Die Errichtung und den Betrieb der neuen Kläranlage haben wir mit den Antragsunterlagen nach § 4 Abs. 1 BImSchG für die Erweiterung der Produktion am Standort Aalen am 30.10.2018 (Antragsunterlagen vom 21.09.2018) beim Regierungspräsidium Stuttgart beantragt.

3.1.2 Betriebsbeschreibung Kläranlage (nachrichtlich)

- Bestehende Kläranlage
- Erwartete CSB-Fracht nach Neubau PM5
- Neubau Kläranlage
- Mechanische Vorklärung
- Abwasserkühlung
- Anaerobe Hochlaststufe
- Biogassystem
- Belebungskaskade
- Tertiäre Reinigungsstufe
- Geänderte Betriebsweise Wärmereduzierung
- Hilfsmitteldosierung
- Maschinenhaus

Bestehende Kläranlage

In der Kläranlage der Papierfabrik Palm am Standort Aalen wird eine aerobe Belebungskaskade betrieben, um die gelösten organischen Wasserinhaltsstoffe biologisch abzubauen (Abbildung 1). Aktuell wird die Anlage mit einer BSB_5-Raumbelastung von 1,0 kg/(m³d) bzw. BSB_5-Schlammbelastung von etwa 0,25 kg/(kgd) betrieben (Tabelle 1).

Belastung PWRA Aalen	Einheit	MW	MW+s
Bd,CSB	kg/d	29.451	33.366
Bd,BSB_5	kg/d	11.637	13.879
BR,BSB_5	kg/(m³d)	0,8	1,0
BoTS,BSB_5	kg/(kgd)	0,20	0,25

Tabelle 1: Belastung Bestandsanlage

Mit dieser Anlagenkonfiguration ist es möglich bei der aktuellen Belastung im Zulauf die gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis vom 06/08/2012 - AZ: 54.3.8914.41 mit Anpassung der Erlaubnis vom 09/05/2014 - AZ: 54.3-8914.41 gültigen Genehmigungswerte für die Abwassereinleitung einzuhalten (Tabelle 2).

Ablauf PWRA Aalen	Einheit	Grenzwert	MW	MW+2s
Abwassermenge	m³/d	11.160	9.604	10.882
CSB-Fracht	kg/d	1.700	629	900
CSB	mg/l	200	65	91
BSB_5-Fracht	kg/d	110	33	85
BSB_5	mg/l	10/15	3	8
Abfiltrierbare Feststoffe	mg/l	10	4	8

Tabelle 2: Ablaufwerte Bestandsanlage

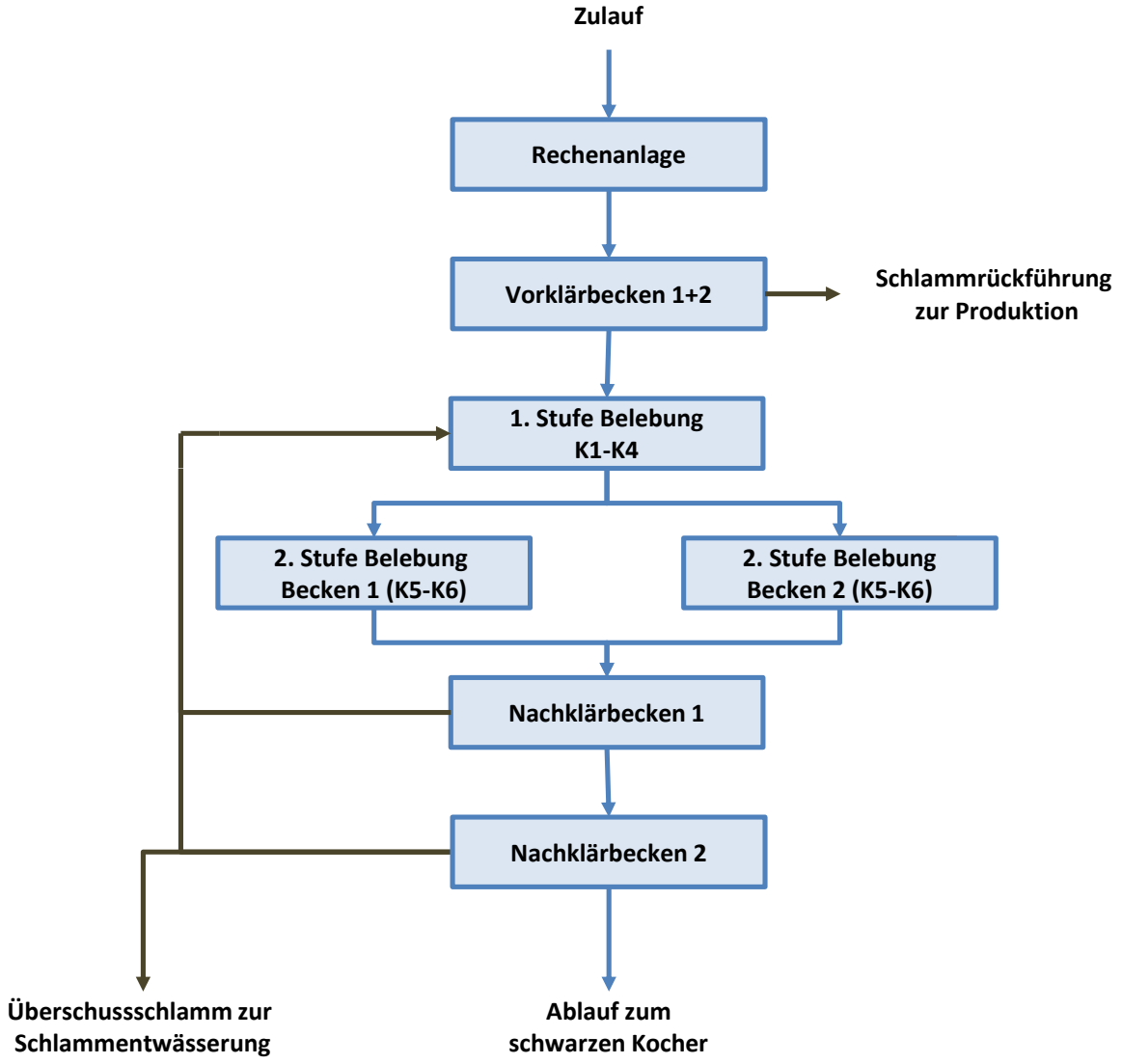

Abbildung 1: Blockbild Bestandsanlage

Erwartete CSB-Fracht nach Neubau PM5

Mit dem Neubau der PM5 ist eine deutliche Erhöhung der Produktionsmenge verbunden. Dies führt zu einer höheren CSB-Fracht im Zulauf zur Kläranlage. Um Ressourcen zu schonen soll die gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis genehmigte Abwasser- und Frischwassermenge nicht erhöht werden. Dadurch wird der spezifische Wasserbedarf pro Tonne Papier im Vergleich zum Ist-Zustand deutlich reduziert. Folge ist ein Anstieg der Prozesswasserbelastung der sich unter anderem in höheren CSB-Konzentrationen im Zulauf zur Kläranlage zeigt. Zudem sind zukünftig weitere CSB-Frachtsteigerungen durch Änderungen im Rohstoff Altpapier zu erwarten.

Um die Auswirkungen des Anstiegs der Prozesswasserbelastung auf den Produktionsprozess zu minimieren, soll biologisch gereinigtes Wasser (sogenanntes Bioreinwasser) in die Produktion zurück geführt werden (Biokidney-Konzept). Folge ist eine höhere hydraulische Belastung der Kläranlage.

Die oben genannten Gründe führen dazu, dass nach Neubau der PM5 mit einer CSB-Fracht von bis zu 96 t/d im Zulauf zur Kläranlage zu rechnen ist (Tabelle 3). Somit ist ein Ausbau/Neubau bzw. eine Erweiterung der Reinigungskapazität der Kläranlage notwendig.

Produktion				
Produktionsmenge	t/a	**750.000**	**750.000**	**750.000**
	t/d lutro	**2.268**	**2.268**	**2.800**
Altpapiereinsatz	t/d lutro	2.396	2.396	2.958
spez. CSB-Eintrag	kg/t	**32**	**40**	**32**
Abwasser				
Abwassermenge (Einleitung Vorfluter)	m³/d	**11.160**	**11.160**	**11.160**
spez. Abwassermenge	m³/t	4,9	4,9	4,0
Rückführung Bioreinwasser	m³/d	3.840	3.840	3.840
	m³/t	1,7	1,7	1,4
Zulauf Prozesswasserreinigungsanlage	m³/d	**15.000**	**15.000**	**15.000**
	m³/t	6,6	6,6	5,4
Bd,CSB	kg/d	77.000	96.000	95.000
CSB	mg/l	5.133	6.400	6.333
BSB_5/CSB		**0,50**	**0,50**	**0,50**
Bd,BSB_5	kg/d	38.500	48.000	47.500
BSB_5	mg/l	2.567	3.200	3.167

Tabelle 3: Erwartete CSB-Fracht nach Neubau PM5

Die oben aufgeführte Frachtprognose basiert auf realen spezifischen CSB-Frachten des vergleichbaren Schwesterwerks am Standort Wörth. Die angesetzte spezifische CSB-Fracht von 32 kg/t entspricht dabei dem Mittelwert plus Standardabweichung der Betriebsdaten der letzten zwei Jahre. Der Wert „*Mittelwert plus Standardabweichung*“ entspricht etwa dem 80-Perzentilwert und wird üblicherweise für die Bemessung einer biologischen Reinigungsstufe nach organischer Fracht herangezogen. Um allen Betriebszuständen gerecht zu werden, erfolgte die Berücksichtigung entsprechender Maximallastfälle (maximale Tagesproduktion, Anstieg spez. CSB-Fracht) die in Tabelle 3 und bei der Dimensionierung der biologischen Reinigungsstufen berücksichtigt wurden.

Neubau Kläranlage

Durch das neue Werkslayout im Projekt PM5 neu wird das Gelände der bestehenden Kläranlage mit anderen Produktionsanlagen überplant. Damit ist ein Neubau der Kläranlage nördlich des Werksgeländes notwendig.

Für die neue Kläranlage ist geplant, gemäß dem Stand der Technik für die Herstellung von Verpackungspapieren auf Basis von 100 % Altpapier, eine Kombination aus anaerober und aerober biologischer Reinigungsstufe einzusetzen. Dadurch kann der benötigte Platz- und Energiebedarf für die Kläranlage im Vergleich zum rein aeroben Verfahren deutlich reduziert werden. Zur Gewährleistung der gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis vom 06.08.2012 mit Anpassung vom 09.05.2014 gültigen Überwachungswerte (insbesondere BSB_5 und abfiltrierbare Feststoffe) ist eine tertiäre Reinigungsstufe bestehend aus Biofiltern und nachgeschalteten Sandfiltern vorgesehen.

Das in der Anaerobstufe entstehende Biogas soll in einer Biogasaufbereitungsanlage (BGAA) aufbereitet und anschließend in das Erdgasnetz der Stadtwerke Aalen eingespeist werden.

Abbildung 2 veranschaulicht das Konzept für die neue Kläranlage anhand eines vereinfachten Blockbilds.

