

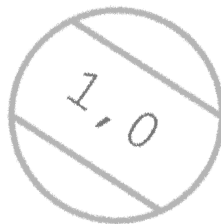
Entwurf einer Kläranlage

cand.-ing. Arne Battermann, 115791

cand.-ing. Steffen Macke, 115775

29. März 2001

Studiengang Wasserwirtschaft und Kulturtechnik - Vertiefungsrichtung
Siedlungswasserwirtschaft



Inhaltsverzeichnis

1	Abwasserbehandlung	5
1.1	Maßgebende Mengen und Frachten	5
1.1.1	Tagesabwassermengen	5
1.1.2	Stundenabwassermengen	5
1.1.3	Regenwetterfall	5
1.1.4	Frachten	5
1.1.5	Nährstoffverhältnisse	7
1.2	Konzentrationsaufhöhung im Gewässer	7
1.2.1	Grundlagen	7
1.2.2	Berechnung	7
1.3	Erläuterungsbericht	9
1.3.1	Situation	9
1.3.2	Bestehende Verhältnisse	9
1.3.3	Randbedingungen des Ausbaues	9
1.3.4	Grundsätze	10
1.4	Verfahrenskonzept	10
1.4.1	Bauablauf	12
1.4.2	Aufrechterhaltung des Betriebes bei Betriebsstörungen	14
1.5	Dimensionierung	14
1.5.1	Ausgleichsbecken	14
1.5.2	Vorklärung	15
1.5.3	Nachklärung	16
1.5.4	Anaerobbecken	21
1.5.5	Denitrifikation	21
1.5.6	Nitrifikation	23

1.5.7	Belüftung	27
1.5.8	Nachweis der Säurekapazität	28
1.5.9	Nachweis des pH-Wertes	29
1.6	Massenermittlung Nachklärbecken III	29
1.7	Kostenberechnung Nachklärbecken III	32
1.8	Jahresenergiebedarf	32
2	Schlammbehandlung	33
2.1	Maßgebende Rohschlammfrachten und -mengen	33
2.1.1	Primärschlamm	33
2.1.2	Überschußschlamm	33
2.1.3	Summe der Rohschlämme	34
2.2	Anaerobe Schlammstabilisierung	34
2.2.1	Faulschlammbehältervolumen	35
2.2.2	Feststoffbilanz	35
2.2.3	Faulgasanfall	35
2.2.4	Gasspeicher	36
2.2.5	Energetischer Wert des Faulgases	36
2.2.6	Wärmebedarf des Behälters	36
2.2.7	Auslegung eines Blockheizkraftwerkes zur Energierückgewinnung	37
2.3	Maschinelle Faulschlammentwässerung	38
2.4	Schlamm lager	39
2.5	Erforderliche landwirtschaftliche Flächen	39
A	Verwendete Software	42
B	Grundfließbild Abwasserbehandlung	43

C	Verfahrensfließbild Abwasserbehandlung	44
D	Lageplan	45
E	Nachklärbecken	46
F	Grundfließbild Schlammbehandlung	47

1 Abwasserbehandlung

1.1 Maßgebende Mengen und Frachten

1.1.1 Tagesabwassermengen

$$Q_{h,d} = Q_s \cdot 30000E = 125 \frac{l}{E \cdot d} \cdot 30000E = 3750 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{f,d} = \frac{1}{2} \cdot Q_s = 1875 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{g,d} = 30 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{10h}{d} \cdot \frac{5d}{7d} = 214 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{t,d} = Q_{g,d} + Q_{h,d} + Q_{f,d} = 5839 \frac{m^3}{d}$$

1.1.2 Stundenabwassermengen

$$Q_{h,h} = \frac{Q_{h,d} \cdot d}{15h} = 250 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{f,h} = \frac{Q_{f,d} \cdot d}{24h} = 78 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{g,h} = \frac{Q_{g,d} \cdot d}{24h} = 9 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{t,h} = Q_{h,h} + Q_{f,h} + Q_{g,h} = 337 \frac{m^3}{h}$$

1.1.3 Regenwetterfall

Nach [2]:

$$Q_{m,d} = 2 \cdot Q_s + Q_f = Q_{t,d} + Q_{h,d} = 9589 \frac{m^3}{d}$$

$$Q_{m,h} = 2 \cdot Q_s + Q_f = Q_{t,h} + Q_{h,h} = 587 \frac{m^3}{d}$$

1.1.4 Frachten

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die im häuslichen Abwasser enthaltenen Frachten. Die Frachten wurden [2] entnommen.

Tabelle 2 enthält die Frachten und Konzentrationen im gewerblichen Abwasser.

Tabelle 3 enthält die Gesamtfrachten und -konzentrationen inklusive der Erhöhung durch das Trübwasser aus dem Schlammstapelbehälter (s. 1.3.2).

Parameter	spezifische Fracht	Tagesfracht
	$\frac{g}{E \cdot d}$	$\frac{kg}{d}$
<i>BSB₅</i>	60	1800
<i>CSB</i>	120	3600
<i>TS₀</i>	70	2100
<i>N_{ges}</i>	11	330
<i>N_{org}</i>	4,4	132
<i>NH₄ - N</i>	6,6	198
<i>P</i>	2,5	75

Tabelle 1: Frachten im häuslichen Abwasser

Parameter	<i>c_o</i>	Tagesfracht
	$\frac{mg}{l}$	$\frac{kg}{d}$
<i>BSB₅</i>	1200	257
<i>CSB</i>	2300	492
<i>TS₀</i>	600	128
<i>N_{ges}</i>	150	32
<i>N_{org}</i>	50	11
<i>NH₄ - N</i>	100	21
<i>P</i>	30	6

Tabelle 2: Frachten im gewerblichen Abwasser

Parameter	Tagesfracht Zulauf	Faktor	Gesamtfracht	Konzentration
	$\frac{kg}{d}$	-	$\frac{kg}{d}$	$\frac{mg}{l}$
<i>BSB₅</i>	2057	1,05	2160	370
<i>CSB</i>	4092	1,05	4297	735
<i>TS₀</i>	2228	1,05	2339	401
<i>N_{ges}</i>	362	1,10	398	68
<i>N_{org}</i>	143	1,10	157	27
<i>NH₄ - N</i>	219	1,10	241	41
<i>P</i>	81	1,05	85	15

Tabelle 3: Gesamtfrachten und -konzentrationen

1.1.5 Nährstoffverhältnisse

Abwasser biologisch abbaubar:

$$\frac{CSB}{BSB_5} = \frac{735}{370} = 1,98 < 2,0$$

Verhältnis Trockensubstanzgehalt zu BSB_5 :

$$\frac{TS_0}{BSB_5} = \frac{401}{370} = 1,1$$

Ausreichend Stickstoff, unproblematische Denitrifikation:

$$\frac{TKN}{BSB_5} = \frac{68}{370} = 0,18 < 0,25$$

Gute Bedingungen für die biologische Phosphat-Eliminierung:

$$\frac{P}{BSB_5} = \frac{15}{370} = 0,041$$

1.2 Konzentrationsaufhöhung im Gewässer

1.2.1 Grundlagen

Umrechnung der Konzentrationen in Frachten:

$$B = \frac{c \cdot Q \cdot 86400}{1.000.000}$$

1.2.2 Berechnung

Wie aus Tabelle 3 hervorgeht, handelt es sich bei der Abwasserbehandlungsanlage um die Größenklasse 4, da die BSB_5 -Fracht bei 2160 kg/d liegt (vergl. Tabelle 4).

Größenklasse	CSB $\frac{mg}{l}$	BSB_5 $\frac{mg}{l}$	$NH_4 - N$ $\frac{mg}{l}$	$N_{ges.}$ $\frac{mg}{l}$	$P_{ges.}$ $\frac{mg}{l}$
nach BSB_5 im Rohwasser					
1 $BSB_5 < 60kg/d$	150	40	-	-	-
2 $60kg/d < BSB_5 < 300kg/d$	110	25	-	-	-
3 $300kg/d < BSB_5 < 600kg/d$	90	20	10	-	-
4 $600kg/d < BSB_5 < 6000kg/d$	90	20	10	18	2
5 $6000kg/d < BSB_5$	75	15	10	18	1

Tabelle 4: Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle

In der Tabelle 4 nach [5] werden die Anforderungen an die Reinigungsleistung der Kläranlage dargestellt. Aus ihr resultieren die Frachten, dargestellt in der Tabelle 5, welche auf dem in 1.1.1 ermittelte Q_t basieren:

Anteil	Konzentration c	Fracht B_d
—	$\frac{mg}{l}$	$\frac{kg}{d}$
BSB_5	20	117
CSB	90	526
$NH_4 - N$	10	58
$N_{ges.}$	18	105
$P_{ges.}$	2	12

Tabelle 5: Anforderungen an Anlagen der Größenklasse 4

$$Q_t = 5839 \frac{m^3}{d} = 67,581 \frac{l}{s}$$

Die Tabelle 6 stellt die Frachten dar, welche sich bereits im Gewässer befinden. Es handelt sich um Überwachungswerte, die im Rahmen der Aufgabenstellung gegeben sind.

Anteil	Konzentration c	Fracht B_d
—	$\frac{mg}{l}$	$\frac{kg}{d}$
BSB_5	2	432
CSB	12	2592
$NH_4 - N$	0,7	151
$P_{ges.}$	0,05	11

Tabelle 6: Gewässerdaten

Die berechneten Frachten in Tabelle 6 beruhen auf einem MNQ von 2500 l/s.

In Tabelle 7 werden die Frachten und Wassermengen der Einleitung und des oberhalb der Einleitung liegenden Gewässers überlagert. Sie werden addiert im Anschluß daran werden die Konzentrationen für das Gewässer unterhalb der Einleitung gebildet.

Der Tabelle liegt eine Gesamtwassermenge von $2568 \frac{l}{s}$ zugrunde:

$$c = \frac{B \cdot 1.000.000}{Q \cdot 86400}$$

Anteil	Fracht	Konzentration c
—	$\frac{kg}{d}$	$\frac{mg}{l}$
BSB_5	549	2,5
CSB	3118	14,1
$NH_4 - N$	209	0,94
$P_{ges.}$	23	0,1

Tabelle 7: Überlagerung der Frachten

Wie aus Tabelle 7 hervorgeht, steigen die Konzentrationen im Fließgewässer um 20 bis 25 Prozent. Beim Gesamt-Phosphat steigt die Konzentration sogar um 100 Prozent.

1.3 Erläuterungsbericht

1.3.1 Situation

Die Kläranlage einer Samtgemeinde muß ausgebaut werden, um Abwasser aus neu angeschlossenen Teilgebieten, sowie aus neu angesiedelten Gewerbebetrieben aufzunehmen.

Als Überwachungswerte werden von der Behörde zukünftig die Mindestanforderungen für Kläranlagen der Größenklasse 4 gemäß Anhang 1 der AbwV gesetzt (s. Tabelle 4).

