



Einsatz einer Anlage zur Spurenstoffelimination unter Berücksichtigung vorhandener technischer Anlagenressourcen auf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Machbarkeitsstudie



Grontmij GmbH

Graeffstraße 5
50823 Köln

T +49 221 57402-0
F +49 221 57402-11
E koeln@grontmij.de
W www.grontmij.de

IUTA e.V.

Bliersheimerstraße 58 - 60
47229 Duisburg

+49 (0) 2065 418-0
+49 (0) 2065 418-211
info@iuta.de
www.iuta.de

Impressum

Auftraggeber: **Wirtschaftsbetriebe Duisburg AöR**

Auftragnehmer: **Grontmij GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Dipl.-Ing. Christian Maus, M.Sc., Dr.-Ing. Heinrich Herbst, Dipl.-Ing. Ralf Hilbig

Laboranalytik: **Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)**

Bliersheimer Straße 58 - 60
47229 Duisburg

Dr. rer. nat. Jochen Türk, Andrea Börgers, M.Sc.

Projektnummer: 0161-13-006

Bearbeitungszeitraum: Oktober 2013 – April 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Spurenstoffscreening und Ozonzehrungspotential des Kläranlagenablaufes	3
3	Potenziale zur Spurenstoffelimination durch Maßnahmen zur Verfahrens- und Energieoptimierung	3
3.1	Allgemeines und Vorgehensweise	3
3.2	Beschreibung des IST-Zustandes	4
3.3	Integration einer Vorklärung in den Klärprozess	8
3.3.1	Allgemeines	8
3.3.2	Verfahrenstechnische Kenndaten	9
3.3.3	Umbaumaßnahmen zur Integration einer Vorklärung	10
3.4	Maschinelle Überschussschlammeindickung und BHKW	11
3.5	Verfahrensumstellung Belebung nach Integration einer Vorklärung	12
3.5.1	Allgemeines	12
3.5.2	Nachweis der klärtechnischen Leistungsfähigkeit	12
3.5.3	Reduzierung des Energiebedarfs durch Integration einer Vorklärung und Umstellung der Belebung	19
3.6	Umbaumaßnahmen und Kosten der Abwasser- und Klärschlammbehandlung	26
3.6.1	Annahmen der Kostenabschätzung	27
3.6.2	Variante 1a: erforderliche Umbaumaßnahmen zur intermittierenden Denitrifikation	28
3.6.3	Variante 1b: intermittierende Denitrifikation in der druckluftbegasten Belebung	32
3.6.4	Variante 2a: erforderliche Umbaumaßnahmen zur vorgeschaltete Denitrifikation	35
3.6.5	Variante 2b: vorgeschaltete Denitrifikation in den druckluftbegasten Belebungsbecken	38
3.7	Fazit der Optimierungsmaßnahmen in Hinblick auf das Potenzial zur Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination	41
4	Verfahren zur Spurenstoffelimination	42
4.1	Überblick möglicher Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination	42
4.2	Spurenstoffelimination mit Ozon und biologische Nachbehandlung	44
4.3	Integration einer Ozonanlage auf der Kläranlage Duisburg Hochfeld	45
4.4	Nachbehandlung	51
4.5	Energiebedarf der Spurenstoffelimination	53
4.6	Kosten der Spurenstoffelimination	54

5	Zusammenfassung und Verfahrensempfehlung	Seite 59
5.1	Gegenüberstellung der Kosten der Varianten zur Umstellung der Belebung und Integration der Vorklärung	59
5.2	Gegenüberstellung der Kosten der Varianten einer Ozonanlage	59
5.3	Technische Verfahrensempfehlung	61