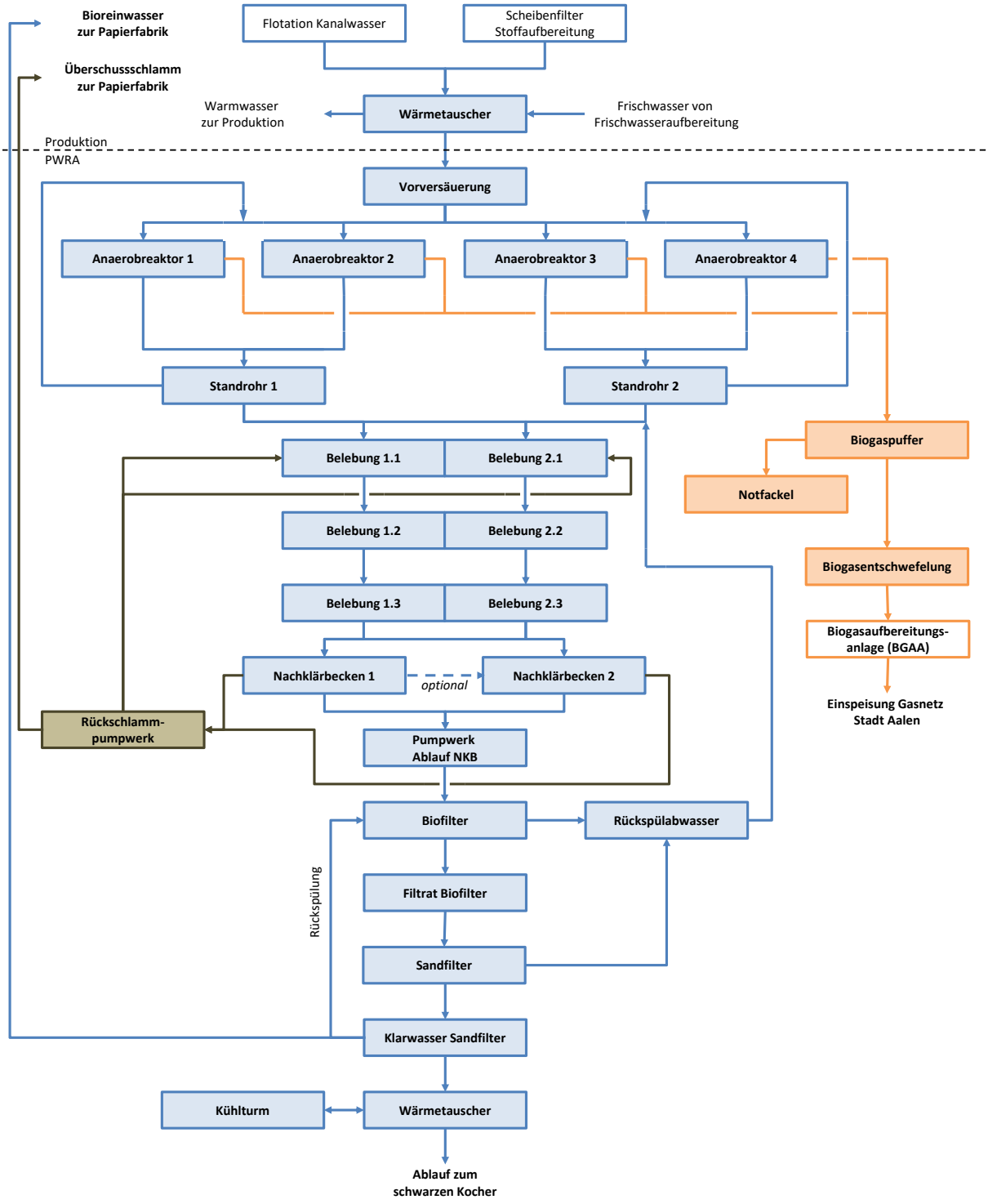

Abbildung 2: Blockbild Neubau Kläranlage

Die neue Kläranlage besteht im Wesentlichen aus folgenden Anlagenteilen und Verfahrensschritten:

- Mechanische Vorklärung: mit Flotation, Scheibenfilter (Bestandteil im BT.2 – Stoffaufbereitung)

- 1. Stufe Abwasserkühlung, bestehend aus Wärmetauschern zur Wärmerückgewinnung – Abwasser vs. Frischwasser (Bestandteil im BT.3 – Papiermaschine)
- Vorversäuerungsbehälter (am BT.3 – Papiermaschine)
- Anaerobstufe, bestehend aus vier Hochlastreaktoren und zwei Standrohren (am BT.3 – Papiermaschine)
- Biogassystem, bestehend aus einem Gasspeicher, einer Notfackel und einer Gaswäsche
- zweistraßige Belebungskaskade bestehend aus je drei Becken
- zwei Nachklärbecken
- Tertiäre Reinigungsstufe, bestehend aus vier Biofiltern und nachgeschalteten Sandfiltern (10 Stück)
- 2. Stufe Abwasserkühlung, bestehend aus Wärmetauschern und Verdunstungskühlturm zur Rückkühlung des sekundären Kühlwasserkreislaufs
- Maschinenhaus

Die einzelnen Prozessschritte werden in den nachfolgenden Kapiteln detailliert beschrieben.

Mechanische Vorklärung (BT.2 – Stoffaufbereitung)

Die Kläranlage wird mit dem Superklarfiltrat des Scheibenfilters und dem Klarwasser der Mikroflotation beschickt. Der Scheibenfilter dient zu Kreislauftrennung und ermöglicht somit die Umsetzung der Prinzipien Kreislauftrennung und Gegenstromführung. Die Mikroflotation wird zur Reinigung des anfallenden Kanalwassers eingesetzt. Beide Aggregate sind in der Stoffaufbereitung (BT. 2) geplant und dort detailliert beschrieben.

Die mechanische Feststoffabtrennung erfolgt somit bereits im Bereich der Stoffaufbereitung (BT.2) und es ist keine weitere mechanische Vorklärung im Bereich der Kläranlage vorgesehen. Um den Betrieb der nachfolgenden Reinigungsstufen nicht negativ zu beeinträchtigen sollte der Gehalt an abfiltrierbaren Feststoffen im Zulauf zur Kläranlage im Normalfall 100 mg/l (max. 150 mg/l) nicht übersteigen. Die Integration der mechanischen Vorklärung in den Produktionsprozess ist Stand der Technik und in vergleichbaren Werken umgesetzt. Beide in der Stoffaufbereitung eingesetzten Aggregate sind in der Lage bei ausreichender Dimensionierung und sachgerechtem Betrieb die oben genannten Wasserqualitäten zu erzielen.

Die Gestaltung der innerbetrieblichen Wasserkreisläufe sieht Wasserpuffer im Bereich der Stoffaufbereitung (BT.2) und Papiermaschine (BT.3) vor. Diese ermöglichen eine weitgehend konstante Ausschleusung von Prozesswasser zur Kläranlage. In der Kläranlage wird kein zusätzlicher Abwasserpuffer installiert.

Abwasserkühlung

Es wird erwartet, dass das aus der Produktion kommende Prozesswasser eine Temperatur von etwa 45 °C aufweist. Diese Temperatur liegt deutlich über dem für den mesophilen, anaeroben Abbau optimalen Temperaturbereich von etwa 36-39 °C. Außerhalb dieses Temperaturbereichs sinkt die Aktivität der anaeroben Mikroorganismen deutlich.

Aus diesem Grund ist es notwendig das Abwasser vor der biologischen Reinigungsstufe zu kühlen. Dies erfolgt mit Freistrom-Plattenwärmetauschern, wie sie beispielsweise von Kelvion

oder AlfaLaval hergestellt werden, da diese auch bei feststoffhaltigen Medien einen weitgehend verblockungsfreien Betrieb gewährleisten. Als Kühlmedium soll das in der Produktion eingesetzte Frischwasser benutzt werden, um einen Teil der im Abwasser befindlichen Abwärme zurück gewinnen zu können. Um eine optimale Regelung, Redundanz und Reinigungen zu ermöglichen, ist die Installation von drei Wärmetauschern mit 50 % Leistung geplant (Wärmetauscher 1 bis 3). Die Aufstellung erfolgt im Keller des Papiermaschinengebäudes (Bauteil BT. 3), um kurze Rohrleitungswege zu gewährleisten. Tabelle 4 zeigt die wesentlichen Kenndaten für die Dimensionierung der Plattenwärmetauscher.

1. Stufe Abwasserkühlung		**Warme Seite**	**Kalte Seite**
Volumenstrom	m³/h	625	582
Temperatur Vorlauf	°C	45	5 / 20
Temperatur Rücklauf	°C	38	12,5 / 27,5
Kühlleistung	kW	5.100	
Anzahl Wärmetauscher		2 + 1	
Abmessungen (L x B x H)	mm	2.400 x 1.100 x 3.500	

Tabelle 4: Kenndaten Freistrom-Plattenwärmetauscher Abwasser vs. Frischwasser

Zur Einhaltung des Überwachungswertes der Temperatur des in den schwarzen Kocher einzuleitenden Abwassers (30 °C im Sommer bzw. 20 °C im Winter) ist eine zweite Stufe der Abwasserkühlung im Ablauf der Kläranlage notwendig. Die Kühlung des Abwassers erfolgt ebenfalls über Freistromwärmetauscher. Als Kühlmedium wird Kühlwasser eingesetzt, welches über Verdunstungskühltürme (Kühlturm 1 bis 3) zurück gekühlt wird. Durch die Errichtung einer indirekten Kühlung des Abwassers mit sekundärem Kühlwasserkreislauf werden Geruchsemissionen minimiert.

Die Aufstellung der Wärmetauscher 4 bis 6 und der Kühltürme 1 bis 3 erfolgt neben dem Maschinenhaus der Kläranlage. Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen die wesentlichen Kenndaten für die Dimensionierung der Plattenwärmetauscher und Kühltürme.

2. Stufe Abwasserkühlung		**Warme Seite**	**Kalte Seite**
Volumenstrom	m³/h	465	465
Temperatur Vorlauf	°C	38	26
Temperatur Rücklauf	°C	30	34
Anzahl Wärmetauscher		2 + 1	
Abmessungen (L x B x H)	mm	5.900 x 1.100 x 3.500	

Tabelle 5: Kenndaten Freistrom-Plattenwärmetauscher Abwasser vs. Kühlwasser

Die Kühltürme 1 bis 3 werden gemäß den Anforderungen zum hygienegerechten Betrieb von Verdunstungskühlanlagen nach 42. BImSchV bzw. VDI-Richtlinie 2047 Blatt 2 gestaltet. Insbesondere werden konstruktive Maßnahmen berücksichtigt, um die Verunreinigung des Kühlwassers durch Mikroorganismen, insbesondere Legionellen zu vermeiden. Eine Betriebskontrolle erfolgt durch kontinuierliche Messung von Temperatur, pH-Wert und Leitfähigkeit des Kühlwassers. Die gemäß 42. BImSchV notwendigen mikrobiologischen Kontrollen erfolgen durch geeignete Labore.