1.3.2 Bestehende Verhältnisse

Das Abwasser gelangt über den Zulauf der Kläranlage zunächst durch den Rechen, dann in den unbelüfteten Langsandfang.

Vom Langsandfang gelangt das Wasser in das Belebungsbecken I, dann in das Belebungsbecken II. Das BB I (Rundbecken) ist mit Membranbelüftung und getrennter Umwälzung ausgestattet. Zur Prozeßlufterzeugung sind zwei Drehkolbenverdichter mit einer Förderleistung von je 400 Nm³/h vorhanden. Das BB II (Umlaufbecken) ist mit drei Mammutrotoren ausgestattet. Es ist eine Rezirkulation von BBI in BBII möglich.

Die Nachklärung besteht aus zwei Rechteckbecken (400 und 750 m³) mit Schildräumer (ein Doppelräumer für beide Becken).

Der überschüssige Schlamm kommt in den Schlammstapelbehälter, dieser enthält ein Schlammumpumpwerk zur Befüllung von Tankwagen bzw. Güllefässern. Der Schlammstapelbehälter ist mit einer höhenverstellbaren Trübwasserentnahme ausgerüstet.

Das abgezogene Trübwasser wird in die Belebungsanlage zurückgeführt, dadurch erhöhen sich die TKN-Frachten um 10%, alle anderen Frachten um 5%.

1.3.3 Randbedingungen des Ausbaues

Alle vorhandenen Anlagenteile sind in gutem Zustand und können weiter genutzt werden, wo dies sinnvoll ist.

Für das gewerbliche Abwasser wird eine separate Druckleitung zur Kläranlage gelegt. Es wird bereits in den Betrieben gesiebt und enthält keine mineralische Partikel.

Die erweiterte Belebungsanlage soll vorzugsweise als vorgeschaltete Denitrifikation betrieben werden, es sei denn, die Einbindung vorhandener Bauwerke begünstigt eine andere Verfahrenstechnik.

Eine Vorklärung soll neu erstellt und in das Verfahren integriert werden.

Der Überschussschlamm soll zukünftig anaerob stabilisiert und flüssig zur landwirtschaftlichen Nutzung (TS < 8%) abgegeben werden. Das Stapelvolumen für den entwässerten Schlamm muß ausreichend sein, um die ausbringungsfreien Zeiten von mindestens 180 Tagen überbrücken zu können.

Bei der Ermittlung der Fällschlammmenge ist davon auszugehen, daß folgende P-Gehalte in die Bakterienmasse des Belebtschlammes eingebaut werden: ohne gezielte biologische P - Elimination 1%, mit gezielter biologischer P-Elimination 3%. Jeweils bezogen auf TS-ÜS.

Zur Bebauung sind folgende Flächen verfügbar:

- westlich der Nachklärbecken bis zum vorhandenen Zaun
- nördlich der Nachklärbecken ein 50m breiter Streifen
- östlich der Belebung II ein 50m breiter Streifen.

1.3.4 Grundsätze

Es ist ein wichtiger Grundsatz der Planung, die vorhandenen, leistungsfähigen Anlagen weiterhin zu verwenden. Durch die optimale Nutzung der vorhandenen Gegebenheiten lassen sich die Kosten für die Anlagenerweiterung minimieren.

Ein weiterer Grundsatz ist die Aufrechterhaltung des Betriebes während der Bauphase und während eventueller Betriebsstörungen.

Das Verfahrenskonzept berücksichtigt diese Grundsätze.

1.4 Verfahrenskonzept

Die vorgestellte Bemessung der Anlage erfolgte auf 30000 Einwohner - exklusive der gewerblichen Abwässer.

Um eine gleichmäßige Beschickung der Kläranlage mit den zukünftigen gewerblichen Abwässern zu gewährleisten, wird ein Ausgleichsbecken als abgedecktes Rundbecken neu errichtet. Es ermöglicht die Steuerung des gewerblichen Abwasseranfalls und gewährleistet die Überbrückung der arbeitsfreien Tage Samstag und Sonntag. Das Ausgleichsbecken wird mit einem Rührwerk ausgestattet. Zur Bemessung des Ausgleichsbeckens s. 1.5.1.

Die bestehende Siebanlage und der Sandfang sind ausreichend leistungsfähig, sie werden weiterhin genutzt. Aufgrund der Beschaffenheit der gewerblichen Abwässer (geseibt, keine mineralischen Partikel) wird es nach dem Sandfang mit dem häuslichen Abwasser gemischt. Die Dosierstation der zu erstellenden Phosphatfällung wird in den bestehenden Sandfang integriert. Als Fällmittel kommt Eisen(III)-Chloridsulfat zum Einsatz. Abschnitt 1.5.2 enthält die Details zur Phosphatfällung.

Das gesamte Abwasser gelangt anschließend in die neu erstellte Vorklärung. Das Vorklärbecken wird als horizontal durchströmtes Rechteckbecken ausgebildet. Bemessen wird die Vorklärung im Abschnitt 1.5.2.

Die Belebungsanlage wird umgebaut und ergänzt:

- Ein Anaerobbecken zur biologischen Phosphatelimination wird erstellt.
- Eine vorgeschaltete Denitrifikation wird eingerichtet.
- Die Nachklärung wird vergrößert

Das Anaerobbecken wird in Abschnitt 1.5.4 behandelt. Das Anaerobbecken wird der Denitrifikation vorgeschaltet. Es handelt sich um ein Rundbecken mit einem Volumen von 627 m³.

Die geplante Denitrifikation umfaßt das vorhandene Belebungsbecken I, sowie das erste Siebtel des vorhandenen Belebungsbeckens II. Die beiden Becken werden im Folgenden mit Deni I und II bezeichnet. Im Zuge des Umbaus werden die Belüftungselemente entfernt, die Umwälzeinrichtungen sind weiterhin leistungsfähig und bleiben bestehen. Durch diese Maßnahmen wird ein Denitrifikationsvolumen von 1966 m³ bereitgestellt. Details zur Denitrifikation unter 1.5.5.

Die verbleibenden sieben Sechstel des Belebungsbeckens II bilden das neue Nitrifikationsbecken I. Das Volumen beträgt 1194 m³. Um ausreichend Nitrifikationsvolumen bereitzustellen, wird das Nitrifikationsbecken II als Rundbecken mit einem Volumen von 2797 m³ neu erstellt. Im Zuge der Umbaumaßnahmen wird einer der vorhandenen

Mammutrotoren versetzt, zusätzlich wird ein weiterer Rotor mit einer Leistung von 15 kW installiert. Im Nitrifikationsbecken II kommen teilweise Belüftungselemente aus dem vorherigen Belebungsbecken I zum Einsatz. Einzelheiten zu den Nitrifikationsbecken finden sich im Abschnitt 1.5.6.

Das Druckluftnetz wird mit zwei zusätzlichen Verdichtern erweitert, um den gestiegenen Belüftungsbedarf erfüllen zu können. Die vorhandenen Verdichter bleiben im Einsatz. Weitere Einzelheiten s. 1.5.7.

Zusätzlich zu den vorhandenen Nachklärbecken I und II wird das Nachklärbecken III als Rundbecken mit einem Volumen von 1047 m³ erstellt. Details zur Bemessung s. 1.5.3.

Anlage B enthält das Grundfließbild, Anlage C das Verfahrensfließbild. Der Lageplan bildet Anlage D.

1.4.1 Bauablauf

Im Folgenden werden die wesentlichen Abschnitte des erwarteten Bauablaufes kurz dargestellt.

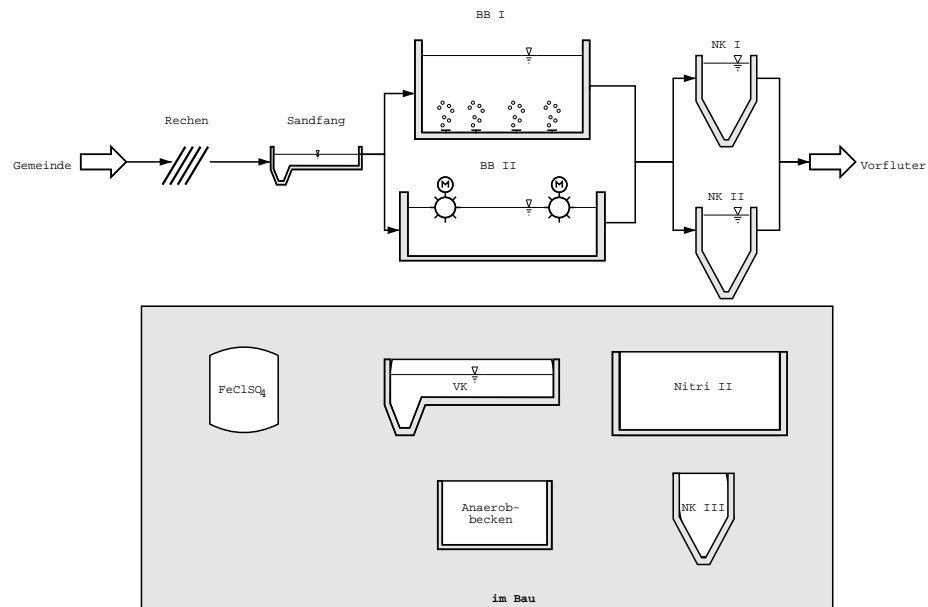


Abbildung 1: Erste Bauphase

In der ersten Bauphase läuft der Betrieb der Kläranlage im ursprünglichen Zustand weiter. Es werden die neuen Becken erstellt: Das Vorklärbecken, das Anaerobbecken, das Nitrifikationsbecken II sowie das Nachklärbecken III. Im Zuge dieser Bauphase kann es notwendig sein, Leitungen zu verlegen, um Platz für die Bauwerke zu schaffen. Die zusätzlichen Kompressoren werden installiert. Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die erste Bauphase.

In der zweiten Bauphase ist es möglich, das bisherige Belebungsbecken II zwecks Umbau aus dem Prozeß zu nehmen. Das neu erstellte Nitrifikationsbecken II übernimmt die Aufgabe des Belebungsbeckens II während dieser Bauphase. Die Vorklärung, das Anaerobbecken, die Fällmitteldosierstation und das zusätzliche Nachklärbecken III gehen in Betrieb. In der zweiten Phase wird auch das Ausgleichsbecken erstellt. Siehe auch Abbildung 2.