	Seite
Abbildungsverzeichnis	
Abbildung 2-1: Ozonprofil KA Duisburg Hochfeld, Probenahme 19.-20.11.2013	1
Abbildung 2-2: Ozonprofil KA Duisburg Hochfeld, Probenahme 28.-29.11.2013	1
Abbildung 2-3: Bromid und Bromat nach Ozonzehrungsversuch, Probenahme 19.-20.11.2013	2
Abbildung 3-1: Übersicht Kläranlage Duisburg Hochfeld (Quelle: Google Maps)	7
Abbildung 3-2: Integration einer Vorklärung ins Anaerobe Mischbecken	10
Abbildung 3-3: Lageplan Kläranlage Hochfeld – Umrüstung auf intermittierende Denitrifikation, Variante 1a	29
Abbildung 3-4: Lageplan Kläranlage Hochfeld – Umrüstung auf intermittierende Denitrifikation, Variante 1b	33
Abbildung 3-5: Lageplanausschnitt Kläranlage Duisburg Hochfeld – Umrüstung auf vorgeschaltete Denitrifikation, Variante 2a	35
Abbildung 3-6: Lageplanausschnitt Kläranlage Duisburg Hochfeld – Umrüstung auf vorgeschaltete Denitrifikation, Variante 2b	38
Abbildung 4-1: Verfahrensschritte zur Spurenstoffelimination	42
Abbildung 4-2: Relative Elimination umweltrelevanter Spurenstoffe in Abwasser mittels PAK Aktivkohleadsorption (PAC) im Vergleich zur Ozon-Oxidation bei einem Betriebswert von $Z_{spez.} = 0,7$ (MUNLV (2008))	43
Abbildung 4-3: Zulauf zur Ozonanlage mit Absperrschieber	46
Abbildung 4-4: Lageplanausschnitt Kläranlage Duisburg Hochfeld – Integration Ozonanlage	48
Abbildung 5-1: Spezifische Jahreskosten (Abwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerten [21]	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Ergebnisse der ausgewählten Leitparameter des Screenings und des Monitorings des Ablauf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld	1
Tabelle 3-1: Einzuhaltende Überwachungswerte	4
Tabelle 3-2: Bemessungswerte Programm design2treat®	5
Tabelle 3-3: Hydraulische Bemessungswerte	5
Tabelle 3-4: Bemessungsfrachten für den Nachweis des Wasserweges [10]	5
Tabelle 3-5: Zusammenstellung der mittleren Zulauffrachten [12]	6
Tabelle 3-6: Verfahrenstechnische Kennwerte	8
Tabelle 3-7: Volumen für die biologische Reinigung mit und ohne Vorklärung	13
Tabelle 3-8: Volumenaufteilung Belebung IST-Zustand	14
Tabelle 3-9: Bemessungsergebnisse der Schlammengen und des Sauerstoffbedarfs im IST-Zustand und bei den Varianten mit Vorklärung	15

	Seite
Tabelle 3-10: Übersicht der Varianten zur Umstellung des Belebungsverfahrens mit erforderlichem Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken	16
Tabelle 3-11: Stromverbrauch der biologischen Reinigung (Auszug aus [15], modifiziert)	20
Tabelle 3-12: Energiebedarf für die Belebungsbecken im Ist-Zustand und für die Varianten	22
Tabelle 3-13: Vergleich der Klärschlammdaten IST-Zustand und Integration Vorklärung	23
Tabelle 3-14: Energetische Vergleichsdaten IST-Zustand und Integration Vorklärung	25
Tabelle 3-15: Wärmebilanz unter Berücksichtigung einer MÜSE und eines BHKW	26
Tabelle 3-16: Kosten der Variante 1a	31
Tabelle 3-17: Kosten der Variante 1b	34
Tabelle 3-18: Kosten der Variante 2a	37
Tabelle 3-19: Kosten der Variante 2b	40
Tabelle 4-1: Berechnung der Gasmengen und Gasvolumenströme für unterschiedliche Betriebszustände	50
Tabelle 4-2: Energiebedarf der Ozonanlage	53
Tabelle 4-3: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m und Q_t), Nachbehandlung (Variante N1)	56
Tabelle 4-4: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m), Nachbehandlung (Variante N2)	57
Tabelle 4-5: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m), Nachbehandlung (Variante N3)	58
Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der Investitions- und Kapitalkosten und Reduzierung der laufenden Kosten sowie die Jahreskostenreduzierung im Vergleich zum Ist-Zustand	59
Tabelle 5-2: Gegenüberstellung der Investitions- und Kapitalkosten und der laufenden Kosten sowie die Jahreskostenreduzierung für die Spurenstoffelimination	60
Tabelle 5-3: Bewertung der Variante zur Verfahrensumstellung der Belebungsbecken	63