2. Stufe Abwasserkühlung		**Kühlwasser**
Volumenstrom	m³/h	465
Temperatur Vorlauf	°C	34

Temperatur Rücklauf	°C	26
Feuchtkugeltemperatur	°C	22
Anzahl Kühltürme		3
Ventilator	kW	22
Länge	m	5.1
Breite	m	3,9
Höhe	m	5,3

Tabelle 6: Kenndaten Verdunstungskühltürme

Anaerobe Hochlaststufe

Als erste biologische Reinigungsstufe ist eine anaerobe Hochlaststufe vorgesehen. Die anaerobe Abwasserreinigung stellt heutzutage den Stand der Technik im Bereich der Rohwellpappen-Herstellung auf Basis von 100 % Altpapier dar. Vorteile gegenüber einem rein aeroben Verfahren sind der geringere Energiebedarf bei gleichzeitiger Gewinnung von energetisch hochwertigem Biogas, der geringere Platzbedarf und der geringe Schlammanfall. Darüber hinaus werden in anaeroben Hochlaststufen insbesondere die leicht abbaubaren Substanzen abgebaut, die in Belebungsanlagen zu Betriebsstörungen, wie z. B. Bläh-schlammbildung beitragen können.

Der anaerobe Abbau erfolgt in 4 Teilschritten: Hydrolysephase, Versäuerungsphase, acetogene Phase und methanogene Phase. In der Papierindustrie üblich ist ein 2-stufiger Prozess, bei dem die ersten zwei Schritte in einem vom eigentlichen Reaktor räumlich getrennten, sogenannten Vorversäuerungsbehälter stattfinden.

Verweilzeit	4	h
Volumen	2.500	m³
Durchmesser unten	8,5	m
Durchmesser oben	13	m
Höhe	28	m
Rührwerk	0,02	kW/m³
	50	kW
Werkstoff	1.4571 oder gleichwertig	

Tabelle 7: Kenndaten Vorversäuerungsbehälter

Der Vorversäuerungsprozess benötigt, abhängig vom Versäuerungsgrad im Zulauf zur Kläranlage eine Verweilzeit von bis zu 4 Stunden. Ausgehend von der maximalen Abwassermenge von 625 m³/h wird somit ein Tankvolumen von 2.500 m³ benötigt (Tabelle 7). Um die Bildung von Ablagerungen zu vermeiden wird der Vorsäuerungsbehälter mit einem Rührwerk ausgestattet. Die Vorversäuerung wird direkt aus der Produktion mit gekühltem Prozesswasser beschickt. Durch Anpassung des genutzten Füllstands kann die Verweilzeit im Vorversäuerungsbehälter entsprechend dem Versäuerungsgrad angepasst werden. Die weiteren Schritte des anaeroben Abbaus, Acetogenese (Essigsäurebildung) und Methano-genese (Methanbildung) finden dann in den eigentlichen Reaktoren statt. Aus dem Vorversäuerungsbehälter wird das vorversäuerte Prozesswasser durch drehzahlgeregelte Pumpen entnommen und den Reaktoren zugeführt. Der Vorversäuerungsbehälter wird als „Milchkanne“ ausgeführt und im Bereich der Stofftürme im Außenbereich der Stoffaufbereitung (BT.2) aufgestellt.

Für die anaerobe Reinigungsstufe sind vier Reaktoren (Hochlastreaktor 1 bis 4) vorgesehen. Zunächst ist geplant drei Hochlastreaktoren mit einer Kapazität von jeweils 25 t CSB pro Tag zu installieren. Für die zu erwartende Frachtsteigerung werden jedoch schon die Aufstellvoraussetzungen für einen vierten Hochlastreaktor mit ebenfalls 25 t/d vorbereitet. Die Aufstellung der Hochlastreaktoren erfolgt aufgrund der Bauhöhe neben der Papiermaschine (BT. 3).

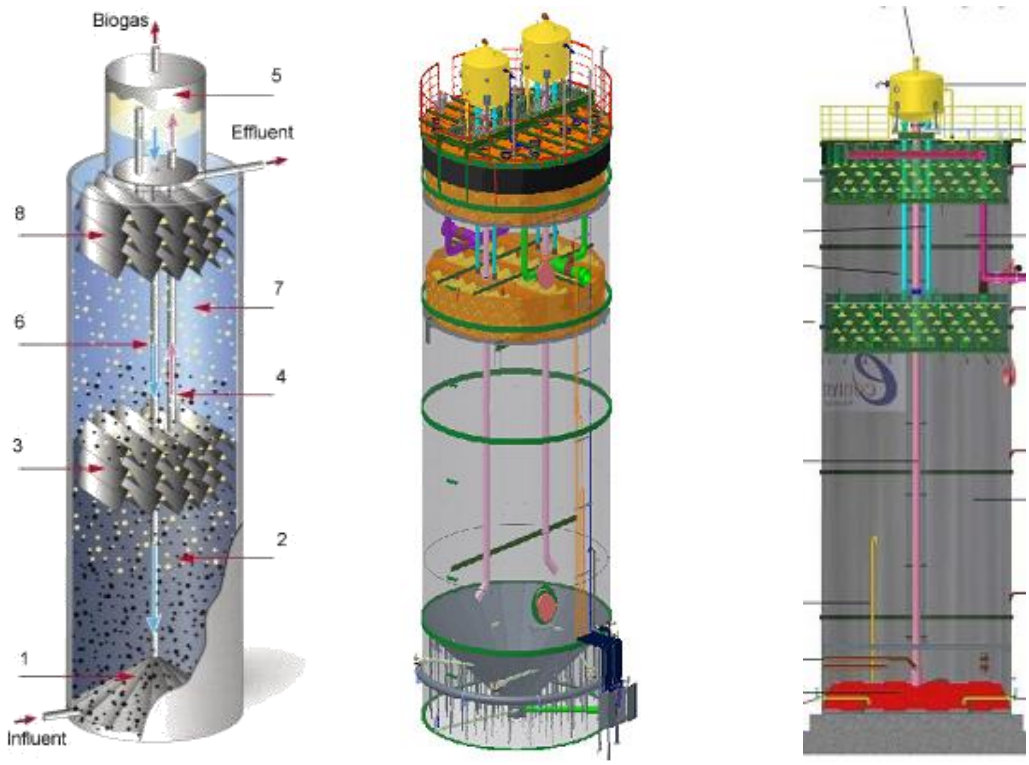

Abbildung 3: Prinzipschemata Hochlastreaktoren: v.l.n.r. IC (Paques), R2S (Voith) und IR-Reaktor (Econvert)

Moderne Hochlastreaktoren (Abbildung 3), wie sie z. B. von den Firmen Voith, Paques und Econvert angeboten werden, verfügen über ein serielles Feststoff- und Gastrennsystem. Diese Serienschaltung wird durch das Übereinanderstellen zweier Reaktorbereiche erreicht. Durch den zweistufigen Aufbau der Reaktoren können CSB-Raumbelastungen von 20-25 kg/(m³d) bewältigt werden.

Der Zulauf wird in diesen Reaktoren durch ein Verteilsystem am Boden zugeleitet und dort mit Pelletschlamm und zirkuliertem Ablauf vermischt. Der untere Reaktorabschnitt enthält ein expandierendes Schlammbett. Hier wird der Hauptteil des CSB durch Mikroorganismen in Biogas umgesetzt. Das im unteren Bereich produzierte Biogas wird im ersten Abscheider gesammelt und erzeugt dort einen Gasauftrieb, mit welchem das Gas-Wasser-Gemisch durch den sogenannten „Riser“ in den Entgasungsbehälter am Reaktorkopf gefördert wird. Hier werden Gas- und Flüssigphase voneinander getrennt. Das Schlamm-Wasser-Gemisch wird über die sogenannte „Downer“-Leitung zum Reaktorboden zurückgeführt – internal circulation (IC). Das produzierte Biogas verlässt den Reaktor am Reaktorkopf. Im zweiten, schwächer belasteten Reaktorteil wird das Abwasser nachbehandelt und anschließend ausgeleitet. Der Reaktorbehälter muss aus Sicherheitsgründen sowohl gegen Über- als auch gegen Unterdruck geschützt werden.

Wesentliches Auslegungskriterium ist die CSB-Raumbelastung. Zum anderen geht auch die Aufströmgeschwindigkeit im Reaktor in die Dimensionierung mit ein. Diese Geschwindigkeit muss kleiner als die Sinkgeschwindigkeit der für das Schlammbett benutzten Pellets sein,

damit diese nicht durch die Strömung mitgerissen werden. Da sich die Bauarten der einzelnen Hochlastreaktoren je nach Lieferanten geringfügig unterscheiden, können die endgültigen Abmessungen erst nach einer Vergabe festgelegt werden. Die wesentlichen Auslegungsdaten für die Dimensionierung der für den Neubau der Kläranlage benötigten **Hochlastreaktoren**, sind in Tabelle 8 aufgeführt. Detaildaten zur Bemessung der anaeroben Hochlaststufe können Tabelle 10 entnommen werden.

CSB-Zulauffracht	77 t/d	96 t/d
Anzahl Reaktoren	3	4
CSB-Fracht je Reaktor	25,6 t/d	24 t/d
CSB-Raumbelastung	21,6 kg/(m³d)	20,2 kg/(m³d)
Volumen Reaktor	1.200 m³	1.200 m³
Durchmesser	7,3 m	7,3 m
Höhe Wasserspiegel	28 m	28 m
Ausführung	geschweißten Vollmantelbehälter	
Werkstoff	1.4571 oder gleichwertig	

Tabelle 8: Auslegungsdaten Hochlastreaktoren

Der Aufstieg zum Reaktordach wird über eine Spindeltreppe mit Zwischenpodesten ermöglicht. Ein Laufsteg verbindet die Reaktoren und ermöglicht ebenso das Erreichen der Ablauf-Standrohre. Die Reaktoren werden mit einem umlaufenden Geländer versehen.

Das in den Hochlastreaktoren behandelte Prozesswasser verlässt die Hochlastreaktoren im oberen Bereich und gelangt in zwei Standrohre (Tabelle 9) zur Entgasung. Diese sind im oberen Teil mit dem Gasraum der Hochlastreaktoren verbunden. Es ist vorgesehen jeweils zwei Reaktoren mit einem Standrohr zu verbinden. Von den Standrohren wird das vorbehandelte Prozesswasser in die nachfolgende Belebungsstufe geführt.

Zusätzlich ist eine externe Rezirkulation vorgesehen. Diese erfolgt über drehzahlgeregelte Pumpen aus den Standrohren und dient dazu die Bedingungen im Zulauf zu den Hochlastreaktoren (CSB-Konzentration, pH-Wert) auf für den Prozess optimale Werte einstellen zu können und um eine gleichmäßige hydraulische Belastung in den Hochlastreaktoren zu gewährleisten. Die Pumpen werden so ausgelegt, dass eine Rezirkulation von bis zu 200 % des maximalen Zulaufs möglich ist.