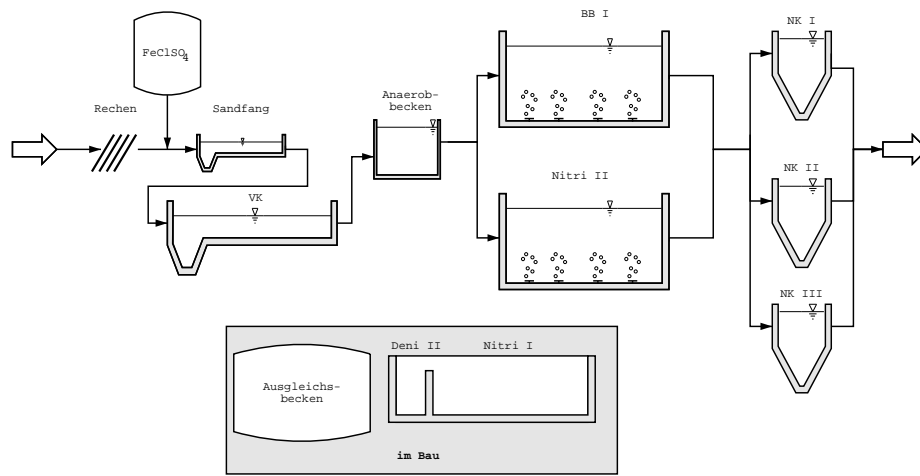


Abbildung 2: Zweite Bauphase

Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, erreicht die Kläranlage erst mit Vollendung der dritten Bauphase ihre volle Reinigungskraft. Das Ausgleichsbecken wird zusammen mit den umgebauten Becken Deni II/Nitri I in Betrieb genommen. Die Anlage ist damit fähig, den erhöhten Abwasseranfall aus Gewerbe und Gemeinde zu verarbeiten. Die Einlaufphase ist intensiv zu überwachen und kann für erste Optimierungsversuche, z.B. beim Fällmittelbedarf genutzt werden.

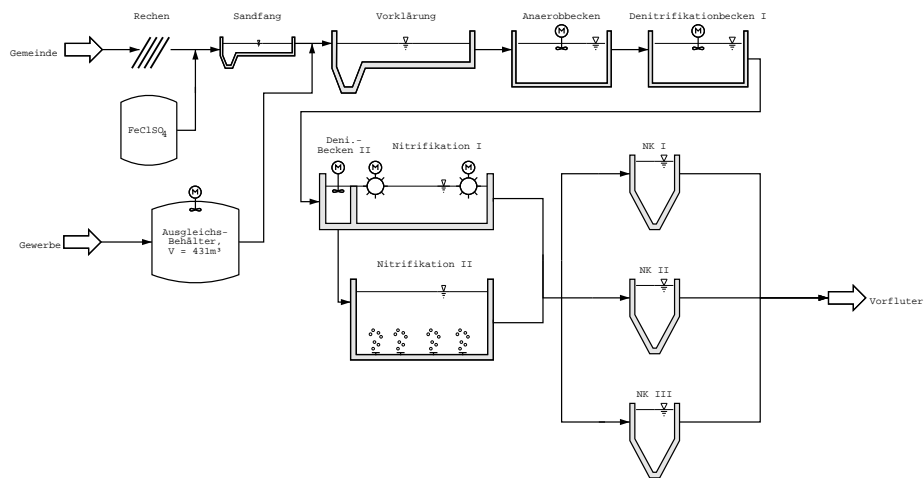


Abbildung 3: Dritte Bauphase

1.4.2 Aufrechterhaltung des Betriebes bei Betriebsstörungen

Bis auf Rechen, Sandfang Vorklärung und Anaerobbecken sind alle Prozeßschritte der Kläranlage auf mindestens 2 Becken verteilt. Dadurch ergibt sich eine gewisse Redundanz.

Rechen und Sandfang wurden nicht weiter behandelt, da sie laut Aufgabenstellung leistungsfähig sind und im Einsatz bleiben sollen.

Bei Ausfall der Vorklärung ließe sich im Anaerobbecken eine provisorische Vorklärung einrichten, indem das Rührwerk abgeschaltet würde. Die dann reduzierte biologische Phosphatelimination kann kurzzeitig durch eine höhere Fällmitteldosierung aufgefangen werden.

Der Ausfall des Anaerobbeckens kann durch höhere Dosierung des Fällmittels kompensiert werden.

Sowohl die neu installierten Verdichter als auch die Fällmittel-Dosierpumpe sind mit entsprechenden Reservergeräten ausgestattet.

1.5 Dimensionierung

1.5.1 Ausgleichsbecken

Zufluß:

$$Q_{g,h} = 30 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{Zulau\text{f}} = 30 \frac{m^3}{h} \cdot 10 \frac{h}{d} = 300 \frac{m^3}{d}$$

Pro Woche fallen somit 1500 m^3 gewerbliche Abwässer an (5 Arbeitstage).

Abfluß:

$$Q_{Ablau\text{f}} = \frac{1500 m^3}{7 d} = 214 \frac{m^3}{d}$$

	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
Zufluß in m^3	300	300	300	300	300	0	0
Abfluß in m^3	214	214	214	214	214	214	214
Inhalt in m^3	86	171	257	343	429	214	0

Tabelle 8: Speicherinhalt Ausgleichsbecken

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich ist, muß das Ausgleichsbecken über einen Speicherinhalt von mindestens 429 m^3 verfügen.

Das Ausgleichsbecken wird als abgedecktes Rundbecken mit einem Durchmesser von 11 m und einer Höhe von 5,5 m erstellt:

$$V = \pi \frac{11^2}{4} \cdot 5,5 = 431 m^3 > 429 m^3$$

1.5.2 Vorklärung

Nach [3] sollte die Flächenbeschickung q_A des Vorklärbeckens bei $2,5\text{-}4,0 \text{ m}^3$ pro Stunde und Quadratmeter liegen. Die rechnerische Fließgeschwindigkeit wird mit 1 cm/s gewählt.

Unter 1.1.2 wurde der maßgebliche Trockenwetterzufluß mit $337 \text{ m}^3/h$ ermittelt. Die Vorklärung wird als Rechteckbecken mit den Nettomaßen $24 \times 5 \times 3 \text{ m}$ ausgebildet.

Damit ergibt sich das folgende Volumen:

$$V_{VK} = 24 \cdot 5 \cdot 3 = 360 m^3$$

Die weiteren Kennwerte der Vorklärung:

$$t_{R,VK} = \frac{V}{Q} = \frac{360 m^3}{337 \frac{m^3}{h}} = 1,07$$

$$A = 24 \cdot 5 = 120 m^2$$

$$q_{A,VK} = \frac{Q}{A} = \frac{339}{120} = 2,83 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$$

Die Empfehlungen für Vorklärbecken nach [9] werden damit eingehalten.

Parameter	spez. Fracht	Faktor	Gesamtfracht
	$\frac{g}{E \cdot d}$	-	$\frac{kg}{d}$
BSB_5	45	0,750	1620
CSB	90	0,750	3223
TS_0	35	0,500	1170
N_{ges}	10	0,909	362
N_{org}	6	0,909	143
$NH_4 - N$	4	0,909	219
P	2,3	0,920	78

Tabelle 9: Reduzierte Frachten nach Vorklärung

Nach [2] reduzieren sich die Frachtwerte damit wie in Tabelle 9 dargestellt.

In der Vorklärung erfolgt ebenfalls eine Phosphat-Fällung. Als Fällmittel wird eine 41%ige Eisen(III)-Chloridsulfat-Lösung gewählt. Es wird von einem P-Gehalt von 3% in der Bakterienmasse des Belebtschlammes ausgegangen. Fällmittelmenge nach [1].

Assimilierter Phosphor:

$$0,03 \cdot TS_{\dot{U}S} = 0,03 \cdot 2043 \frac{kg}{d} = 61,3 \frac{kg}{d}$$

$$B_{d,P} = 78 - 61,3 = 16,7 \frac{kg}{d}$$

2,7 g Eisen pro g Phosphor:

$$B_{d,Fe} = 2,7 \cdot B_{d,P} = 45,1 \frac{kg}{d}$$

Eisen(III)-Chloridsulfatlösung mit 0,187 kg Fe pro Liter:

$$Q_{d,FeClSO_4} = \frac{B_{d,Fe}}{0,187 \frac{kg}{l}} = \frac{45,1}{0,187} = 241 \frac{l}{d} = 10 \frac{l}{h}$$

Eine Dosierpumpe mit einer Förderleistung von 5-30 l/h wird gewählt, um auch Schwankungen ausgleichen zu können. Aus Gründen der Betriebssicherheit ist eine Reservepumpe gleicher Leistung zu installieren.

1.5.3 Nachklärung

1.5.3.1 Maßgebende Größen Die in Tabelle 10 dargestellten Werte sind laut Aufgabenstellung gegeben. Der Wert für t_E resultiert aus der Vorgabe, daß die Belebung vorzugsweise als eine vorgeschaltete Denitrifikation betrieben werden soll (s. Abschnitt 1.3.3). Der Mischwasserabfluß resultiert aus folgender Überlegung:

$$Q_m = 587 \frac{m^3}{h}, \text{ siehe Abschnitt 1.1.3}$$

Parameter	Werte
Schlammindex (ISV)	$110 \frac{ml}{g}$
Eindickzeit (t_E)	$2,0 h$
Abwassermenge (Q_t)	$337 \frac{m^3}{h}$
Beschickung bei Regen (Q_m)	$587 \frac{m^3}{h}$

Tabelle 10: Parameter Nachklärung

$$Q_t = 337 \frac{m^3}{h}, \text{ siehe Abschnitt 1.1.3}$$

Die folgende Bestimmung der Basisparameter findet in Anlehnung an [6] statt.