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Analytikergebnisse
Anlage 2	klärtechnische Berechnungen (design2treat®)
Anlage 3	Investitionskosten (Vorklärung, MÜSE, BHKW, Belebungsbecken)
Anlage 4	Investitionskosten (Ozonung und Optimierung der Nachklärung)

1 Veranlassung

Zur langfristigen Sicherung einer hohen Wasserqualität besteht grundsätzlich Handlungsbedarf zur Reduktion der Einträge von Spurenstoffen in Gewässer. In den letzten Jahren konnte die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroverunreinigungen (Spurenstoffen) in der Umwelt nachgewiesen werden. Die Spurenstoffproblematik liegt darin begründet, dass persistente Arzneimittel, organische Spurenstoffe und Industriechemikalien nur in begrenztem Maße während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungsprozess eliminiert werden können und deshalb im Ablauf der Kläranlagen noch nachweisbar sind. Eine weitgehende Verbesserung der Ablaufqualität bzw. Elimination der Spurenstoffe ist durch weitgehende (additive) Maßnahmen realisierbar. Hierzu haben sich die Techniken der Ozonung und der Aktivkohleadsorption als am besten umsetzbare Techniken herauskristallisiert.

NRW setzt bei dem Thema der Spurenstoffelimination auf einen ganzheitlichen Ansatz auf unterschiedlichen Ebenen. Spurenstoffe sollen, wenn möglich, direkt an der Quelle eliminiert werden. Zudem sollen aber auch die Kläranlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden (euwid Wa Nr. 45, 09.11.2010). Das Umweltministerium des Landes NRW fördert derzeit dazu durch das Investitionsprogramm Abwasser NRW u. a. großtechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination.

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Duisburg Hochfeld und damit das zufließende Abwasser ist überwiegend kommunal geprägt. Nennenswerte Indirekteinleiter wie z. B. Industriebetriebe, Krankenhäuser und Pflegeeinrichtungen im Einzugsgebiet sind z. B.:

im Bereich der Metallindustrie:

- DK Recycling und Roheisen GmbH (Herstellung von Gießerei-Roheisen)

im Bereich der Metallverarbeitung:

- Advanced Nuclear Fuels GmbH (Produktion von Hüll- und Strukturrohren für die Brennelementfertigung)
- Siemens AG Power Generation Industrial Applications (Maschinenbau)
- Mittal Steel Hochfeld GmbH (Stahlbe- und -verarbeitung)
- Kemper Draht- und Walzwerk GmbH

im Bereich der chemischen Industrie:

- Caramba Chemie GmbH & Co.KG (chemische Spezialprodukte für Reinigung, Pflege und Wartung)

im Bereich medizinische Versorgung:

- Bethesda Krankenhaus (432 Bette)
- Katholisches Klinikum (678 Betten)
- Klinikum Duisburg (188 Betten)

im Bereich Pflegeeinrichtung:

- HEWAG Seniorenheim
- Seniorenzentrum Karl-Jarres-Straße
- Johanniterstift

Sonstiges:

- Steiff Schulte Webmanufaktur GmbH (Mohairstoff-Lieferant der Firma Steiff)
- Duisburger Werkstatt für Menschen mit Behinderung gemeinnützige GmbH
- H. Büteführ u. Sohn GmbH & Co. KG (Spedition (Transport, Reparatur und Reinigung))
- Klaus Essers (Fahrzeugwäsche für den KFZ-Handel, KFZ-Pflege)

Aufgrund der derzeitigen Auslastung der Kläranlage Duisburg Hochfeld ist es erforderlich, insbesondere unter energetischen Gesichtspunkten, Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich der Verfahrenstechniken in der Abwasser- und Schlammbehandlung zu entwickeln und zu planen. Gleichzeitig kann hierdurch ermöglicht werden, kostengünstig eine vierte Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination in die Anlage zu integrieren. Anbieten könnte sich hierzu eine der Nachklärung nachgeschaltete Abwasserzonung, da auf der Anlage bereits Rein-Sauerstoff vorhanden ist, der derzeit genutzt wird, um die biologische Stufe mit Sauerstoff zu versorgen (Rein-Sauerstoff-Begasung). Im Rahmen erforderlicher energetischer und verfahrenstechnischer Optimierungen in einzelnen Verfahrensschritten, ist daher die Einbindung einer derartigen Technologie unter energetischen und monetären Gesichtspunkten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie zu diskutieren.

2 Spurenstoffscreening und Ozonierungspotential des Kläranlagenablaufes

Zur Charakterisierung der Spurenstoffbelastung des Ablaufs der Kläranlage Duisburg-Hochfeld ist ein Screening des Ablaufs der Kläranlage an 2 Tagen auf Spurenstoffe unter anderem aus den Gruppen Arzneimittelwirkstoffe, Pestizide, Röntgenkontrastmittel, Industriechemikalien, endokrine Substanzen und der polyfluorierten Verbindungen mittels LC-MS/MS und GC-MS durchgeführt worden. Auch für die Auslegung der weitergehenden (additiven) Maßnahmen relevante Basisparameter sind im Screening des Ablaufs betrachtet worden. Des Weiteren ist die endokrine Belastung des Abwassers mittels wirkungsbezogener Analytik (A-YES) erfasst worden. Insgesamt wurden ca. 120 Stoffe im Screening erfasst. Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse ist in Anlage 1.1 zu finden.

Anhand des Screenings wurden Leitparameter für ein fünftägiges Monitoring ausgewählt. Zudem wurde Mangan im Monitoring berücksichtigt, da eine Probe im Screening eine auffallend hohe Konzentration aufwies. Die im Monitoring gemessenen Mangankonzentrationen wiesen hingegen keine auffälligen Werte auf. Die Detailergebnisse des Monitorings sind in Anlage 1.2 aufgelistet.

Die Ergebnisse der Leitparameter aus Screening und Monitoring sind in Tabelle 2-1 zusammengefasst. Festgehalten werden kann, dass die gemessenen Konzentrationen sich im üblichen Schwankungsbereich für nicht weitergehend behandelte Kläranlagenabläufe befinden. Die Konzentrationen liegen für einige Stoffe deutlich über den Orientierungswerten bzw. Umweltqualitätsnormen gemäß D4 Liste, die zur Bewertung von Oberflächengewässern herangezogen werden.

Der für eine Ozonung relevante Parameter Bromid, der die Ausgangssubstanz des potentiell kanzerogenen Bromats ist, zeigt ein Schwankungsbereich von 70 bis 150 µg/L auf. Die gemessenen Bromidkonzentrationen sind grundsätzlich für eine oxidative Behandlung mit Ozon als unproblematisch zu bewerten.