Anzahl	2
Durchmesser	1,8 m
Höhe	28 m
Volumen	66 m³
Werkstoff	1.4571 oder gleichwertig

Tabelle 9: Kenndaten Standrohre

Anaerobstufe

Vorversäuerung				
Abwassermenge	m³/h	625	625	625
Benötigte hydraulische Verweilzeit	h	**4,0**	**4,0**	**4,0**
Volumen VVS benötigt	m³	2.500	2.500	2.500
gewählt	m³	**2.500**	**2.500**	**2.500**
maximale hydraulische Verweilzeit	h	4,0	4,0	4,0
Anaerobreaktor				
CSB-Fracht	kg/d	77.000	96.000	95.000
Durchmesser	m	**7,3**	**7,3**	7,3
Querschnittsfläche	m²	42	42	42
Höhe Wasserspiegel	m	**28**	**28**	**28**
Anzahl Reaktoren	Stück	**3**	**4**	**4**
Volumen je Reaktor	m³	1.188	1.188	1.188
Durchflussmenge (ohne Rezirkulation)	m³/h	625	625	625
Hydraulische Verweilzeit	h	5,7	7,6	7,6
Aufströmgeschwindigkeit	m/h	4,9	3,7	3,7
Rezirkulation	%	**125%**	**200%**	**200%**
Durchflussmenge (mit Rezirkulation)	m³/h	1.406	1.875	1.875
Minimale hydraulische Verweilzeit	h	2,5	2,5	2,5
maximale Aufströmgeschwindigkeit	m/h	11,1	11,1	11,1
CSB-Fracht je Reaktor	kg/d	25.667	24.000	23.750
CSB-Raumbelastung	kg/(m³/d)	21,6	20,2	**20,0**
CSB-Wirkungsgrad	%	**75%**	**75%**	**75%**
BSB-Wirkungsgrad	%	**80%**	**80%**	**80%**
CSB-Fracht zur Aerobstufe	kg/d	19.250	24.000	23.750
CSB-Konzentration Zulauf Aerobstufe	mg/l	1.283	1.600	1.583
BSB-Fracht zur Aerobstufe	kg/d	7.700	9.600	9.500
BSB-Konzentration Zulauf Aerobstufe	mg/l	513	640	633
BSB/CSB		0,40	0,40	0,40
Standrohr				
Anzahl Standrohre	Stück	**2**	**2**	**2**
Volumenstrom mit Rezirkulation	m³/h	1.406	1.875	1.875
Volumenstrom je Standrohr	m³/h	703	938	938
Durchmesser Standrohr	m	**1,8**	**1,8**	**1,8**
Querschnitsfläche	m²	2,5	2,5	2,5
Geschwindigkeit Standrohr	m/h	276	368	368
Biogas				
Methan-Konzentration		**70%**	**70%**	**70%**
Spezifische Biogasbildung	Nm³/kg $CSB_{elim.}$	**0,45**	**0,45**	**0,45**
Biogasmenge	Nm³/d	25.988	32.400	32.063
	Nm³/h	1.083	1.350	1.336
Methanmenge	Nm³/d	18.191	22.680	22.444
	Nm³/h	758	945	935
Verbrennungsleistung	kWh/d	181.913	226.800	224.438
	kW	7.580	9.450	9.352

Tabelle 10: Bemessung Anaerobstufe

Biogassystem

Das in den Hochlastreaktoren gebildet Biogas soll ins Erdgasnetz der Stadtwerke Aalen eingespeist werden. Hierzu ist eine Aufbereitung des entstehenden Gases auf Erdgasqualität notwendig. Die erste Stufe des den Reaktoren nachgeschalteten Gassystems stellt dabei ein Gasspeicher dar. Dieser soll Mengenschwankungen, die bei der Gasbildung in den Hochlastreaktoren auftreten können (Schwankungen von bis zu 50 % sind möglich), ausgleichen und somit dazu beitragen die benötigten Dimensionen der nachgeschalteten Aggregate zu reduzieren. Aus diesem Grund wird der Gasspeicher sinnvollerweise auf der Rohgasseite installiert.

Es ist vorgesehen als Gasspeicher einen Stahlbehälter mit innenliegendem Gassack in zylindrischer Ausführung (Abbildung 4)zu installieren. Ein Stützluftgebläse bläst je nach Füllstand Umgebungsluft zwischen den Behälter und den Gassack und sorgt damit dafür, dass unabhängig vom Füllstand des Gasspeichers ein konstanter Gasdruck im System erzeugt wird. Zusätzlich wird der Gasraum mit einer Füllstandsmessung überwacht. Der Füllstand im Gasspeicher wird über die Abnahmemenge der nachgeschalteten Biogasaufbereitungsanlage geregelt.

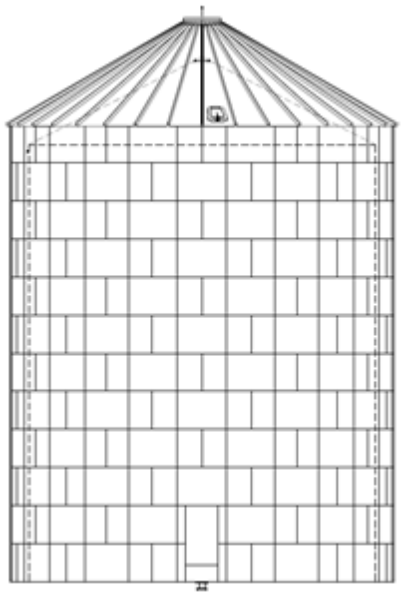

Abbildung 4: Gasspeicher (Quelle: Tecon)

Gasspeicher in Neuanlagen im Industriebereich werden in der Regel auf eine nominelle Verweilzeit von etwa 0,5 h ausgelegt, um den Schwankungen bei der Gaserzeugung gerecht zu werden.

Volumen		650	m³
Gasmenge	1.350	1.750	m³/h
Verweilzeit	0,5	0,4	h
Durchmesser		6	m
Höhe		22,5 + 1,5	m
Werkstoff	Kunststoffmembran		

Tabelle 11: Kenndaten Gassack

Der bestimmungsgemäße Betrieb sieht vor, dass das Biogas in der Biogasaufbereitungsanlage aufbereitet wird und anschließend in das Erdgasnetz der Stadt Aalen eingespeist wird. Alternativ ist vorgesehen, dass das Biogas als Zusatzbrennstoff im Kraftwerk

verwertet werden kann. Der Prozess der bakteriellen Gasproduktion kann bei Bedarf nicht einfach gestoppt werden. Selbst wenn der Prozesswasserzulauf abgestellt wird, ist damit zu rechnen, dass noch über einen Zeitraum von mehreren Stunden Biogas entsteht. Aus Sicherheitsgründen muss deshalb eine Notfackel installiert werden. In Fällen, in denen das Biogas nicht von den bestimmungsgemäß vorgesehenen Verbrauchern (Biogasaufbereitungsanlage, Kraftwerk) abgenommen werden kann, ist durch diese Konstellation eine sichere Verbrennung des Biogases möglich. Dies gilt insbesondere für einen plötzlichen Ausfall der elektrischen Energieversorgung, so dass die Notfackel mit einer entsprechenden Notstromversorgung ausgerüstet sein muss. Die Biogasfackel dient im Normalbetrieb als Sicherheitseinrichtung und wird nur als Notfackel betrieben. Die Fackel ist somit nur für nicht-bestimmungsgemäßen Betrieb vorgesehen.

Die Notfackel wird auf der Rohgasseite installiert. Damit ist es möglich den Füllstand des Gaspuffers auch bei voller Beladung der Hochlastreaktoren und maximaler Gasproduktion zu senken, ohne gleichzeitig den nachgeschalteten Gaswäscher hydraulisch zu überlasten. Gleichzeitig kann damit ein unzulässiger Druckanstieg im Gassystem vermieden werden. Die automatische Steuerung der Fackel wird über den Füllstand des Biogaspuffers ausgeführt. Zusätzlich erfolgt die Steuerung auch über den Biogasdruck (untergeordnet). Die Verbrennungsvorgänge in der Gasfackel werden kontinuierlich überwacht (Flammenüberwachung mittels UV-Sonde und Temperaturmessung). Damit ist es z. B. bei Verlöschen der Flamme möglich die Gaszufuhr zur Gasfackel sofort zu stoppen bzw. neue Startvorgänge einzuleiten.

Es ist eine vollautomatisch arbeitende Hochtemperaturfackel entsprechend Abschnitt 5.4.8.1a2.1 der TA Luft mit verdeckter Flamme und einem maximalen Durchsatz von 2.000 m³/h Rohgas vorgesehen, wie sie beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt ist. Die Verbrennungstemperatur beträgt 1.000 °C und die Aufenthaltszeit ist > 0,3 s.

Abbildung 5: Hochtemperatur-Fackel mit verdeckter Flamme (Quelle: Ennox)

Das in den Hochlastreaktoren gebildete Biogas kann bis zu 10.000 ppm Schwefelwasserstoff enthalten. Im Mittel ist mit einem H_2S-Gehalt von etwa 7.000 ppm zu rechnen. Um den Schwefelwasserstoffgehalt vor der nachgeschalteten Biogasaufbereitungsanlage (BGAA) auf < 100 ppm zu reduzieren ist die Installation einer Gaswäsche notwendig. Hierfür ist ein reduktiver Natronlaugewäscher geplant, bei dem die Natronlauge-Lösung in einem Bioreaktor durch Bakterien kontinuierlich regeneriert wird. Dieses Verfahren (Abbildung 6) ist abhängig vom Hersteller unter den Namen Thiopac, DSulph oder Sulfothane bekannt und hat gegenüber den oxidativen Biorieselbettreaktoren den Vorteil einer geringeren Verstopfungsanfälligkeit. Darüber hinaus wäre der bei den Biorieselbettreaktoren eingebrachte Sauerstoff kontraproduktiv für die anschließend geplante Einspeisung in das Erdgasnetz.

Der enthaltene Schwefelwasserstoff wird mit Hilfe einer Natronlauge-Lösung im Schwefel-Abscheider zunächst aus dem Biogas gewaschen und anschließend im Bioreaktor durch Bakterien zu elementarem Schwefel oxidiert. Der Schwefel wird in einem Absetzbehälter von der Waschflüssigkeit abgetrennt und als Schwefelschlamm über die Ablaufleitung der Anaerobreaktoren in die Belebungsbecken ausgeschleust. Der Absetzbehälter kann entweder in den Bioreaktor integriert oder als separater Behälter ausgeführt werden. Die Waschflüssigkeit wird auf diese Weise regeneriert und erneut zur Aufnahme von Schwefelwasserstoff verwendet (Kreislaufführung zwischen Wäscher und Bioreaktor). Damit kann der Laugenbedarf im Vergleich zu einem reinen NaOH-Wäscher deutlich reduziert werden. Zur Versorgung der Bakterien im Bioreaktor wird eine Nährstofflösung zugegeben.