Trockensubstanzgehalt im Belebtschlamm:

$$TS_{BS} = \frac{1000}{ISV} \cdot \sqrt{3} t_E$$

$$TS_{BS} = \frac{1000}{110} \cdot \sqrt{3} 2,0 = 11,45 \frac{kg TS_{BS}}{m^3}$$

Trockensubstanzgehalt im Rücklaufschlamm:

$$TS_{RS} = TS_{BS} \cdot 0,7$$

$$TS_{RS} = 11,45 \cdot 0,7 = 8,015 \frac{kg TS_{RS}}{m^3}$$

Rücklaufverhältnis:

$$RV = \frac{Q_t \cdot 1,5}{Q_m}$$

$$RV = \frac{337 \cdot 1,5}{587} = 0,86$$

Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken:

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

$$TS_{BB} = \frac{0,86 \cdot 8,015}{1 + 0,86} = 3,71 \frac{kg TS_{BB}}{m^3}$$

Vergleichsschlammvolumen:

$$V_{SV} = ISV \cdot TS_{BB}$$

$$V_{SV} = 110 \cdot 3,71 = 408,1 \frac{ml}{l}$$

Schätzung der Schlammvolumenbestimmung unter der Bedingung, daß

$$q_{SV} \leq 450 \frac{l}{m^2 \cdot h}$$

damit die gewünschte Abscheideleistung gewährleistet werden kann:

$$q_{SV} = 185 \frac{l}{m^2 \cdot h}$$

Flächenbeschickung:

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

$$q_A = \frac{185}{408,1} = 0,45 \frac{m}{h} < 1,6 \frac{m}{h}$$

Resultierende wirksame Oberfläche:

$$A_{NK,ges.} = \frac{Q_m}{q_A}$$

$$A_{NK,ges.} = \frac{587}{0,45} = 1304 m^2$$

Wenn für die vorhandenen Nachklärbecken I und II eine wirksame Oberfläche von $600 m^2$ angenommen wird, dann ist

$$Q_{m,NKI+II} = 600 \cdot 0,45 = 270 \frac{m^3}{h}$$

1.5.3.2 Bestehende Nachklärbecken I und II Die Höhenbestimmung beruht auf Formeln aus [9],[6]:

$$h_1 = 0,5 m$$

$$h_2 = 0,5 \cdot q_A \cdot \frac{(1+RV)}{(1-V_{SV}/1000)}$$

$$h_2 = 0,5 \cdot 0,59 \cdot \frac{(1+0,62)}{(1-338,5/1000)} = 0,71 m$$

$$h_3 = \frac{0,3 \cdot TS_{BB} \cdot ISV \cdot 1,5 \cdot q_A \cdot (1+RV)}{500}$$

$$h_3 = \frac{0,3 \cdot 3,08 \cdot 110 \cdot 1,5 \cdot 0,59 \cdot (1+0,62)}{500} = 0,26 m$$

$$h_4 = \frac{TS_{BB} \cdot ISV \cdot q_A \cdot (1+RV) \cdot t_E}{C}$$

mit

$$C = 300 \cdot t_E + 500 = 300 \cdot 2,0 + 500 = 1100 \frac{l}{m^3}$$

$$h_4 = \frac{3,08 \cdot 110 \cdot 0,59 \cdot (1+0,62) \cdot 2,0}{1100} = 0,52 m$$

Gesamttiefe:

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = h_{ges}$$

$$0,5 + 0,71 + 0,26 + 0,52 = 1,99$$

Damit wird die vorhandene Tiefe von 2,0m im Nachklärbecken I und II eingehalten.

1.5.3.3 Nachklärbecken III Maximalzufluß im Nachklärbecken III

$$Q_{m,NKIII} = 587 - 272 = 315 \frac{m^3}{h}$$

Wahl der Schlammvolumenbestimmung

$$q_{SV} = 330 \leq 450 \frac{l}{m^2 \cdot h}$$

Flächenbeschickung:

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

$$q_A = \frac{400}{408,1} = 0,98 \frac{m}{h} < 1,6 \frac{m}{h}$$

Resultierende wirksame Oberfläche:

$$A_{NBIII} = \frac{Q_{m,NKIII}}{q_A}$$

$$A_{NBIII} = \frac{315}{0,98} = 321 m^2$$

Die Höhen der Zonen werden mit $h_1 - h_4$ bezeichnet:

$$h_1 = 0,5 m$$

$$h_2 = 0,5 \cdot q_A \cdot \frac{(1+RV)}{(1-V_{SV}/1000)}$$

$$h_2 = 0,5 \cdot 0,97 \cdot \frac{(1+0,62)}{(1-338,5/1000)} = 1,27 m$$

$$h_3 = \frac{0,3 \cdot TS_{BB} \cdot ISV \cdot 1,5 \cdot q_A \cdot (1+RV)}{500}$$

$$h_3 = \frac{0,3 \cdot 3,08 \cdot 110 \cdot 1,5 \cdot 0,97 \cdot (1+0,62)}{500} = 0,46 m$$

$$h_4 = \frac{TS_{BB} \cdot ISV \cdot q_A \cdot (1+RV) \cdot t_E}{C}$$

mit

$$C = 300 \cdot t_E + 500 = 300 \cdot 2,0 + 500 = 1100 \frac{l}{m^3}$$

$$h_4 = \frac{3,08 \cdot 110 \cdot 0,97 \cdot (1+0,62) \cdot 2,0}{1100} = 0,93 m$$

Gesamttiefe:

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = h_{ges}$$

$$0,5 + 1,27 + 0,46 + 0,93 = 3,16 \approx 3,2 m$$

Damit wird die empfohlene Mindestdiefe von 3,0m im Nachklärbecken III eingehalten.

1.5.3.4 Beckenausbildung Die Bestimmung der Beckenausbildung beruht auf [7].

Über die Werte der Tabelle 11 kann die vorhandene Fläche und das Volumen in Nachklärbecken II bestimmt werden:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (24^2 - 4^2) = 440 m^2$$

$$V = 440 \cdot 3,2 = 1407 m^3$$

gewählte Eigenschaften	Maße und Mengen
Beckentiefe h	3,20m
Beckenzahl	1
Innendurchmesser D	24,00m
Durchmesser des Mittelbauwerkes d	4,00m

Tabelle 11: Nachklärbecken III

Gewähltes Element, Eigenschaft	Maße und Werte
Schildräumer mit auskragender Brücke l	1,3· r
Räumschildhöhe hr	0,50m
Randgeschwindigkeit des Räumers vr	100m/h

Tabelle 12: Räumersystem Nachklärbecken III

1.5.3.5 Räumersystem Anzahl der Räumerrundläufe pro Stunde:

$$n = \frac{vr}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{100}{2 \cdot \pi \cdot 12} = 1,33h^{-1}$$

Geräumte Fläche pro Räumerrundlauf:

$$Ar = \frac{\pi \cdot (r^2 + ((x-1) \cdot r)^2)}{f} = \frac{\pi \cdot (12^2 + ((1,3-1) \cdot 12)^2)}{1,5} = 329m^2$$

mit

f = Räumfaktor; gewählt: 1,5

x = Verhältnis der Räumerränge zum Beckendurchmesser → hier: 1,3

Geräumter Volumenstrom:

$$Qr = Ar \cdot hr \cdot n = 329,00 \cdot 0,50 \cdot 1,45 = 238 \frac{m^3}{h}$$

Kurzschlussstrom:

$$Q_{RS} = RV \cdot Q_t$$

$$Q_{RS} = 0,86 \cdot 337 = 290 \frac{m^3}{h}$$

$$Qk = Q_{RS} - Qr = 290 - 238 = 52 \frac{m^3}{h}$$

TS-Konzentration im Rücklaufschlamm:

$$TS_{RS} = \frac{TS_{BS} \cdot Qr}{Q_{RS}} = \frac{11,45 \cdot 238}{290} = 9,39 \frac{kg}{m^3} > 8,015 \frac{kg}{m^3}$$

Randwassertiefe:

Die Sohlneigung soll 15% betragen:

$$w = h_{ges.} - \frac{1}{3} \cdot \frac{d}{2} \cdot \frac{1}{15} = 3,2 - \frac{1}{3} \cdot \frac{24}{2} \cdot \frac{1}{15} = 2,93m > 2,5m$$

1.5.4 Anaerobbecken

$$V = (Q_t + Q_{RS}) \cdot t$$

mit

t = Kontaktzeit; gewählt: $t = 1,00h > 0,75h$ (empfohlener Richtwert)

$$V_P = (337 + 290) \cdot 1,00 = 627m^3$$

Abmessungen Erforderliches Anaerobbecken volumen: $V_P = 627m^3$

Erforderliche Fläche bei gewählter Tiefe von 3,90m:

$$A = \frac{627m^3}{3,90m} = 161m^2$$

Resultierender erforderlicher Durchmesser:

$$d = \sqrt{\frac{161 \cdot 4}{\pi}} = 14,31m$$

Gewählt: $d = 14,5$ m

1.5.5 Denitrifikation

Rücklaufschlammzufuß:

$$Q_{RS} = 290 \frac{m^3}{h}, \text{ s.o.}$$

Schlammalter:

Das Schlammalter wird anhand Tabelle 2 in [2] für eine Anlage zwischen 20.000 und 100.000 EW mit dem Reinigungsziel der Abwasserreinigung mit Nitrifikation und Denitrifikation geschätzt:

Bei einem Verhältnis: $\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,33$

$$t_{TS} = 12d$$

Überschußschlammproduktion:

$$\dot{U}S_B = \dot{U}S_{BSB_5} + \dot{U}S_P$$

$$TS_0 = 1170 \frac{kg}{d}$$

$$BSB_5 = 1620 \frac{kg}{d}$$

$$\frac{TS_0}{BSB_5} = \frac{1170}{1620} = 0,722$$

$$\dot{U}_{S_{BSB_5}} = 0,81$$

Da die Fällung von Phosphor mit Eisen(III)-Chloridsulfat durchgeführt wird (s. 1.5.2) folgt:

$$\dot{U}_{S_P} = 6,8 \cdot \frac{P}{BSB_5} = 6,8 \cdot \frac{78}{1620} = 0,32 \frac{kgTS}{kgBSB_5}$$

$$\dot{U}_{S_B} = 0,81 + 0,32 = 1,137 \frac{kgTS}{kgBSB_5}$$

Schlammbelastung:

$$B_{TS} = \frac{1}{\dot{U}_{S_B} \cdot t_{TS}} = \frac{1}{1,137 \cdot 12} = 0,0733 \frac{kgBSB_5}{kgTS \cdot d}$$

Raumbelastung:

$$B_R = \frac{TS_{BB}}{\dot{U}_{S_B} \cdot t_{TS}} = \frac{3,71}{1,137 \cdot 12} = 0,27 \frac{kgBSB_5}{m^3 \cdot d}$$

Belebungsbecken-Volumen:

$$V_{BB} = \frac{B_{d,BSB_5}}{TS_{BB} \cdot B_{TS}} = \frac{1620}{3,71 \cdot 0,0733} = 5957 m^3$$

Vorhandene Becken:

$$V_{N,vorh.} = 3160 m^3$$

$$\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,33$$

$$V_{DN,erf.} = 0,33 \cdot 5957 = 1966 m^3$$

Bestehendes Denitrifikationsbecken I Grundfläche des vorhandenen Belebungsbeckens

I wird abgegriffen zu:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{25^2}{4} = 491 m^2$$

Resultierende vorhandene Behälterhöhe:

$$h_{alt} = \frac{1760 m^3}{491 m^2} = 3,58 m$$

Bei einem Volumen laut Übersichtsplan:

$$V_{DB1} = 1760 m^3$$

Neues Denitrifikationsbecken II Das erste Siebtel des alten Belebungsbeckens II wird entsprechend abgetrennt.

1.5.6 Nitrifikation

Nitrifikationsbecken I (Ehemaliges Belebungsbecken II) Es werden für das Volumen $\frac{6}{7}$ des alten Belebungsbecken II veranschlagt. Das Volumen des Nitrifikationsbecken I beträgt $1200m^3$.

Neues Nitrifikationsbecken II Das neu zu erstellende Nitrifikationsbecken II deckt das restliche Nitrifikationsvolumen ab.

$$5957 - 1760 - 1400 = 2797m^3$$

Abmessungen Bei einer gewählten Tiefe von $d = 3,90m$ resultiert folgende Fläche für das neue Becken:

$$A = \frac{V_{NitrII}}{d} = \frac{2797}{3,9} = 717m^2$$

Diese Fläche beinhaltet einen Durchmesser von

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{717 \cdot 4}{\pi}} = 30,68m$$

Gewählt: 26,70 m.