Tabelle 2-1: Ergebnisse der ausgewählten Leitparameter des Screenings und des Monitorings des Ablauf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Probennummer			M 131120/03	M 131129/01	M 140217/05	M 140218/05	M 140219/22	M 140220/13	M 140221/21	
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013	16.-17.02.2014	17.-18.02.2014	18.-19.02.2014	19.-20.02.2014	20.-21.02.2014	
	Einheit	BG	Screening	Screening	Monitoring	Monitoring	Monitoring	Monitoring	Monitoring	UQN/OW D4 Liste
Arzneimittelwirkstoffe										
Carbamazepin	[ng/L]	10	1.900	2.000	1.100	1.200	1.300	1.500	1.500	500
Diclofenac	[ng/L]	10	3.500	3.500	2.600	2.900	4.000	3.500	3.200	100
Metoprolol	[ng/L]	10	2.900	3.200	2.400	2.800	3.600	2.800	3.400	7.300
Sulfamethoxazol	[ng/L]	10	270	350	300	430	350	260	330	150
Tramadol	[ng/L]	10	1.100	1.100	770	870	950	990	920	-
Industriechemikalien										
1H-Benzotriazol	[ng/L]	10	7.600	13.000	3.700	4.800	7.400	6.000	7.200	10.000
Röntgenkontrastmittel										
Amidotrioesäure	[ng/L]	10	10.500	17.400	3.200	4.300	10.000	13.000	13.000	100*
Iopamidol	[ng/L]	10	360	2.200	3500	4.900	9800	15.000	9400	100*
Süßstoffe										
Acesulfam K	[µg/L]	0,4**	< 10	< 10	1,8	1,4	0,85	0,62	0,73	-
Basisparameter										
Bromid	[µg/L]	10	150	110	70	90	100	100	90	
DOC	[mg/L]	1	9,6	14	5,4	6,3	8,4	8,3	8,2	

* präventiver Vorsorgewert (Orientierungswert, der auf einer Konvention beruht und fachlich nicht abgeleitet ist)

** im Screening höhere Bestimmungsgrenze

Zusätzlich wurden parallel zum Screening Ozonzehrungsversuche zur Abschätzung des erforderlichen Reaktionsvolumens und der Leistungsfähigkeit der Ozonung des Abwassers durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2-1 und Abbildung 2-2 dargestellt. Ozonprofile wurde bei einer Zugabe von 5, 7,5 und 10 mg O₃/L erstellt und zeigen den Verlauf der Ozonkonzentration in der Probe nach der Ozonzugabe auf. Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Dosierung von 10 mg O₃/L nach ca. 6 min kein gelöstes Ozon in der wässrigen Phase mehr vorhanden ist. Bei niedrigerer Dosierung verkürzt sich die Dauer in der gelöstes Ozon vorhanden ist. Für eine effiziente Nutzung des Ozons sollte eine minimale Aufenthaltszeit von mindestens 6 min gewährleistet sein.