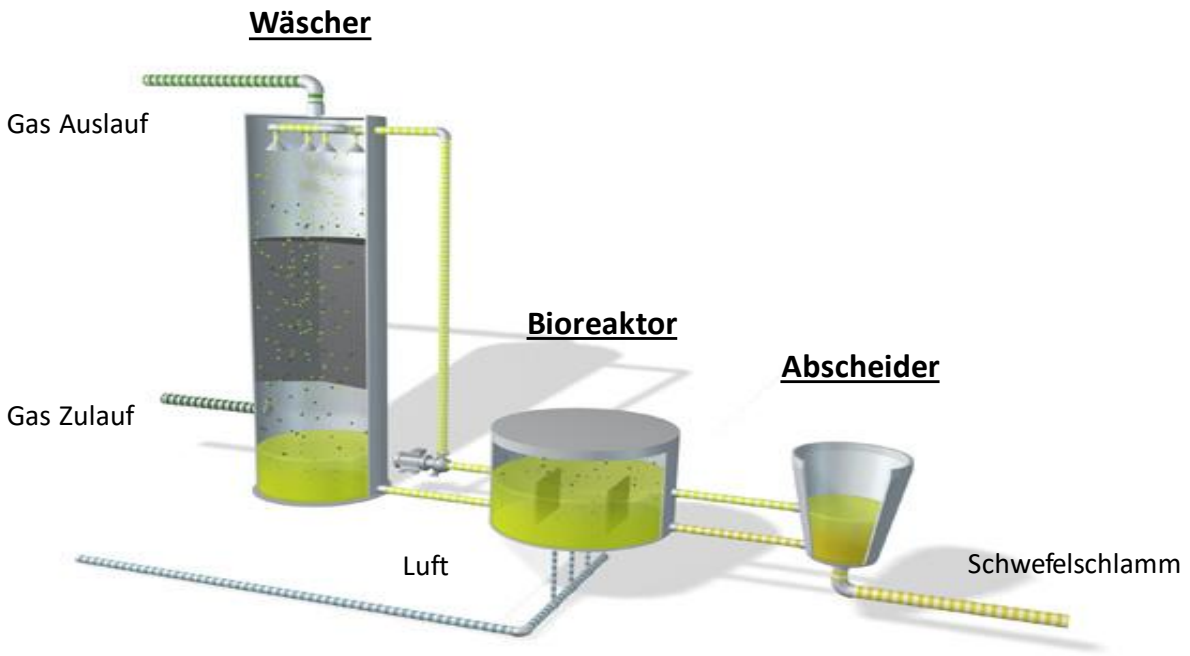

Abbildung 6: Reduktiver Natronlaugewäscher (Quelle: Veolia)

Von der Gaswäsche gelangt das Biogas zur Biogasaufbereitungsanlage (BGAA), die das entschwefelte Biogas auf Erdgasqualität aufbereitet (inklusive Gastrocknung). Diese wird im Kapitel 5.6.5 beschrieben.

Belebungskaskade

Da in anaeroben Hochlastreaktoren kein vollständiger biologischer Abbau möglich ist, muss eine aerobe Schwachlaststufe nachgeschaltet werden. In dieser werden durch das sogenannte Belebtschlammverfahren die noch vorhandenen Inhaltsstoffe des Abwassers durch aerobe Bakterien weiter abgebaut. Hierfür ist der Bau einer Belebungskaskade geplant. Die Kaskadierung schränkt die Verweilzeitverteilung des Abwassers in der Belebungsstufe

ein, ermöglicht die Ausbildung eines Substratgradienten und ist somit von Vorteil für die Schlammcharakteristik. In Kombination mit der vorgeschalteten Hochlaststufe kann somit das Risiko aerober Schlammentartungsphänomene (Blähschlamm, Schwimmschlamm) minimiert werden. Zudem ist ein 2-straßiger Aufbau Belebung 1.1 bis 1.3 und Belegung 2.1 bis 2.3 geplant, bei dem jedes Becken einzeln umfahren werden kann. Somit wird eine weitgehende Flexibilität für Wartungs- und Reinigungsarbeiten ermöglicht, ohne dass die ganze Anlage außer Betrieb gesetzt werden muss.

Da die Kläranlage ohne Anaerobstufe in Betrieb genommen werden soll, um bei laufender Produktion der Bestandsanlagen den Neubau der PM5 zu ermöglichen, wird die Belebungsstufe so dimensioniert, dass das verfügbare Belebungsvolumen dem Volumen der bestehenden Kläranlage entspricht (14.000 m³). Um nach Inbetriebnahme der Anaerobstufe die Belastung der Belebungsstufe gezielt auf die dann geringere Fracht einstellen zu können wird eine Niveauregelung für die Belebungsbecken vorgesehen (Abbildung 7). Zusätzlich kann durch Anpassung des oTS-Gehalts im Belebungsbecken die Schlammbelastung gesteuert werden. Die maximale Wassertiefe ist mit 11,3 m geplant (Tabelle 12). Details zur Bemessung können Tabelle 14 bis Tabelle 16 entnommen werden.

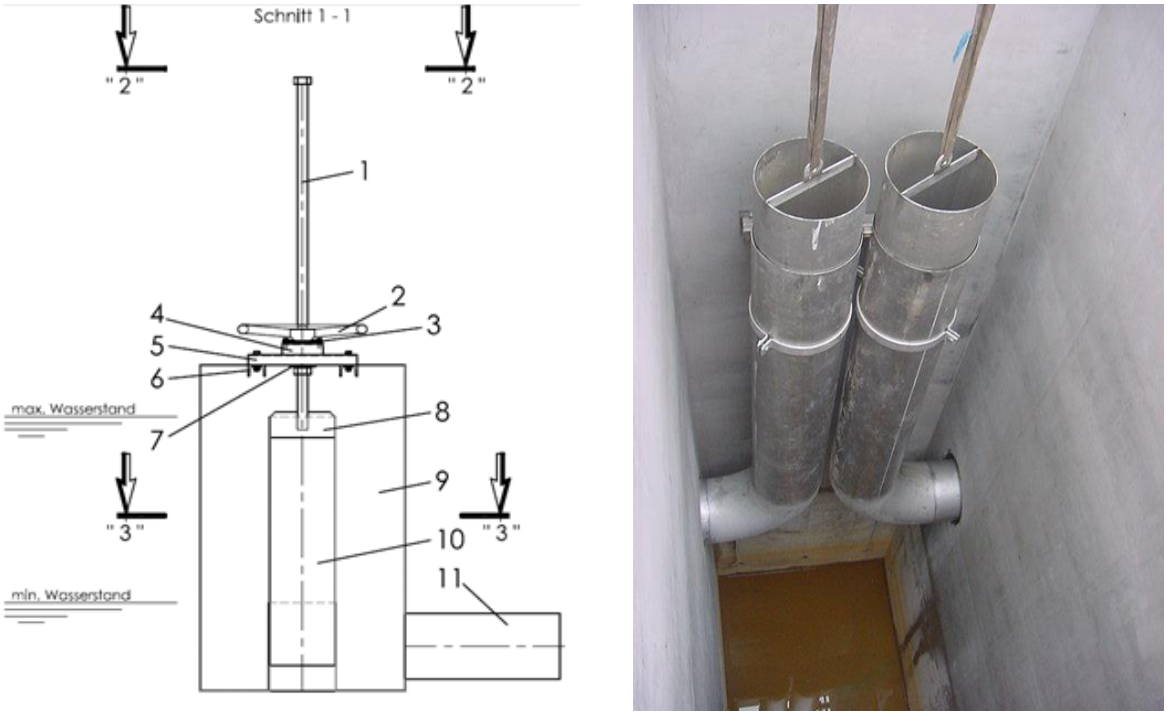

Abbildung 7: Niveauregelung Belebungsbecken: einstellbarer Überlaufkasten (links) bzw. Teleskoprohr (rechts)

Belebungskaskade		**Produktion Bestand** ohne Anaerobstufe	**Produktion PM5 Neu** mit Anaerobstufe
B_d,BSB_5	kg/d	13.879	9.600
oTS	g/l	4,0	4,0
$B_{oTS}BSB_5$	kg/(kgd)	0,25	0,20
Belebungsvolumen	m³	14.000	12.000
Wassertiefe	m	11,5	9,9
Werkstoff		Beton	

Tabelle 12: Kenndaten Belebungskaskade

In den jeweils ersten Becken der Belebungskaskaden wird eine sauerstoffarme Fahrweise (0,5 mg/l) gefahren. Im weiteren Verlauf der Belebungskaskade erfolgt dann ein höherer Sauerstoffeintrag. Bei Maximalfracht liegt die aufzubringende Luftmenge für die Belebungskaskade bei einer Abwassertemperatur von 37 °C bei etwa 14.400 Nm³/h. Das Volumen der ersten Kaskadenstufe beträgt 25 % des Gesamtvolumens. Das restliche Volumen verteilt sich gleichmäßig auf die zweite und dritte Kaskade.

Für die Belüftung der neuen Belebungskaskaden ist eine fein- bis mittelblasige Tiefenbelüftung vorgesehen. Aufgrund wirtschaftlicher Gesichtspunkte ist zum jetzigen Zeitpunkt noch keine finale Festlegung des Lieferanten erfolgt. Wesentliche technische Voraussetzung ist die Kompatibilität mit den zu erwartenden Kalkausfällungen und die Möglichkeit die Belüfterelemente ohne Entleerung des Beckens reinigen zu können (ziehbare Ausführung). Ein geeignetes Verfahren stellen Hyperboloidrührwerke dar, die als Rühr- und Begasungssystem eine effiziente Sauerstoffzufuhr in der biologischen Stufe ermöglichen. Ein alternatives Verfahren sind mehrstrahlige Wasserstrahl-Luftverdichter (Abbildung 8). Neben der Aufgabe der Sauerstoffzufuhr wird mit beiden Verfahren auch die wichtige Funktion des Durchmischens und der Vermeidung von Ablagerungen erfüllt.

Abbildung 8: Hyperclassic Rühr- und Begasungssystem (Quelle: Invent) und Wasserstrahl-Luftverdichter (Quelle: Körting)

Die Luft für die Tiefenbelüftung wird über Turboverdichter bereitgestellt. Diese werden im Maschinenhaus untergebracht. Pro Belebungslinie ist ein drehzahlgeregelter Verdichter geplant, um den Luftbedarf abzudecken. Zusätzlich steht ein Reserve-Verdichter bereit um eine redundante Versorgung zu gewährleisten.

Nach der Belebungskaskade wird das biologisch gereinigte Prozesswasser im Freigefälle zwei parallel geschalteten Nachklärbecken 1 und 2 zugeführt. Hierfür werden zwei Rundklärbecken mit einer Wassertiefe von jeweils 4,25 m gebaut (Tabelle 13). Aufgrund sehr guter Betriebserfahrungen mit einer Reihenschaltung von Nachklärbecken, wird die Option einer Reihenschaltung vorgesehen.

Beide Becken werden mit einem Saugräumer ausgestattet. Diese arbeiten nach dem Heberprinzip und fördern den abgesetzten Schlamm ins Mittelbauwerk (Abbildung 9). Um ggf. auftretenden Schwimmschlamm abziehen zu können, wird ein zusätzlicher Schwimmschlammräumer an der Räumerbrücke integriert.

Details zur Bemessung können Tabelle 17 entnommen werden.

Anzahl	2
Durchmesser	38 m

Klärfläche	2 x 1.100	m²
Klärflächenbelastung	0,3	m³/(m²h)
Wassertiefe	4,25	m
Werkstoff	Beton	

Tabelle 13: Kenndaten Nachklärbecken

Das Klarwasser beider Becken wird in einem Pumpwerk gesammelt und niveaugeregelt zur tertiären Reinigungsstufe gepumpt. Der Rückschlamm beider Becken wird ebenfalls in einem Rückschlamm Pumpwerk gesammelt und von dort mit Hilfe von zwei drehzahlgeregelten Rückschlamm Pumpen 1 und 2 in die erste Stufe der Belebungskaskade zurück gepumpt (Rückschlammverhältnis jeweils max. 200 %). Der anfallende Überschussschlamm wird in Produktion gefördert und mit den dort anfallenden Schlämmen und Rejekten entwässert. In der Kläranlage ist keine Schlammentwässerung vorgesehen.