Umwälzung Die vorhandene Umwälzung (s. 1.3.2) bleibt bestehen.

Zu denitrifizierende Stickstoffmenge Die Denitrifikationskapazität bei $\frac{V_D}{V_{BB}} = 0,33$, $10^\circ C$ und vorgeschalteter Denitrifikation bildet sich nach Interpolation zu $0,11 \frac{kgNO_3-N_D}{kgBSB_5}$ (siehe [2])

$$B_{d,NO_3-N_D} = 0,11 \frac{kgNO_3-N_D}{kgBSB_5} \cdot 1620 \frac{kgBSB_5}{d} = 179 \frac{kgNO_3-N_D}{d}$$

Stickstoffmenge im Überschußschlamm Nach [6] wird für die, mit dem Überschußschlamm abgezogenen Mikroorganismen ein Stickstoffgehalt von 5 Prozent an der Gesamtfracht BSB_5 angesetzt:

$$N_{\ddot{U}S} = 0,05 \cdot 1620 = 81 \frac{kgN}{d}$$

Stickstoffbilanz Basierend auf diesem Zusammenhang:

$$\sum N_{ZU} = \sum N_{AB} + N_{\dot{U}S} + NO_3 - N_D \text{ nach [6],}$$

lassen sich die einzelnen Komponenten im Folgenden definieren. Die Stickstofffracht im Ablauf besteht aus organischem und anorganischem Stickstoff. Folglich kann man die anorganische Stickstofffracht über die Subtraktion des organischen Stickstoffs vom Ablaufstickstoff ermitteln.

$$B_{d,Nanorg.,e} = B_{d,TKN_0} - B_{d,Norg.,e} - B_{d,NO_3-N_d} - B_{d,N\dot{U}S}$$

$$B_{d,TKN_0} = B_{d,org.N} + B_{d,NH_4-N} = 143 + 219 = 362 \frac{kg}{d}$$

$$B_{d,Norg.,e} = 2 \frac{mg}{l} \cong 11,7 \frac{kg}{d}, \text{ laut [6] gilt dieser Wert als üblich}$$

$$B_{d,Nanorg.,e} = 362 \frac{kg}{d} - 11,7 \frac{kg}{d} - 179 \frac{kg}{d} - 81 \frac{kg}{d} = 90,3 \frac{kg}{d}$$

Ablaufkonzentration $NO_3 - N_e = C_{Nanorg.,e} - C_{NH_4-N_e} = \frac{90,3 \frac{kg}{d}}{5839 \frac{m^3}{d}} \cdot 1000 - 0,5 = 14,96 \frac{mg}{l}$

$$N_{anorg_e} = NH_4 - N_e + NO_3 - N_e = 17,87 + 0,5 = 15,46 \frac{mg}{l}$$

Mindestanforderung an den Ablauf ist

$$N_{anorg_e} \leq 18 \frac{mg}{l}$$

Der vorhandene Gehalt an N_{anorg_e} befindet sich im geforderten Bereich.

Parameter	Tagesfracht in $\frac{kg}{d}$	Anmerkungen
B_{d,BSB_5}	1620	
B_{d,NO_3-N_e}	90,3	für Nitrifikation und Denitrifikation
B_{d,NO_3-N_d}	179	
B_{d,NO_3-N}	269,3	für Nitrifikation

Tabelle 13: Frachten

1.5.6.1 Erforderlicher Sauerstoffeintrag Bestimmung von O_B nach [7]:

$$O_B = f_B \cdot (OVC \cdot f_C + OV_N \cdot f_N)$$

$$f_B = \frac{f_D \cdot C_S}{f_D \cdot C_S - C_X}$$

Spezifischer Sauerstoffverbrauch

$$OVC = \frac{0,144 \cdot T_S \cdot F}{1 + T_S \cdot 0,08 \cdot F} + 0,5 ; F = 1,072^{(T-15)}$$

Spezifischer Sauerstoffverbrauch bei $T=10^\circ$

$$OV_{C,10} = \frac{0,144 \cdot 12 \cdot 1,072^{(10-15)}}{1+12 \cdot 0,08 \cdot 1,072^{(10-15)}} + 0,5 = 1,23 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

Spezifischer Sauerstoffverbrauch bei T=20°

$$OV_{C,20} = \frac{0,144 \cdot 12 \cdot 1,072^{(20-15)}}{1+12 \cdot 0,08 \cdot 1,072^{(20-15)}} + 0,5 = 1,54 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

Spezifischer Sauerstoffverbrauch OV_N für die Oxidation der Stickstoffverbindungen

$$OV_N = \frac{[4,6 \cdot (B_{d,NO_3-N_e} - B_{d,NO_3-N_0}) + 1,7 \cdot B_{d,NO_3-N_d}]}{B_{d,BSB_5}}$$

$$f_C = 1,18$$

$$f_N = 2,22$$

$$f_B = \frac{f_D \cdot C_S}{f_D \cdot C_S - C_X} \text{ mit}$$

$$C_S = 10,92 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ (Sauerstoffsättigung bei } 10^\circ\text{C)}$$

$$C_S = 8,84 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ (Sauerstoffsättigung bei } 20^\circ\text{C)}$$

$$C_X = 2,0 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ (Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken nach [2])}$$

$d_e = 5,0\text{m} - 0,3\text{m} = 4,7\text{m}$ (Die Einblastiefe resultiert aus Belüfterhöhe über Boden, subtrahiert von der Beckentiefe)

$$f_D = 1 + \frac{d_e}{20,7} = 1 + \frac{4,7}{20,7} = 1,227$$

$$f_{B,10} = \frac{1,227 \cdot 10,92}{1,227 \cdot 10,92 - 2,0} = 1,175$$

$$f_{B,20} = \frac{1,227 \cdot 8,84}{1,227 \cdot 8,84 - 2,0} = 1,226$$

Lastfall 1 Nitrifikation bei einer Temperatur von 10°C, maximaler Stickstoffbelastung .

$$f_{B,10} = 1,175$$

$$OV_{C,10} = 1,23 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

$$OV_N = \frac{[4,6 \cdot (269,3-0) + 1,7 \cdot 0]}{1620} = 0,764 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Stickstoffbelastung:

$$O_B = 1,175 \cdot (1,23 \cdot 1,00 + 0,764 \cdot 2,22) = 3,43 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Kohlenstoffbelastung:

$$O_B = 1,175 \cdot (1,23 \cdot 1,18 + 0,764 \cdot 1,00) = 2,60 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$

Lastfall 2 Denitrifikation/Nitrifikation bei einer Temperatur von 10°C, maximaler Stickstoffbelastung .

$$f_{B,10} = 1,175$$

$$OV_{C,10} = 1,23 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

$$OV_N = \frac{[4,6 \cdot (90,3-0) + 1,7 \cdot 179]}{1620} = 0,444 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Stickstoffbelastung:

$$O_B = 1,175 \cdot (1,23 \cdot 1,00 + 0,444 \cdot 2,22) = 2,59 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Kohlenstoffbelastung:

$$O_B = 1,175 \cdot (1,23 \cdot 1,18 + 0,444 \cdot 1,00) = 2,22 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Lastfall 3 Denitrifikation/Nitrifikation bei einer Temperatur von 20°C, maximaler Stickstoffbelastung .

$$f_{B,20} = 1,226$$

$$OV_{C,20} = 1,54 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

$$OV_N = \frac{[4,6 \cdot (90,3-0) + 1,7 \cdot 179]}{1620} = 0,444 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Stickstoffbelastung:

$$O_B = 1,226 \cdot (1,54 \cdot 1,00 + 0,444 \cdot 2,22) = 3,09 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Sauerstoffbedarf, bei maximaler Kohlenstoffbelastung:

$$O_B = 1,226 \cdot (1,54 \cdot 1,18 + 0,444 \cdot 1,00) = 2,77 \frac{kgO_2}{kgBSB_5}$$

Lastfall	C_S $\frac{mg}{l}$	C_X $\frac{mg}{l}$	t_{TS} d	f_C —	f_N —	OV_C $\frac{kg}{kg}$	OV_N $\frac{kg}{kg}$	O_B $\frac{kg}{kg}$
Nitrifikation bei 10°C	10,92	2,0	12	1,00 1,18	2,22 1,00	1,23	0,76	3,43 2,60
Nitri./Deni. bei 10°C	10,92	2,0	12	1,00 1,18	2,22 1,00	1,23	0,44	2,59 2,22
Nitri./Deni. bei 20°C	8,84	2,0	12	1,00 1,18	2,22 1,00	1,54	0,44	3,09 2,77

Tabelle 14: Lastfälle

Tabelle 14 basiert wie auch der Rechenverlauf bei der Sauerstoffbedarfsermittlung auf [7].

Maßgebende Lastfälle

- Lastfall 1 mit der Nitrifikation bei einer Temperatur von 10°C, maximaler Stickstoffbelastung und Eintrag in belüfteter Phase.

$$O_B = 3,43 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$
$$\alpha OC_{max} = \frac{O_B \cdot B_d \cdot BSB_5}{24} = \frac{3,43 \cdot 1620}{24} = 231,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

- Lastfall 3 mit der Denitrifikation/Nitrifikation bei einer Temperatur von 20°C, maximaler Stickstoffbelastung und Eintrag in belüfteter Phase.

$$O_B = 3,09 \frac{\text{kgO}_2}{\text{kgBSB}_5}$$
$$\alpha OC_{max} = \frac{O_B \cdot B_d \cdot BSB_5}{24} = \frac{3,09 \cdot 1620}{24} = 208,6 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Der Anteil des Nitrifikationsbeckens I am Nitrifikationsvolumen beträgt 29,9 Prozent

Bei einem gewählten Sauerstoffzufuhrfaktor $\alpha = 0,95$ bei Rotorbelüftung resultiert

$$OC_{Nüri I} = \frac{231,5 \cdot 0,299}{0,95} = 72,9 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

Der Anteil des Nitrifikationsbeckens II am Nitrifikationsvolumen beträgt 70,1 Prozent

Bei einem gewählten Sauerstoffzufuhrfaktor $\alpha = 0,80$ bei Druckbelüftung resultiert:

$$OC_{Nüri II} = \frac{231,5 \cdot 0,701}{0,80} = 202,9 \frac{\text{kgO}_2}{\text{h}}$$

Ermittlung des Luftbedarfs nach [9]:

$$Q_{L,1} = \frac{OC}{SSA \cdot d_e} = \frac{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 275,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{18 \frac{\text{gNm}^3}{\text{m}} \cdot 3,6\text{m}} = 4256 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{L,Nüri I} = 4256 \cdot 0,299 = 1272,5 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{L,2} = \frac{OC}{SSA \cdot d_e} = \frac{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \cdot 275,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{18 \frac{\text{gNm}^3}{\text{m}} \cdot 4,7\text{m}} = 3260 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

$$Q_{L,Nüri II} = 3260 \cdot 0,701 = 2285,3 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

1.5.7 Belüftung

$$\text{Verdichter } Q_{L,Nüri II} - Q_{L,vorhandene Verdichter} = 2285,3 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} - 2 \cdot 400 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} = 1485,3 \approx 1500 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$$

Da zusätzlich zu der bisher bereitstellbaren Luftmenge von $800 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ weitere $1500 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ benötigt werden, werden 2 Verdichter mit einer Leistung von je $750 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ aufgestellt. Ein zusätzlicher Verdichter mit einer möglichen Bereitstellung von $750 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}}$ wird als Reserve vorgehalten.