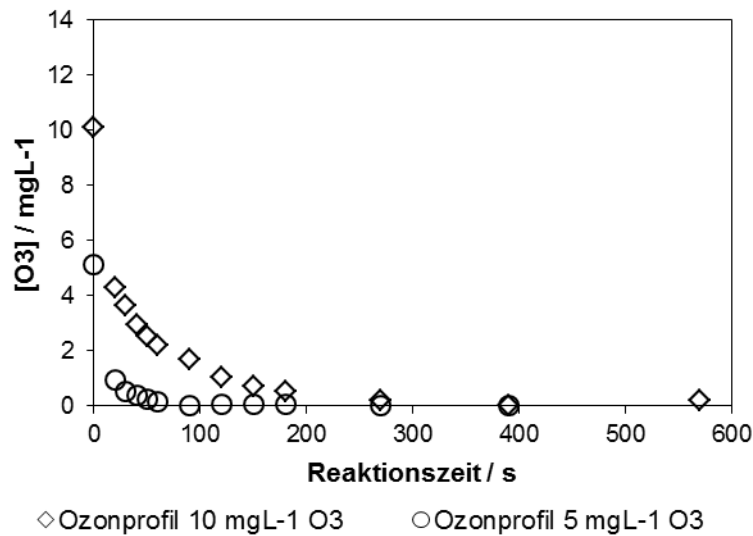


Abbildung 2-1: Ozonprofil KA Duisburg Hochfeld, Probenahme 19.-20.11.2013

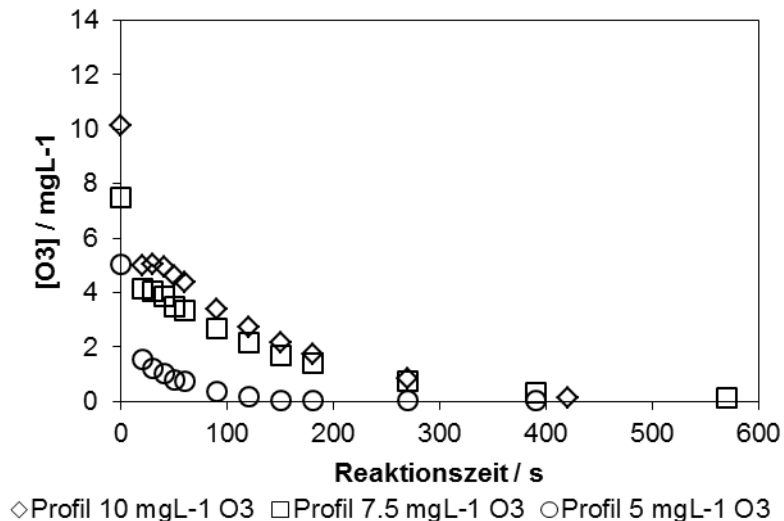


Abbildung 2-2: Ozonprofil KA Duisburg Hochfeld, Probenahme 28.-29.11.2013

Bei dem Ozonzerhungsversuch mit der Probe vom 19.-20.11. wurde die resultierende Konzentration des potentiellen kanzerogenen Bromats, einem Transformationsprodukt der Ausgangssubstanz Bromid, bei einer Zugabe von 5 und 10 mg O₃/L gemessen. Das Ergebnis ist in Abbildung 2-3 dargestellt. Die Nachweisgrenze von Bromat lag bei den Versuchen bei 0,02 mg/L (20 µg/L). Erst bei einer sehr hohen Zugabe von 10 mg O₃/L konnte eine deutliche Bromatbildung beobachtet werden.

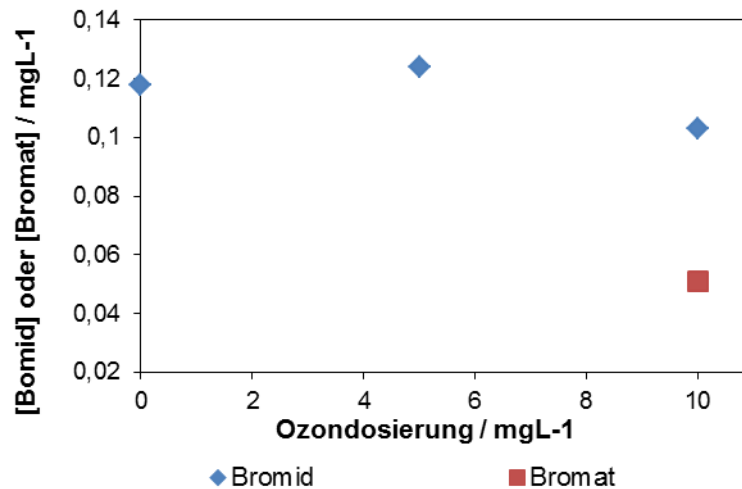


Abbildung 2-3: Bromid und Bromat nach Ozonzerhungsversuch, Probenahme 19.-20.11.2013

Fazit

Eine Ozonung ist im Ablauf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld einsetzbar. Eine Vielzahl der Spurenstoffe, wie z. B. Diclofenac und Carbamazepin, können weitestgehend mit einer Ozonung eliminiert werden. Einige Stoffe, wie z. B. Röntgenkontrastmittel sind jedoch auch mit einer Ozonung kaum zu eliminieren, sodass hierfür anderweitige Maßnahmen ergriffen werden müssten.