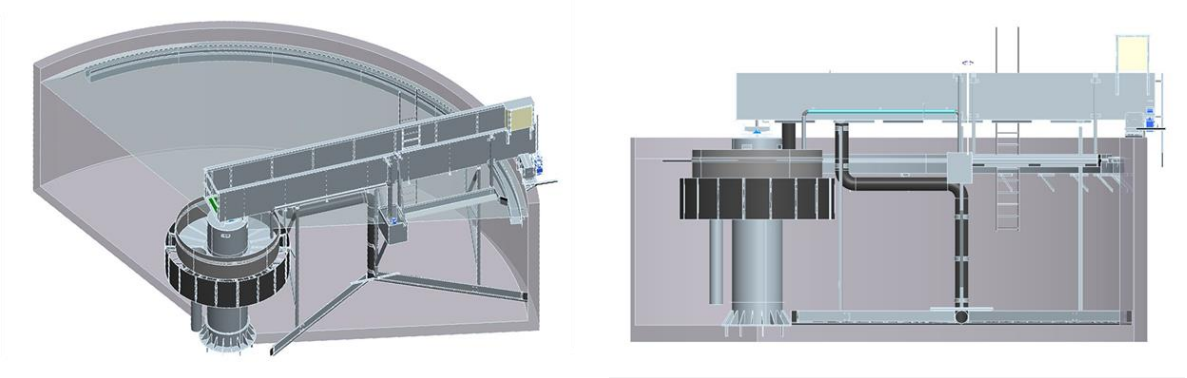

Abbildung 9: Saugräumer mit Schwimmschlammräumer (Quelle: AWT)

Übersicht Szenarien		PM5 Neu	PM5 Neu	PM5 Neu	Produktion Bestand
Produktionsmenge		2.268	2.268	2.800	
spezifische CSB-Fracht		32	40	32	
CSB-Abbau Anaerobie		75%	75%	75%	---
Belebungsstufe Kaskade1					
Abwassermenge	m³/d	**15.000**	**15.000**	**15.000**	**10.567**
BSB/CSB		0,40	0,40	0,40	0,42
BSB-Fracht	kg/d	**7.700**	**9.600**	**9.500**	**13.879**
BSB-Einlaufkonzentration	mg/l	513	640	633	1.313
CSB-Fracht	kg/d	**19.250**	**24.000**	**23.750**	**33.366**
CSB-Konzentration	mg/l	1.283	1.600	1.583	3.158
BSB-Raumbelastung	kg/(m³d)	2,57	3,20	3,17	3,97
BSB-Schlammbelastung	kg/(kgd)	0,64	0,80	0,79	0,99
BSB-Abbauwirkungsgrad	%	**75**	**75**	**75**	**75**
CSB-Abbauwirkungsgrad	%	**50**	**50**	**50**	**50**
Abwassertemperatur	°C	**37**	**37**	**37**	**37**
Wassertiefe	m	**9,9**	**9,9**	**9,9**	**11,5**
Belebungsvolumen	m³	**3.000**	**3.000**	**3.000**	**3.500**
Bodenfläche	m²	303	303	303	310
oTS-Gehalt in der Belebung	g/l	**4,0**	**4,0**	**4,0**	**4,0**
BSB-Fracht an BB2	kg/d	1.925	2.400	2.375	3.470
BSB-Konzentration an BB2	mg/l	128	160	158	328
CSB-Fracht an BB2	kg/d	9.625	12.000	11.875	16.683
CSB-Konzentration an BB2	mg/l	642	800	792	1.579
Luftbedarf Kaskade1					
Sauerstoffübertragungsfaktor	-	**0,70**	**0,70**	**0,70**	**0,70**
O2 - Konzentration	mg/l	**0,5**	**0,5**	**0,5**	**0,5**
Sauerstoffsättigungskonzent.	mg/l	7,0	7,0	7,0	7,0
Faktor für aktiven TS-Anteil		**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**
spez. Sauerstoffverbrauch	kg O2 / m³ *d	2,2	2,5	2,5	2,9
spez. Sauerstoffzufuhr	kg O2 / m³ *d	3,4	3,8	3,8	4,4
Sauerstofflast	kg O2 / kg BSB	1,0	0,9	0,9	0,9
Sauerstoffzufuhr	kg O2 / d	10.056	11.489	11.413	15.424
Eintauchtiefe	m	9,9	9,9	9,9	11,3
spez. Energiebedarf	kW/mET*Nm³/min	0,234	0,234	0,234	0,234
gewählter spez. O2-Eintrag	g O2/Nm³ Luft*mET	**12**	**12**	**12**	**12**
erford. mittlere Luftzufuhr	Nm³/d	84.646	96.708	96.073	113.750
Faktor f.stündl. Frachtschw.		**1,1**	**1,1**	**1,1**	**1,1**
Abwassertemperatur	°C	37	37	37	37
max. stündl. Luftzufuhr	Nm³/h	3.880	4.432	4.403	5.214
	Nm³/min	65	74	73	87
Kraftbedarf Nettoaufnahme	kW	150	171	170	230

Tabelle 14: Bemessung aerobe Belebungskaskade – Kaskade 1

Belebungsstufe Kaskade2					
Abwassermenge	m³/d	15.000	15.000	15.000	10.567
BSB/CSB		0,20	0,20	0,20	0,21
BSB-Fracht	kg/d	1.925	2.400	2.375	3.470
BSB-Einlaufkonzentration	mg/l	128	160	158	328
CSB-Fracht	kg/d	9.625	12.000	11.875	16.683
CSB-Konzentration	mg/l	642	800	792	1.579
BSB-Raumbelastung	kg/(m³d)	0,43	0,53	0,53	0,67
BSB-Schlammbelastung	kg/(kgd)	0,11	0,13	0,13	0,17
BSB-Abbauwirkungsgrad	%	**65**	**65**	**65**	**65**
CSB-Abbauwirkungsgrad	%	**50**	**50**	**50**	**50**
Abwassertemperatur	°C	37	37	37	37
Wassertiefe	m	**9,8**	**9,8**	**9,8**	**11,4**
Belebungsvolumen	m³	**4.500**	**4.500**	**4.500**	**5.200**
Bodenfläche	m²	459	459	459	464
oTS-Gehalt in der Belebung	g/l	**4,0**	**4,0**	**4,0**	**4,0**
BSB-Fracht an BB3	kg/d	674	840	831	1.214
BSB-Konzentration an BB3	mg/l	45	56	55	115
CSB-Fracht an BB3	kg/d	4.813	6.000	5.938	8.342
CSB-Konzentration an BB3	mg/l	321	400	396	789
Luftbedarf Kaskade2					
Sauerstoffübertragungsfaktor		**0,70**	**0,70**	**0,70**	**0,70**
O2 - Konzentration	mg/l	**2,0**	**2,0**	**2,0**	**2,0**
Sauerstoffsättigungskonzent.	mg/l	7,0	7,0	7,0	7,0
Faktor für aktiven TS-Anteil	-	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**
spez. Sauerstoffverbrauch	kg O2 / m³ *d	1,1	1,2	1,2	1,2
spez. Sauerstoffzufuhr	kg O2 / m³ *d	2,3	2,4	2,4	2,5
Sauerstofflast	kg O2 / kg BSB	4,1	3,4	3,4	2,9
Sauerstoffzufuhr	kg O2 / d	10.193	10.659	10.635	13.002
Eintauchtiefe	m	9,8	9,8	9,8	11,2
spez. Energiebedarf	kW/mET*Nm³/min	0,234	0,234	0,234	0,234
gewählter spez. O2-Eintrag	g O2/Nm³ Luft*mET	**12**	**12**	**12**	**12**
erford. mittlere Luftzufuhr	Nm³/d	86.673	90.641	90.432	96.739
Faktor f.stündl. Frachtschw.		**1,1**	**1,1**	**1,1**	**1,1**
Abwassertemperatur	°C	37	37	37	37
max. stündl. Luftzufuhr	Nm³/h	3.972	4.154	4.145	4.434
	m³/min	66	69	69	74
Kraftbedarf Nettoaufnahme	kW	152	159	158	194

Tabelle 15: Bemessung aerobe Belebungskaskade – Kaskade 2

Belebungsstufe Kaskade 3					
Abwassermenge	m³/d	15.000	15.000	15.000	10.567
BSB/CSB		0,14	0,14	0,14	0,15
BSB-Fracht	kg/d	674	840	831	1.214
BSB-Einlaufkonzentration	mg/l	45	56	55	115
CSB-Fracht	kg/d	4.813	6.000	5.938	8.342
CSB-Konzentration	mg/l	321	400	396	789
BSB-Raumbelastung	kg/(m³d)	0,15	0,19	0,18	0,23
BSB-Schlammbelastung	kg/(kgd)	0,04	0,05	0,05	0,06
BSB-Abbauwirkungsgrad	%	**60**	**60**	**60**	**60**
CSB-Abbauwirkungsgrad	%	**50**	**50**	**50**	**50**
Abwassertemperatur	°C	37	37	37	37
Wassertiefe	m	**9,7**	**9,7**	**9,7**	**11,3**
Belebungsvolumen	m³	**4.500**	**4.500**	**4.500**	**5.300**
Bodenfläche	m²	464	464	464	477
oTS-Gehalt in der Belebung	g/l	**4,0**	**4,0**	**4,0**	**4,0**
BSB-Fracht Ablauf	kg/d	270	336	333	486
BSB-Konzentration Ablauf	mg/l	18	22	22	46
CSB-Fracht Ablauf	kg/d	2.406	3.000	2.969	4.171
CSB-Konzentration Ablauf	mg/l	160	200	198	395
Luftbedarf Kaskade 3					
Sauerstoffübertragungsfaktor		**0,70**	**0,70**	**0,70**	**0,70**
O2 - Konzentration	mg/l	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**3,0**
Sauerstoffsättigungskonzent.	mg/l	7,0	7,0	7,0	7,0
Faktor für aktiven TS-Anteil	-	**1,0**	**1,0**	**1,0**	**1,0**
spez. Sauerstoffverbrauch	kg O2 / m³ *d	1,0	1,0	1,0	1,0
spez. Sauerstoffzufuhr	kg O2 / m³ *d	2,5	2,5	2,5	2,6
Sauerstofflast	kg O2 / kg BSB	12,8	10,5	10,6	8,7
Sauerstoffzufuhr	kg O2 / d	11.229	11.434	11.423	13.743
Eintauchtiefe	m	9,7	9,7	9,7	11,1
spez. Energiebedarf	kW/mET*Nm³/min	0,234	0,234	0,234	0,234
gewählter spez. O2-Eintrag	g O2/Nm³ Luft*mET	**12**	**12**	**12**	**12**
erford. mittlere Luftzufuhr	Nm³/d	96.470	98.228	98.135	103.179
Faktor f.stündl. Frachtschw.		**1,1**	**1,1**	**1,1**	**1,1**
Abwassertemperatur	°C	37	37	37	37
max. stündl. Luftzufuhr	Nm³/h	4.422	4.502	4.498	4.729
	m³/min	74	75	75	79
Kraftbedarf Nettoaufnahme	kW	167	170	170	205