Belüftung in Nitrifikationsbecken II $P_L = \frac{Q_{L,Nitri II} \cdot d_e \cdot P_{spez.}}{1000}$

Der folgende herstellerspezifische Parameter $P_{spez.}$ wurde gewählt:

$$P_{spez.} = \frac{5Wh}{Nm^3}$$

$$P_L = \frac{2285,3 \cdot 4,7 \cdot 5,0}{1000} = 53,7kW$$

Belüftungsteller:

$$n = \frac{Q_{L,Nitri III}}{q_{L,x}}$$

$$q_{L,x} = 6 \frac{Nm^3}{h}$$

$$n = \frac{2285,3}{6} = 381 \text{ Teller}$$

Nachweis der Mindestbeaufschlagung im Becken:

$$Q_{L,min} = 0,3 \cdot Q_{L,Nitri II} = 0,3 \cdot 2285,3 = 685,6 \frac{Nm^3}{h}$$

$$q_{L,min} = \frac{685,6}{489} = 1,4 < 2,0$$

Nachweis erfüllt.

Belüftung in Nitrifikationsbecken I Die drei vorhandenen Mammutrotoren haben eine Leistung von je 9kW. Der Sauerstofftrag liegt bei Mammutrotoren im Schmutzwasser im Mittel bei $\sim 1,8 \frac{kgO_2}{kWh}$ nach [9]. Benötigt werden $72,9 \frac{kgO_2}{h}$:

Vorhandene Kapazität liefert:

$$OC = 1,8 \cdot 9 \cdot 3 = 48,6 \frac{kgO_2}{h}$$

Um die erforderliche Kapazität liefern zu können, wird zusätzlich ein 15kW-Rotor installiert:

$$OC_{neu} = 1,8 \cdot 9 \cdot 3 + 1,8 \cdot 15 \cdot 1 = 75,6 \frac{kgO_2}{h} > OC_{benötigt} = 72,9$$

1.5.8 Nachweis der Säurekapazität

Nach [2]:

$$K_{Se} =$$

$$K_{S_0} - [0,07 \cdot (NH_4 - N_0 - NH_4 - N_e + NO_3 - N_e - NO_3 - N_0) - 0,06 \cdot Fe^3 + 0,03 \cdot (P_o - P_e)]$$

Die Säurekapazität im Zulauf beträgt $5,0 \frac{mmol}{l}$, die Konzentrationen in Tabelle 15 wurden für $Q = 67.581 \frac{l}{s}$ ermittelt.

Parameter	Frachten in $\frac{kg}{d}$	Konzentrationen in $\frac{mg}{l}$
$NO_3 - N_0$	179	30,06
$NH_4 - N_0$	219	37,5
$NH_4 - N_e$		0,5
P_0	78	1,33
P_e	8,8	1,5
Fe^3	79	13,5
$NO_3 - N_e$ (Nitri)	269,3	46,12
$NO_3 - N_e$ (Nitri/Deni)	90,3	15,46

Tabelle 15: Parameter zum Nachweis der Säurekapazität

- Lastfall Nitrifikation bei 10°C:

$$K_{Se} = 5 - [0,07 \cdot (37,5 - 0,5 + 46,12 - 30,6) - 0,06 \cdot 13,5 + 0,03 \cdot (1,33 - 1,5)]$$

$$K_{Se} = 2,139 \frac{mmol}{l}$$

- Lastfall Nitrifikation/Denitrifikation bei 10°C:

$$K_{Se} = 5 - [0,07 \cdot (37,5 - 0,5 + 15,46 - 30,6) - 0,06 \cdot 13,5 + 0,03 \cdot (1,33 - 1,5)]$$

$$K_{Se} = 4,285 \frac{mmol}{l}$$

1.5.9 Nachweis des pH-Wertes

Aus [2] Tabelle 7 resultiert für $K_{Se} = 2,139 \frac{mmol}{l}$ und einem einzuhaltenen pH-Wert von 7,0 eine Sauerstoffausnutzung des Belüftungssystems von 11 Prozent. Beide Lastfälle erfüllen die Forderung $K_{Se} \geq 1,5 \frac{mmol}{l}$. Der Lastfall Nitrifikation/Denitrifikation bei 10°C kann somit bewältigt werden.

1.6 Massenermittlung Nachklärbecken III

Details zum Nachklärbecken s. 11, sowie Anlage E.

Pos. 1 Mutterboden aufnehmen $D = 24 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 3,2 = 32,4m^1$

$$V = \frac{\pi \cdot (32,4m)^2}{4} \cdot 0,25m = 206m^3$$

Pos. 2 Bodenaushub

¹1 m Schalungs- und Arbeitsraum, 45° Böschung

- Becken endet 1m über GOK
- 0,4 m Sohle
- 0,25 m Mutterboden
- 2 m Unterbau Mittelbauwerk

$$h = 3,2m + 0,4m - 1,0m - 0,25m = 2,35m$$

$$r_o = 16,2m$$

$$r_u = 13m$$

$$V = \frac{\pi \cdot (4m)^2}{4} \cdot 2m + \frac{\pi \cdot 3,2m \cdot (16,2^2 + 16,2 \cdot 13 + 13^2)m^2}{3} = 25,1m^3 + 2151m^3 = 2178m^3$$

Pos. 3 Sauberkeitsschicht, 5 cm² $A = \frac{\pi \cdot (24 + 2 \cdot 0,3)^2}{4} = 475m^2$

Pos. 4 Beton B35

Pos. 4.1 Außenwand, 30 cm $A = \frac{\pi \cdot (24,6^2 - 24^2)}{4} = 22,9m^2$

$$V = (3,3 + 0,4) \cdot 22,9 = 85m^3$$

Pos. 4.2 Sohlplatte, 40 cm

$$V = \frac{\pi \cdot 24,6^2}{4} \cdot 0,4 = 190m^3$$

Pos 4.3 Mittelbauwerk, 20 cm Wandstärke³

$$A = \frac{\pi \cdot (4,0^2 - 3,6^2)}{4} = 2,4m^2$$

$$V = 10 + 2,4 \cdot (2,0 + 4,1) = 25m^3$$

Pos. 5 Schalung

Pos. 5.1 Außenwand $A_i = 24 \cdot \pi \cdot 3,5 = 264m^2$

$$A_a = 24,6 \cdot \pi \cdot 3,5 = 270m^2$$

$$A = A_a + A_i = 534m^2$$

Pos 5.2 Mittelbauwerk⁴

$$A_i = 3,6 \cdot \pi \cdot 4,2 = 48m^2$$

²30 cm Überstand

³10m³ für Fuß

⁴10 m² Sonstiges

$$A_a = 4,0 \cdot \pi \cdot 4,2 = 53m^2$$

$$A_{Decke} = \frac{3,6^2 \cdot \pi}{4} + \frac{4^2 \cdot \pi}{4} = 23m^2$$

$$A = 48 + 53 + 23 + 10 = 134m^2$$

Pos. 6 Bewehrung

- 10 % Verschnitt
- 125 kg Stahl pro m³ Beton

$$M = 300 \cdot 1,1 \cdot 0,125 = 41,3t$$

$$\text{Pos. 7 Dichtungsband } l = (3,6 + 4,0 + 24,0 + 24,6) \cdot \pi = 177m$$

Pos. 8 Technische Ausrüstung

Pos. 8.1 Brücke mit Treppen innen und außen

- 1 Stück

Pos. 8.2 Räumersystem komplett

- 1 Stück

Pos. 8.3 Absperrschieber

- 4 Stück

Pos. 8.4 Steigeisen

- 9 Stück

Pos 8.5 Rohrleitungen bis DN 500

- 40 m

Pos.		Einheit	Menge	EP in DM	GP in DM
1	Mutterboden	m ³	206	23,00	4944,00
2	Bodenaushub	m ³	2178	58,00	126324,00
3	Sauberkeitsschicht	m ²	475	18,00	8550,00
4	Beton B35	m ³	300	400,00	120000,00
5	Schalung	m ²	668	85,00	56780,00
6	Bewehrung	t	41	1100,00	45100,00
7	Dichtungsband	m	177	90,00	15890,00
8.1	Brücke	Stück	1	40000,00	40000,00
8.2	Räumer	Stück	1	50000,00	50000,00
8.3	Absperrschieber	Stück	4	1300,00	5200,00
8.4	Steigeisen	Stück	9	35,00	315,00
8,5	Rohrleitungen	m	40	120,00	4800,00
	Summe				477903,00
	Planung, W+G	%	19		90801,57
					568704,57
	MwSt	%	16		900992,73
	Gesamtsumme				659697,30

Tabelle 16: Kostenberechnung Nachklärbecken III

1.7 Kostenberechnung Nachklärbecken III

Tabelle 16 enthält die Kostenberechnung für das geplante Nachklärbecken III.

1.8 Jahresenergiebedarf

Es wird angenommen, daß im Jahresmittel 70% der Bemessungsfrachten und -mengen anfallen. Der Jahresenergiebedarf für den Betrieb der Belebungsanlage setzt sich folgendermaßen zusammen:

- Energiebedarf Ausgleichsbecken: 1 kW
- Energiebedarf Anaerobbecken: 4 kW
- Energiebedarf Deni I + II: 9 kW
- Energiebedarf Nitri I: 45 kW
- Energiebedarf Nitri II: 70 kW
- Energiebedarf Rezirkulation: 4 kW

$$\Sigma = 133kW$$

$$133 \cdot \frac{24h}{d} \cdot \frac{365d}{a} = 1165080 \frac{kWh}{a}$$

Damit ergibt sich insgesamt ein Jahresenergiebedarf von 1165 MWh/a für die Belebungsanlage.

