,55	45,11
Nitrat-N im Ablauf SNO3,AN	mg/l	5,96	5,95	5,96
Gesamtschlammalter tTS	d	26,27	21,27	26,27
Stoßfaktor fC		1,00	1,12	1,10
Stoßfaktor fN		1,00	1,69	1,50
VD/VBB max		0,793	0,843	0,793

VD/VBB gewählt		0,430	0,429	0,430
Belüftungszeit tL	h/d	10,26	10,29	10,26
OVd,C	kgO2/d	235,13	297,92	235,13
OVd,N	kgO2/d	129,13	162,79	129,13
OVd,D	kgO2/d	75,86	95,76	75,86
OVh	kgO2/h	12,02	20,90	15,37
cx	mg/l	1,50	1,50	1,50
α		0,85	0,65	0,85
Sauerstoffzufuhr SOTR	kgO2/h	38,66	87,62	49,46
QL	m ³ /h	325,95	738,67	416,92

7.2 Technische Ausrüstung

Belüftung

Verdichter: Drehkolbengebläse

Maschinendaten

Anzahl der Aggregate:	2 Stück
Fördermenge je Aggregat pro Becken:	408,60 m ³ /h
Fördermenge gesamt pro Becken:	817,20 m ³ /h
Fördermenge gesamt (1 Becken):	817,20 m ³ /h
Nennleistung:	18,50 kW
Leistungsaufnahme:	14,70 kW
Gegendruck:	900,0 mbar

Belüftung: Membranbelüfter

Maximale Belüfterbeaufschlagung:	7,50 m ³ /(m*h)
Notwendige Gesamtlänge:	108,96 m
Anzahl Belüftergitter:	4 Stück
Anzahl Belüfterkerzen je Gitter:	28 Stück
Effektive Belüfterlänge, je Kerze:	1,00 m
Effektive Gesamtlänge:	112,00 m