Tabelle 16: Bemessung aerobe Belebungskaskade – Kaskade 3

EINGABEN UND SPEZIFISCHE KENNZAHLEN

Parameter	Einheit	Formel-zeichen	Wert	Bemerkung
BELEBUNG				
Abwassermenge	m³/h	Q_h	625	
Nutzvolumen der Belebung	m³	V_{BB}	12.000	
BSB-Fracht	kg/d	B_d,BSB_5	9.600	
TS-Gehalt in der Belebung	g/l	TS_{BB}	8,0	Asche 50%
NACHKLÄRUNG				
Schlammvolumenbeschickung	l/m²*h	q_{SV}	300	

BERECHNUNGEN

Grenzauslegung

Parameter	Einheit	Formel-zeichen	Werte											
BELEBUNG														
BSB_5-Raumbelastung	kg/d	B_R,BSB_5	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
BSB_5-Schlammbelastung	kg/kg*d	B_{TS},BSB_5	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Rückschlammverhältnis	-	RV	25%	33%	42%	53%	66%	80%	98%	146%	181%	226%	289%	382%
erforderl. Rückschlammenge	m³/h	Q(RS)	154	206	264	332	410	503	613	916	1.130	1.413	1.806	2.386
NACHKLÄRUNG														
Vergleichsschlammvolumen	ml/l	VSV	200	250	300	350	400	450	500	600	650	700	750	800
Schlammindex	ml/g	ISV	25	31	38	44	50	56	63	75	81	88	94	100
TS-Gehalt Rückschlamm	-	TS_{RS}/TS_{BS}	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
	g/l	TS_{RS}	40,4	32,3	26,9	23,1	20,2	17,9	16,2	13,5	12,4	11,5	10,8	10,1
zulässige Klärflächenbeschickung	m/h	q_A	1,50	1,20	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	0,50	0,46	0,43	0,40	0,38
erforderliche Nachklärfläche	m²	A_{NKB}	417	521	625	729	833	938	1.042	1.250	1.354	1.458	1.563	1.667
lichter Durchmesser Rundbecken	m	D_{NKB}	23,0	25,8	28,2	30,5	32,6	34,5	36,4	39,9	41,5	43,1	44,6	46,1
BECKENZONEN														
Eindickzeit	h	t(E)	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
TS-Gehalt Bodenschlamm	g/l	TS_{BS}	57,7	46,2	38,5	33,0	28,8	25,6	23,1	19,2	17,8	16,5	15,4	14,4
Klarwasserzone	m	h_1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Übergangs- und Pufferzone	m	h_{23}	1,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,7	2,2	2,6	3,2	4,2	5,8
Eindick- und Räumzone	m	h_4	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,5	1,8	2,0	2,4	3,0
Gesamtwassertiefe	m	h(ges)	**2,79**	**2,76**	**2,79**	**2,88**	**3,02**	**3,21**	**3,47**	**4,25**	**4,87**	**5,75**	**7,10**	**9,34**
			←							→				
					fahrbarer Bereich									

Auslegungsschlammindex

Parameter	Einheit	Formel-zeichen	Werte											
Klärflächen-Schlammbelastung														
Schlammindex	ml/g	ISV	50	60	70	80	90	100	110	120	126	130	140	150
Schlammvolumenbeschickung	l/m²*h	q_{SV}	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
zulässige Klärflächenbeschickung	m³/(m²h)	q_A	0,75	0,63	0,54	0,47	0,42	0,38	0,34	0,31	0,30	0,29	0,27	0,25
erforderliche Klärfläche	**m²**	**A_{NKB} + 8%**	**900**	**1.080**	**1.260**	**1.440**	**1.620**	**1.800**	**1.980**	**2.160**	**2.268**	**2.340**	**2.520**	**2.700**
lichter Durchmesser Rundbecken	m	D_{NKB}	33,9	37,1	40,1	42,8	45,4	47,9	50,2	52,4	53,7	54,6	56,6	58,6
Rückschlammverhältnis	-	RV	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%	200%
Zugeführte Schlammmenge	m³/h	Qh	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875	1.875
	kg/h	M	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Feststoffflächenbelastung NKB	**kg/(m²h)**	**B_A**	**16,7**	**13,9**	**11,9**	**10,4**	**9,3**	**8,3**	**7,6**	**6,9**	**6,6**	**6,4**	**6,0**	**5,6**

Parameter	Einheit	Formel-zeichen	Werte											
Wehrschwellenbelastung - Rundbecken														
erforderliche Klärfläche	m²	A_{NKB}	900	1.080	1.260	1.440	1.620	1.800	1.980	2.160	2.268	2.340	2.520	2.700
Anzahl Nachklärbecken	Stück	-	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Durchmesser je Nachklärbecken	m	D_{NKB}	23,9	26,2	28,3	30,3	32,1	33,9	35,5	37,1	38,0	38,6	40,1	41,5
Abstand Wehr zur Außenwand	m	-	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Rinnendurchmesser je NKB	m	$D_Ü$	23,3	25,6	27,7	29,7	31,5	33,3	34,9	36,5	37,4	38,0	39,5	40,9
Rinnenlänge gesamt	m	$L_Ü$	146,6	161,0	174,2	186,5	198,0	208,9	219,3	229,2	235,0	238,7	247,9	256,7
Wehrschwellenbelastung	**m³/(mh)**	**q_L**	**4,3**	**3,9**	**3,6**	**3,4**	**3,2**	**3,0**	**2,8**	**2,7**	**2,7**	**2,6**	**2,5**	**2,4**
V-Ausschnitte														
Winkel	°	-	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Höhe	mm	h	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
Volumenstrom je V-Ausschnitt	m³/h	-	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
Anzahl V-Ausschnitte	Stück	-	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388
Teilung alle x m 1 -seitig	m	-	0,38	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,66

Tabelle 17: Bemessung Nachklärbecken

Tertiäre Reinigungsstufe

Aufgrund der geltenden Einleitegrenzwerte für abfiltrierbare Feststoffe (10 mg/l), BSB_5 (10 mg/l) und CSB (200 mg/l) ist eine tertiäre Reinigungsstufe unvermeidbar. Für die Einhaltung dieser Grenzwerte wird ein zweistufiges Konzept bestehend aus biologisch aktivierter Filtration zur vollständigen Mineralisierung der abbaubaren organischen Verbindungen (Biofiltern) und nachgeschalteter Sandfiltration zur weitestgehenden Feststoffelimination integriert.

Bei den Biofiltern 1 bis 4 handelt es sich um aerobe Biofilmreaktoren und gleichzeitig Filter, in denen die für den biologischen Abbau der Schadstoffe verantwortlichen Mikroorganismen auf einem natürlichen, körnigen Filtermaterial wachsen, wo sie einen sogenannten „Biofilm“ bilden. Der für den Abbau der organischen Schadstoffe benötigte Sauerstoff wird durch Verdichter in den Biofilter eingetragen.

Der Biofilter arbeitet im Aufstrom-Modus für Wasser und Luft, dies bedeutet, dass Prozesswasser und Prozessluft in Gleichstrom von unten nach oben fließt. Der Eintrag von Prozessluft in den Filter erfolgt zusammen mit dem Wasser durch speziell konstruierte Düsen, die im Düsenboden installiert sind (Abbildung 10). Diese Düsen ergeben einen hohen Sauerstoffertragskoeffizienten und -Ausnutzungsgrad. Daher ist kein zusätzliches Luftverteilungssystem erforderlich.

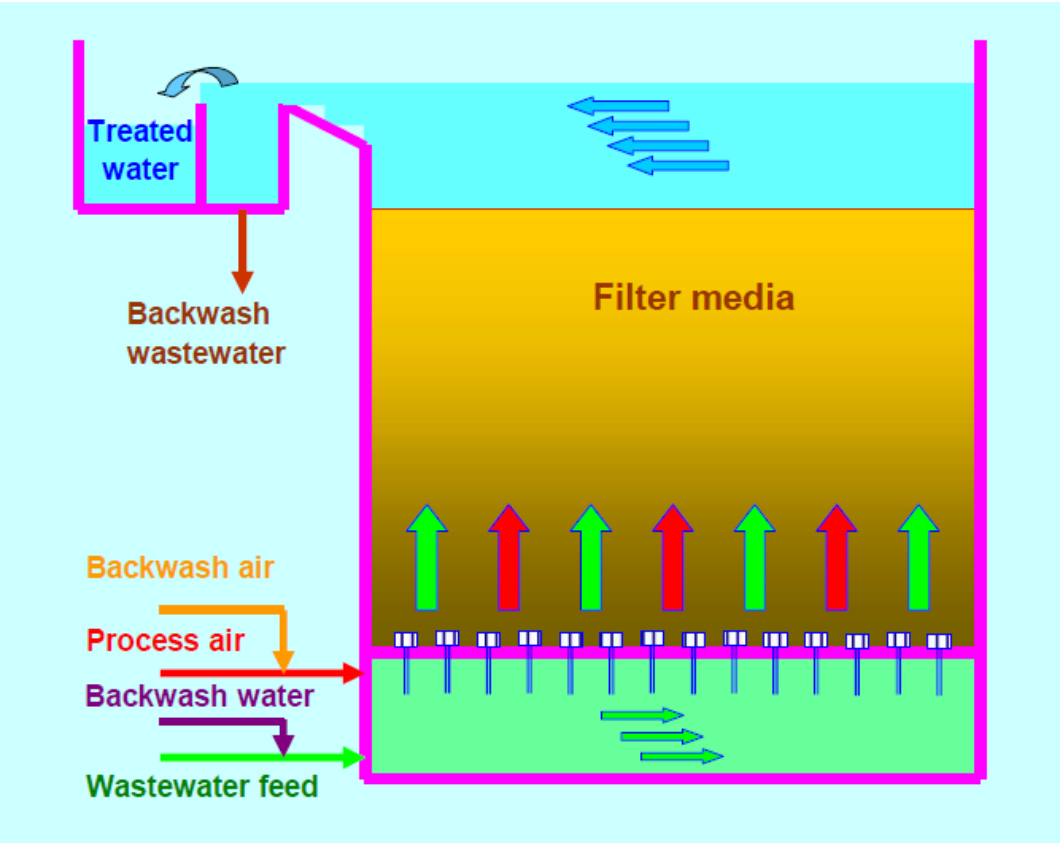

Abbildung 10: Biofilter (Quelle: BHU)

Biomasse, die während des biologischen Abbaus entsteht, sowie Schwebstoffe, die im zufließendem Prozesswasser enthalten sind, reichern sich im Laufe der Zeit im Filterbett an (Anstieg Druckverlust) und müssen regelmäßig ausgewaschen werden, um den ordnungsgemäßen Betrieb der Filter zu gewährleisten. In regelmäßigen Zeitabständen bzw. bei Erreichen eines definierten Druckverlustes wird der Biofilter rückgespült. Der Ruckspülzyklus besteht aus aufeinanderfolgende Phasen, wobei sowohl Wasser als auch Luft als Spülmedium eingesetzt wird. Die Rückspülung erfolgt ebenfalls im Aufström-Modus. Als Spülwasser wird filtriertes Wasser aus dem Ablauf der Sandfilter verwendet. Das Spülabwasser verlässt den

Biofilter durch das erste Überlaufwehr und fließt in das Rückspülabwasserbecken, welches die Spülabwassermenge puffern kann. Von dort wird es in die Belebungsstufe gepumpt.