2 Schlammbehandlung

2.1 Maßgebende Rohschlammfrachten und -mengen

2.1.1 Primärschlamm

Abscheidegrad:

$$\eta_{TS} = 43\%$$

$$C_{TS,0} = 401 \frac{mg}{l}; \text{ siehe Abschnitt 3}$$

$$C_{TS,e} = C_{TS,0} \cdot (1 - \eta) = 401 \cdot (1 - 0,43) = 228,57 \frac{mg}{l}$$

$$B_{d,TS,0} = Q \cdot C_{TS,0} = 5839 \frac{m^3}{d} \cdot 0,401 \frac{kg}{m^3} = 2341,4 \frac{kg}{d}$$

$$B_{d,TS,e} = Q \cdot C_{TS,e} = 5839 \frac{m^3}{d} \cdot 0,229 \frac{kg}{m^3} = 1337,1 \frac{kg}{d}$$

Feststoffbilanz:

$$B_{d,TS,0} = B_{d,TS,e} + B_{d,TS,PS}$$

$$B_{d,TS,PS} = B_{d,TS,0} - B_{d,TS,e} = 2341,4 - 1337,1 = 1004,3 \frac{kg}{d}$$

Eindickung auf 3,5 Prozent:

$$C_{TS,PS} = 3,5\% = 35 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{PS} = \frac{B_{d,TS,PS}}{C_{TS,PS}} = \frac{1004,3 \frac{kg}{d}}{35 \frac{kg}{m^3}} = 28,7 \frac{m^3}{d}$$

2.1.2 Überschussschlamm

$$B_{d,BSB_5} = 2160 \frac{kg}{d}$$

$$T_{S0} = 2339 \frac{kg}{d}$$

$$t_{TS} = 12d$$

Ermittlung der Überschussschlammproduktion nach [2], Tabelle 8:

$$\frac{TS_0}{B_{d,BSB_5}} = \frac{2160}{2339} = 1,08$$

Durch Interpolation:

$$\dot{U}S_{BSB_5} = 1,03 \frac{kgTS}{kgBSB_5}$$

$$B_{d,TS\dot{U}S_1} = \dot{U}S_{BSB_5} \cdot B_{d,BSB_5} = 1,03 \cdot 2160 = 2224,8 \frac{kgTS}{d}$$

Der eingebaute P-Gehalt in der Bakterienmasse des Belebtschlammes beträgt bei gezielter biologischer P-Elimination bezogen auf den $B_{d,TS\dot{U}S}$ laut Aufgabenstellung (siehe Abschnitt 1.3.3) 3%.

$$B_{d,TS\dot{U}S_2} = 1,03 \cdot 2224,8 = 2291,5 \frac{kgTS}{d}$$

Trockensubstanzverlust in der Nachklärung:

$$C_{TS,e(Nachkl.)} = 10 \frac{mg}{l} = 0,01 \frac{kg}{m^3}$$

$$B_{d,TS,e} = C_{TS,e} \cdot Q = 0,01 \cdot 5839 = 58,4 \frac{kgTS}{d}$$

$$B_{d,TS\dot{U}S} = B_{d,TS\dot{U}S_2} - B_{d,TS,e} = 2291,5 - 58,4 = 2234 \frac{kgTS}{d}$$

Eindickung auf 3,5 % (siehe Abschnitt 1.3.3):

$$C_{TS\dot{U}S} = 3,5\% = 35 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{\dot{U}S} = \frac{B_{d,TS\dot{U}S}}{C_{TS\dot{U}S}} = \frac{2234}{35} = 64 \frac{m^3}{d}$$

2.1.3 Summe der Rohschlämme

$$B_{d,TSRS} = B_{d,TS\dot{U}S} + B_{d,TS\dot{P}S} = 2234 + 1004 = 3238 \frac{kgTS}{d}$$

$$C_{TS,RS} = 3,5\% = 35 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{RS} = Q_{\dot{U}S} + Q_{PS} = 64 + 29 = 93 \frac{m^3}{d}$$

2.2 Anaerobe Schlammstabilisierung

Da es sich bei dieser KA um eine verhältnismäßig große KA handelt, wird eine anaerobe Schlammfäulung gewählt. Kennzeichen: mesophil bei 35°C, geschlossener Faulbehälter(“Faulturm”) mit Beheizung; $t_R = 20d$. Diese Wahl erfolgt in Anlehnung an [8].

$$B_{d,o,TSRS} = 0,667 \cdot 3238 = 2159 \frac{kgTS}{d}$$

Anlage F zeigt das Grundfließbild der Schlammbehandlung.

Parameter	Wert	Anmerkung
Temperatur T	35°C	nach [8]
Verweilzeit t_R	$20d$	nach [8]
$Q_{RS} = Q_{FS}$	$93 \frac{\text{m}^3}{d}$	Abschnitt 2.1.3
$C_{TS,RS}$	$3,5\%$	Abschnitt 2.1.3
$B_{d,TSRS}$	$3238 \frac{\text{kgTS}}{d}$	Abschnitt 2.1.3
η_{oTS}	43%	Abschnitt 1.3.3
oTS	$66,7\%$	nach [8]

Tabelle 17: Parameter Schlammbehandlung

2.2.1 Faulschlammbehältervolumen

$$V_{FB} = t_R \cdot Q_{RS} = 20 \cdot 93 = 1860 \text{m}^3$$

$$\text{gewählt: } V_{FB} = 1900 \text{m}^3$$

Feststoff-Raumbelastung:

$$B_{R,o,TS} = \frac{B_{d,o,TSRS}}{V_{FB}} = \frac{2159}{1900} = 1,14 \frac{\text{kg } oTS}{\text{m}^3 \cdot d}$$

2.2.2 Feststoffbilanz

$$B_{d,o,TSFS} = B_{d,o,TSRS} \cdot (1 - \eta_{oTS}) = 2159 \cdot (1 - 0,43) = 1231 \frac{\text{kgTS}}{d}$$

$$B_{d,anorg.,TSFS} = B_{d,anorg.,TSRS} = B_{d,TSRS} - B_{d,o,TSRS} = 3238 - 2159 = 1079 \frac{\text{kgTS}}{d}$$

$$B_{d,TSFS} = B_{d,o,TSFS} + B_{d,anorg.,TSFS} = 1231 + 1079 = 2310 \frac{\text{kgTS}}{d}$$

$$C_{TS,FS} = \frac{B_{d,TSFS}}{Q_{FS}} = \frac{2310}{93} = 24,84 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \approx 2,5\%$$

2.2.3 Faulgasanfall

Nach [8]:

$$Q_{Gas} = B_{d,o,TSRS} \cdot \eta_{o,TS} \cdot \frac{0,8}{100}$$

$$Q_{Gas} = 2159 \cdot 43 \cdot 0,8 / 100 = 742,7 \frac{\text{Nm}^3}{d}$$

Probe über den Faustwert nach [8]:

$$\frac{742,7 \frac{\text{Nm}^3}{d}}{30.000E} = 0,0248 \frac{\text{Nm}^3}{d \cdot E} = 24,8 \frac{l}{E \cdot d}$$

Die einwohnerspezifische Faulgasmenge der Probe über den Faustwert bestätigt das Ergebnis und liegt im Schwankungsbereich zwischen 15 und 25 l.

2.2.4 Gasspeicher

Es wird für die Auslegung des Speichervolumens eine 50%-ige Abminderung der täglichen Faulgasproduktion veranschlagt (Normalfall nach [8]).

$$V_{Gas} = Q_{Gas} \cdot 0,5 = 742,7 \cdot 0,5 = 371m^3$$

gewählt: $V_{Gas} = 400m^3$

2.2.5 Energetischer Wert des Faulgases

Bei einem 65%-igen Methangehalt.

$$CH_4(100\%) = 10 \frac{kWh}{m^3}$$

$$CH_4(65\%) = Faulgas = 10 \cdot 0,65 = 6,5 \frac{kWh}{m^3}$$

Heizwert des Faulgases:

$$W_{Gas} = Q_{Gas} \cdot CH_4(65\%) = 742,7 \cdot 6,5 = 4828 \frac{kWh}{d}$$

2.2.6 Wärmebedarf des Behälters

2.2.6.1 Schlammwärmung Temperatur Rohschlamm: $T = 10^\circ C$

Betriebstemperatur Faulbehälter: $T = 35^\circ C$

Daraus resultiert ein $\Delta T = 25K$

$$W_{Schlamm} = Q_{FS} \cdot 41868 \frac{MJ}{m^3 \cdot K} \cdot \Delta T = 93 \frac{m^3}{d} \cdot 41868 \frac{MJ}{m^3 \cdot K} \cdot 25K = 9734 \frac{MJ}{d}$$

$$3,6MJ = 1kWh$$

$$9734 \frac{MJ}{d} = 2704 \frac{kWh}{d}$$

2.2.6.2 Ausgleich der Wärmeverluste Ausgehend von einem Volumen $V_{FB} = 1900m^3$ (s. 2.2.1), werden die Abmessungen des Faulbehälters in Tabelle 18 gewählt.

Als Wärmeabstrahlung wird ein Wert von $1,2 \frac{Wh}{m^2 \cdot K \cdot h}$ der Berechnung zugrunde gelegt. Die Außentemperatur wird zu $-10^\circ C$ angenommen. Bei einer Betriebstemperatur von $35^\circ C$ resultiert somit eine Temperaturdifferenz von $45K$.

Berechnung des Wärmeverlustes:

$$W_{Waermeverlust} = \frac{1,2 \frac{Wh}{m^2 \cdot K \cdot h} \cdot 45K \cdot 550m^2 \cdot 24 \frac{h}{d}}{1000 \frac{Wh}{kWh}} = 713 \frac{kWh}{d}$$

Parameter	Größe
Durchmesser D	$14m$
Durchschnittsfläche A	$154m^2$
Höhe h	$12,5m$
Mantelfläche A_M	$550m^2$

Tabelle 18: Abmessungen des Faulbehälters

2.2.6.3 Gesamtwärmeverlust $W_{Ges.} = 2704 + 713 = 3417 \frac{kWh}{d}$

2.2.7 Auslegung eines Blockheizkraftwerkes zur Energierückgewinnung

Wie in Abschnitt 2.2.5 hergeleitet, steht einem BHKW die Energie von $W_{Gas} = 4828 \frac{kWh}{d}$ zur Verfügung.

Abgedeckt werden muß ein Energiebedarf von $W_{Ges.} = 3417 \frac{kWh}{d}$. Bei durchschnittlichen BHKW-Wirkungsgraden bei der Umwandlung in

- elektrische Energie von : $\eta_{el} = 35\%$, bzw.
- thermische Energie von: $\eta_{th} = 50\%$

resultieren allerdings nur ungenügende Energiegewinne. Bei der Umwandlung in thermische Energie lassen sich maximal $2414 \frac{kWh}{d}$ erzeugen, bei der Umwandlung in elektrische Energie nur $1690 \frac{kWh}{d}$.