Anzahl	4	
Filterfläche	4 x 28	m²
Höhe Filtermaterial	3,7	m
Filtermaterial	Blähton	
Korngröße Filtermaterial	2,5-5	mm
Werkstoff	Beton	

Tabelle 18: Kenndaten Biofilter

Da die Konzentration der suspendierten Feststoffe nach der Biofiltration üblicherweise im Bereich von 8 bis 12 mg/l liegt und der geforderte Ablaufgrenzwert 10 mg/l beträgt, wird als letzte Reinigungsstufe eine Sandfiltration vorgesehen.

Hierfür sind 10 parallel geschaltete kontinuierlich arbeitende Sandfilter (Sandfilter 1 bis 10) vorgesehen (Tabelle 19 bzw. Abbildung 11). Diese arbeiten ohne die sonst erforderlichen Rückspülunterbrechungen. Über ein Zuflussrohr und einen Einlaufverteiler wird das Filter mit dem zu filtrierenden Wasser beschickt. Durch die Aufwärtsströmung im Filterbett erfolgt die Reinigung des Wassers. Verunreinigungen werden im Sandbett festgehalten. Das filtrierte Wasser verlässt das Filter durch einen Filtratüberlauf in den Klarwasser-Sandfilter Puffer.

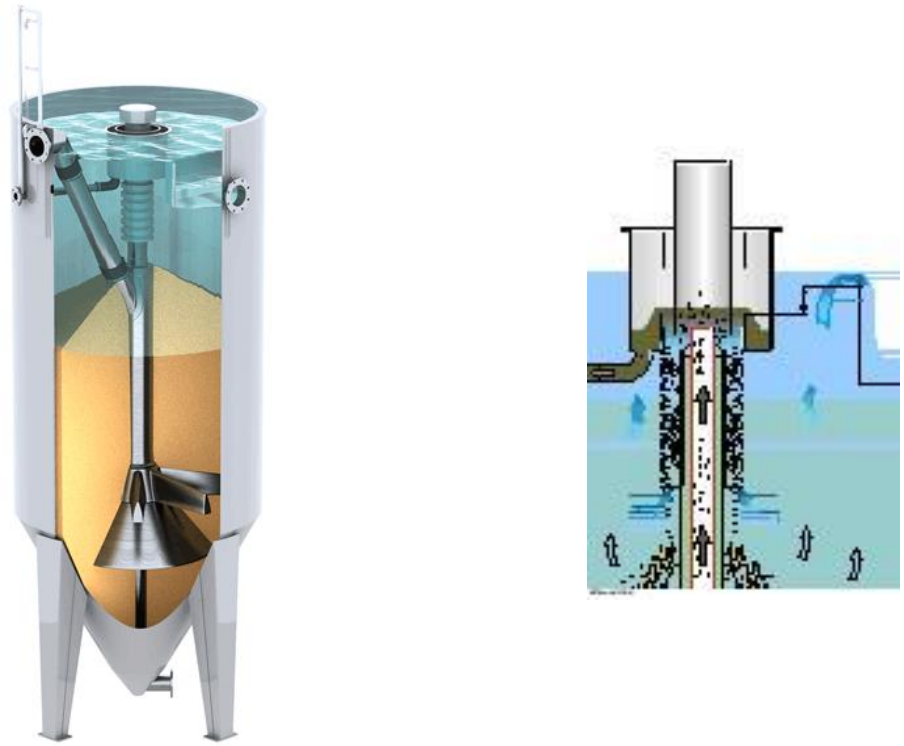

Abbildung 11: Kontinuierlich arbeitender Sandfilter (Quelle: Nordic Water)

Eine zentrisch, innerhalb des Einlaufrohres angebrachte Mammutpumpe befördert den verschmutzten Sand vom Konus nach oben in den Sandwäscher. Im Sandwäscher wird der verschmutzte Sand durch einen kleinen Teilstrom des Filtrats gewaschen. Der so gereinigte Sand rieselt auf das Filterbett zurück. Das anfallende Spülabwasser verlässt den Filter kontinuierlich durch den Spülabwasserablauf.

Anzahl	10
Filterfläche	10 x 5 m²
Filterbetthöhe	1,5 m
Höhe	5,6 m
Durchmesser	2,5 m
Werkstoff	1.4571 oder gleichwertig

Tabelle 19: Kenndaten Sandfilter

Neben der Einhaltung des Einleitgrenzwerts für abfiltrierbare Feststoffe tragen die Sandfilter auch dazu bei die Ablaufkonzentration an P_{ges} zu minimieren. Dies erfolgt zum einen durch die Abtrennung des P-haltigen Bioschlamms und zum anderen durch die Zugabe eines Fällmittels zur PO_4-P-Fällung im Zulauf zu den Sandfiltern. Ein Teil der P-Verbindungen im Abwasser der Papierindustrie sind jedoch nicht fällbare, organische P-Verbindungen (P_{org}). Dieser Anteil kann gemäß Literatur bis zu 0,4 mg/l enthalten. Durch die PO_4-P-Fällung sind somit mittlere P_{ges}-Ablaufwerte von 0,5-1 mg/l möglich.

Geänderte Betriebsweise Wärmereduzierung

Neben der Einhaltung der Ablauftemperaturen aus der Kläranlage sind auch die Mischwassertemperaturen am Pegel Hüttlingen zu beachten. Im Falle einer Überschreitung der Maximaltemperaturen (Sommer >23°C/Winter>10°C) am Pegel Hüttlingen wird in der Frischwasseraufbereitung des Werks eine geänderte Betriebsweise installiert, die einen zusätzlichen Kühleffekt auf das Abwasser des Werks sowie der Mischtemperatur am Pegel Hüttlingen hat. Dazu wird das Konzentrat der Ultrafiltration (keine Reinigungszyklen - siehe 13.2 Frischwasserversorgung BT. 13 Erläuterungen /Anlagenbeschreibung) mit max. 72 m³/h nicht in den Abwasserkanal der Produktion und somit über die Kläranlage geleitet, sondern mittels Transferpumpe direkt nach der 2. Stufe der Abwasserkühlung in den Auslauf der Kläranlage zum Vorfluter gegeben. Das Konzentrat bringt durch die Temperaturdifferenz (Kochertemperatur zu Abwassertemperatur) eine zusätzliche Wärmereduzierung in der Abwassereinleitung und somit eine Reduzierung der Mischwassertemperatur am Pegel Hüttlingen.

Hilfsmitteldosierung

Für den Betrieb der Kläranlage werden im Wesentlichen folgende Hilfsmittel benötigt. Harnstoff, Phosphorsäure (H_3PO_4) und Natronlauge (NaOH). Natronlauge wird eingesetzt zur Regulierung des pH-Werts im Zulauf zu den Hochlastreaktoren und bei der Gaswäsche. Harnstoff und Phosphorsäure werden benötigt, um die biologischen Reinigungsstufen mit den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor zu versorgen. Die Dosierung erfolgt abhängig von der Zulauffracht mit einem bestimmten C : N : P Verhältnis. Zur Auswahl der optimalen Dosierung und zum Vermeiden einer Unterversorgung der Biomasse hat es sich bewährt, die Dosierung so zu betreiben, dass im Ablauf der Anlage noch etwa 0,5 mg/l PO_4-P bzw. NH_4-N gemessen werden können.

		Harnstoff	**H_3PO_4**	**NaOH**
Konzentration	%	33 %	75 %	50 %
Volumen Vorratsbehälter	m³	50	30	30
Werkstoff		Metall	PE	PE
Ausführung		Einwandig mit Auffangwanne		

Tabelle 20: Vorratsbehälter Hilfsmittellager

Die Lagerung der oben aufgeführten Hilfsmittel wird im geplanten Hilfsstofflager in der Papiermaschine (BT.3) integriert und die Versorgung der Kläranlage erfolgt über die Rohrbrücke, eine Beschreibung erfolgt im Kapitel 9. Die Hilfsmittel werden per Tanklastzug in flüssiger Form angeliefert und in den Vorratsbehälter gefüllt an den auch die Dosierpumpen angeschlossen sind.

Für die Gaswäsche wird zusätzlich eine Nährstofflösung (Bsp. Nutrimix) benötigt. Die Lagerung erfolgt im geplanten Hilfsstofflager in der Papiermaschine (BT.3). Als Lagerbehälter wird ein Standard-IBC-Container mit Auffangwanne eingesetzt.

Für den Kühlwasserkreislauf der 2. Stufe der Abwasserkühlung ist der Einsatz eines Biozids als 2-Komponentensystem (Bsp. Spectrum XD 3899) vorgesehen, um den Anforderungen an einen hygienegerechten Betrieb gerecht zu werden. Die zwei Komponenten werden in zentralen Tanks im Hilfsstofflager in der Papiermaschine (BT.3) gelagert. Vor Ort in der Kläranlage ist eine Mischstation für das Biozidsystem mit einem kleinen Puffertank (1 m³) geplant. Die Versorgung erfolgt ebenfalls über die Rohrbrücke.

Aufgrund der wasserrechtlichen Anforderungen hinsichtlich des Parameters P_{ges} wird eine PO_4-Fällung vorgesehen. Hierfür erfolgt im Zulauf zu den Sandfiltern die Zugabe eines Fällmittels. Es ist vorgesehen ein Fällmittel auf Eisen-Aluminium-Basis einzusetzen (Bsp. VTA Aquafix 70). Neben der Fällung von PO_4-P trägt es auch dazu bei, Absetzbarkeit des Schlammes zu optimieren. Der Einsatz erfolgt bei Bedarf. Das Fällmittel wird ebenfalls im geplanten Hilfsstofflager an der Papiermaschine gelagert. Durch die Fällung kann die PO_4-Konzentration in der Regel auf etwa 0,2-0,3 mg/l reduziert werden und somit kann die oben angesprochene, verfahrenstechnisch notwendige Überdosierung reduziert werden.

Zusätzlich ist eine Big-Bag-Polymeransatzstation vorgesehen um bei ggf. auftretenden Betriebsproblemen, wie z.B. Blähschlammbildung, die Absetzbarkeit des Schlammes zu optimieren. Ein Einsatz für den Dauerbetrieb ist nicht geplant.

Zur Verhinderung von Schaumbildung in der aneroben Schwachlaststufe wird Entschäumer (Bsp. Afranil T) eigesetzt. Als Lagerbehälter wird ein Standard-IBC-Container mit Auffangwanne eingesetzt. Ein Einsatz für den dauerhaften Betrieb ist nicht vorgesehen und notwendig.

Die Kalkausfällung in den Kühltürmen und Sandfiltern wird mit der Dosierung von Kalkinhibitoren (Bsp. Novochem AS 103) verhindert. Als Lagerbehälter wird ein Standard-IBC-Container mit Auffangwanne in der Kläranlage eingeplant.

Maschinenhaus

Im Bereich der Kläranlage ist die Errichtung eines Maschinenhauses geplant. In diesem Gebäude werden folgende Aggregate und Anlagen aufgestellt:

- Pumpen
- Verdichter für Belebungskaskade und Biofilter
- Sandfilter
- Filtratbehälter Biofilter
- Vorlagebehälter Kühlwasser
- Lagerplatz für IBC-Container und Big Bags
- Transformatoren und Schaltanlagen

Aalen, 14. August 2019

Dol