2.2.7.1 Alternative 1 Die Energie-Ausbeute in Abschnitt 2.2.7 läßt sich erhöhen, wenn man, sollte es eine hohe Temperaturdifferenz zwischen Betriebs- und Außentemperatur erfordern, zusätzliches Erdgas einspeist. Da Erdgas mit $10 \frac{kWh}{Nm^3}$ einen hohen Heizwert hat, käme man auf folgende Bilanz:

$$W_{Gas} + W_{Erdgas} = \frac{W_{Ges.}}{0,5}$$

$$4828 \frac{kWh}{d} + x \frac{Nm^3}{d} \cdot 10 \frac{kWh}{Nm^3} = 6834 \frac{kWh}{d}$$

$$x \frac{Nm^3}{d} = \frac{6834 \frac{kWh}{d} - 4828 \frac{kWh}{d}}{10 \frac{kWh}{Nm^3}} = 201 \frac{Nm^3}{d}$$

Die Bilanz besagt, daß $201 \frac{Nm^3}{d}$ Erdgas eingespeist werden müssen um $6838 \frac{kWh}{d}$ produzieren zu können.

$$\eta_{el} = 35\% \rightarrow W = 2393 \frac{kWh}{d}$$

$$\eta_{th} = 50\% \rightarrow W = 3419 \frac{kWh}{d} > 3417 \frac{kWh}{d}$$

Auslegung des BHKW erfolgt in Anlehnung an ein Beispielrechnung aus [8]:

- Grundlast:

$$P_{BHKW_{el}} = \frac{2400 \frac{kWh}{d}}{24 \frac{h}{d}} = 100 kW_{el}$$
 gewählt: 2 Werke zu je $50 kW_{el}$
- Hauptlast:

$$P_{BHKW_{el}} = \frac{2400 \frac{kWh}{d}}{6 \frac{h}{d}} = 400 kW_{el}$$
 gewählt: 2 Werke zu je $200 kW_{el}$

2.2.7.2 Alternative 2 Alternativ zu der Verwendung eines Blockheizkraftwerkes, welches jedoch durch die Aufgabenstellung gefordert wird (Abschnitt 1.3.3), gäbe es die Möglichkeit auf einen Heizkessel mit einem Wirkungsgrad von 90% auszuweichen. Die produzierte Energie wäre größer als die abzudeckende Energie:

$$4828 \cdot 0,9 = 4345,2 \frac{kWh}{d} > 3417 \frac{kWh}{d}$$

2.3 Maschinelle Faulschlammwässerung

Die maschinelle Faulschlammwässerung setzt eine Schlammkonditionierung voraus. Diese kann entweder aus chemischen (Kalk, Eisensalze, Polymere), mechanischen (Asche- und Kohlezugabe), thermischen (Gefrier-, Hitzeverfahren) oder sonstigen Verfahren (Waschung, Ultraschall) bestehen [8].

In vorliegenden Fall wird eine Konditionierung mittels natürlichen Polymeren vorgesehen, da eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung angeschlossen werden soll. Die genaue Wahl des Polymers kann erst nach der Erprobung in der Anlage erfolgen.

Für die Entwässerung des Schlammes werden Zentrifugen gewählt. In Tabelle 19 nach [8] werden die typischen Kenngrößen von Zentrifugen dargestellt.

Parameter	Eindickung mittels Polymer	Entwässerung
TS-Gehalt (Austrag in %)	6-10	25-35
Abscheidegrad η_{TS} in %	>90	>95
Polymerbedarf in $\frac{kg}{tTS}$	1-4	6-12
Spez. Energiebedarf in $\frac{kWh}{m^3}$	0,5-1,2	1,5-2,5

Tabelle 19: Zentrifugen-Kenngrößen

Der Nenndurchsatz $Q_{o,h}$ wird für eine Laufzeit von 8h am Tag und der Feststoffdurchsatz für $C_{o,TS} = 2,5\% = 25 \frac{kg}{m^3}$ bestimmt:

$$Q_{o,h} = 93 \frac{m^3}{d} / 8 \frac{h}{d} = 11,63 \frac{m^3}{h}; \text{ Feststoffdurchsatz} = 11,63 \frac{m^3}{h} \cdot 25 \frac{kg}{m^3} = 290 \frac{kg}{h}$$

Der Abscheidegrad ist nach [8] folgendermaßen definiert:

$$\eta_{TS} = \frac{B_{d,e,TS}}{B_{d,o,TS}} \cdot 100 = \frac{Q_o \cdot C_{o,TS}}{Q_e \cdot C_{TS,e}} \cdot 100, \text{ mit}$$

$$Q_o = 93 \frac{m^3}{d}; Q_e = \frac{B_{d,TSFS}}{C_{TS,e}} = \frac{2310 \frac{kg}{d}}{300 \frac{kg}{m^3}} = 7,7 \frac{m^3}{d}$$

$$C_{o,TS} = 2,5\%; C_{TS,e} = 30\%$$

$$\eta_{TS} = \frac{93 \cdot 2,5}{7,7 \cdot 30} \cdot 100 = 100\%$$

Polymermenge Der Polymerbedarf wird, basierend auf Tabelle 19 zu $4 \frac{kg}{tTS}$ angenommen.

$$\text{Tagesbedarf: } B_{d,TS0} \cdot \text{Polymerbedarf} = 2,342 \frac{tTS}{d} \cdot 4 \frac{kg}{tTS} = 9,4 \frac{kg}{d}$$

$$\text{Jahresbedarf: } 9,4 \frac{kg}{d} \cdot 365 \frac{d}{a} = 3,4 \frac{t}{a}$$

Der Energiebedarf wird, basierend auf Tabelle 19 zu $1,2 \frac{kWh}{m^3}$ angenommen.

$$\text{Tagesbedarf: } 93 \frac{m^3}{d} \cdot 1,2 \frac{kWh}{m^3} = 112 \frac{kWh}{d}$$

$$\text{Jahresbedarf: } 112 \frac{kWh}{d} \cdot 365 \frac{d}{a} = 40734 \frac{kWh}{a}$$

2.4 Schlammager

Bei einer geforderten Schlammagermöglichkeit von 180d (Wintermonate) kann man das benötigte Schlammagerervolumen V_{SL} bestimmen zu:

$$B_{d,TSFS} = 2310 \frac{kgTS}{d}, \text{ siehe Abschnitt 2.2.2}$$

$$C_{TS,e} = 30\% = 300 \frac{kgTS}{m^3}$$

$$V_{SL} = \frac{B_{d,TSFS}}{C_{TS,e}} \cdot 180d = \frac{2310}{300} \cdot 180d = 7,7m^3 \cdot 180d = 1386m^3 \approx 1400m^3$$

Das neue Schlammager muß ein Fassungsvermögen von $1400m^3$ besitzen. Bei einer vorhandenen Lagerkapazität von 2 Behältern zu je $750m^3$ und einem weiteren Behälter von $500m^3$ brauchen nur die beiden großen Behälter mit insgesamt $1500m^3$ Fassungsvermögen in Anspruch genommen werden.

2.5 Erforderliche landwirtschaftliche Flächen

Da laut Klärschlammverordnung die Obergrenze für die Schlammaufbringung bei maximal $5 \frac{MgTS}{ha \cdot 3a}$ liegt ([4],§6) und nur 70% dieser maximalen Schlammaufbringung laut

Aufgabenstellung in Anspruch genommen werden sollen, reduziert sich die maximale Schlammaufbringung auf $3,5 \frac{MgTS}{ha \cdot 3a}$. Die notwendige landwirtschaftliche Fläche zur Ausbringung $A_{landw.}$ beläuft sich auf:

$$B_{d,TSFS} = 2310 \frac{kgTS}{d}; B_{a,TSFS} = 2310 \cdot 365 = 843,15 \frac{MgTS}{a}$$

$$A_{landw.} = \frac{843,15 \frac{Mg}{a}}{3,5 \frac{MgTS}{ha \cdot 3a}} = 723ha$$

Da die Ausbringung des Schlammes laut Aufgabenstellung auf drei Wochen (18 WT) beschränkt sein soll, muß folgende Schlammmenge pro Tag auf den Feldern verteilt werden:

$$\frac{1386m^3}{18d} = 77 \frac{m^3}{d}$$

Literatur

- [1] e.V. Abwassertechnische Vereinigung. *ATV Handbuch Biologische und weitergehende Abwasserreinigung*. Ernst & Sohn, Berlin, 1997.
- [2] Abwassertechnische Vereinigung e. V. *Arbeitsblatt A 131 Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen ab 5000 Einwohnerwerten*. Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V., St. Augustin, 1991.
- [3] Abwassertechnische Vereinigung e.V. *ATV-Handbuch Mechanische Abwasserreinigung*. Ernst & Sohn, Berlin, 1997.
- [4] Bund. Klärschlammverordnung. 1992.
- [5] Bund. Abwasserverordnung. *Anhänge zur Abwasserverordnung*, 1997.
- [6] Prof.Dr.-Ing. K.-H. Rosenwinkel. *Einführung Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirt. I+II, Teil3: Abwasserreinigung/Abfallwirtschaft*. ISAH, 1998.
- [7] Prof.Dr.-Ing.Artur Mennerich. *Vorlesung Abwasserbehandlung I, Bemessung einer Belebungsanlage nach ATV A131*. FH Nordostniedersachsen, 1997.
- [8] Prof.Dr.-Ing.Artur Mennerich. *Vorlesung Schlammbehandlung , Unterlagen zur Vorlesung*. FH Nordostniedersachsen, 1999.
- [9] Schneider. *Bautabellen für Ingenieure*. Werner Verlag, 1998.

Abbildungsverzeichnis

1	Erste Bauphase	12
2	Zweite Bauphase	13
3	Dritte Bauphase	14

Tabellenverzeichnis

1	Frachten im häuslichen Abwasser	6
2	Frachten im gewerblichen Abwasser	6

3	Gesamtfrachten und -konzentrationen	6
4	Anforderungen an das Abwasser für die Einleitungsstelle	7
5	Anforderungen an Anlagen der Größenklasse 4	8
6	Gewässerdaten	8
7	Überlagerung der Frachten	8
8	Speicherinhalt Ausgleichsbecken	15
9	Reduzierte Frachten nach Vorklärung	16
10	Parameter Nachklärung	17
11	Nachklärbecken III	20
12	Räumersystem Nachklärbecken III	20
13	Frachten	24
14	Lastfälle	26
15	Parameter zum Nachweis der Säurekapazität	29
16	Kostenberechnung Nachklärbecken III	32
17	Parameter Schlammbehandlung	35
18	Abmessungen des Faulbehälters	37
19	Zentrifugen-Kenngrößen	38

A **Verwendete Software**

- LyX (Linux) - Textverarbeitung
- Pybliographic (Linux) - Literaturverweise
- StarOffice (Linux) - Berechnungen
- dia (Linux) - Diagramme
- Nemetschek AllPlan (Windows) - CAD

B Grundfließbild Abwasserbehandlung

C Verfahrensfießbild Abwasserbehandlung

D Lageplan

E Nachklärbecken

F Grundfließbild Schlammbehandlung