Mit einer Bromidausgangskonzentration von bis zu 150 µg/L und einer erhöhten Bromatbildung beim Einsatz von 10 mg O₃/L ist die Bromatbildung im späteren Betrieb bei vergleichbaren Randbedingungen zu beobachten. Bei den in der Regel niedrigeren Bromidkonzentration und der im späteren Betrieb erforderlichen geringeren Ozondosis ist das Erreichen einer kritischen Bromatkonzentration jedoch unwahrscheinlich. Als Gegenmaßnahme kann bei einer ggf. zu hohen Bromatbildung eine Zugabe von Wasserstoffperoxid in den Ozonungsprozess erfolgen.

3 Potenziale zur Spurenstoffelimination durch Maßnahmen zur Verfahrens- und Energieoptimierung

3.1 Allgemeines und Vorgehensweise

Die Kläranlage Duisburg-Hochfeld ist in den letzten Jahren aufgrund des Rückgangs des industriellen Anteils unterbelastet betrieben worden. Aus der geringen Belastung der Kläranlage resultieren Potenziale zur Betriebsoptimierung und zur Reduzierung des Energieverbrauchs mit denen die Integration einer Anlage zur Spurenstoffelimination verfahrenstechnisch und wirtschaftlich kombiniert werden können.

Zuerst wird daher der Ist-Zustand der Kläranlage erläutert. Darauf aufbauend werden mögliche Maßnahmen zur Betriebsoptimierung und zur Reduzierung des Energiebedarfs ausgearbeitet. Dabei werden insbesondere Erkenntnisse aus bereits existierenden Studien berücksichtigt und eingearbeitet. Die wesentlichen ergänzenden Maßnahmen zur Optimierung und Implementierung einer Spurenstoffelimination sind:

- Integration einer Vorklärung in den Klärprozess. Dadurch wird die biologische Stufe entfrachtet und es kann freiwerdendes Belebungsvolumen zur Integration einer Anlage zur Spurenstoffelimination genutzt werden. Aus dem energiereichen Primärschlamm wird nach der Faulung in einem neu zu installierenden BHKW elektrische Energie für die Spurenstoffelimination bereitgestellt. Bisher eingesetztes Erdgas zur Wärmeversorgung wird durch die Wärmeerzeugung im BHKW mit dem Faulgas substituiert.
- Neukonzeption und Nachbemessung der biologischen Reinigungsstufe unter Berücksichtigung der durch die Vorklärung weiter sinkenden stofflichen Belastung und energetischen Optimierung. Grundsätzlich wird hierbei die in der Energetischen Feinanalyse (PFI, 2012) vorgeschlagene Verfahrensumstellung auf eine intermittierende Denitrifikation alternativen energetischen Ertüchtigungsmaßnahmen gegenübergestellt. Dabei wird eine Abkehr der zurzeit eingesetzten Sauerstoffbegasung zur Druckluftbegasung untersucht.
- Der Überschussschlamm (ÜSS) der Biologie wird derzeit in drei Voreindickern mechanisch eingedickt. Die Leistungsfähigkeit der mechanischen Eindickung begrenzt die ÜSS-Entnahme und führt durch höhere Feststoffgehalte und damit längeren Schlammalter zu aerober Stabilisierung in der Biologie. Die aerobe Stabilisierung in der Biologie erfordert zusätzliche Belüftungsenergie und vermindert zudem den Gas- bzw. Energieertrag aus der Faulung des ÜSS. Die höheren ÜSS-Schlammengen erfordern ferner einen größeren Wärmeeinsatz und reduzieren die Aufenthaltszeit in der Faulung mit der Konsequenz geringen Gasertrages. Durch die Einbeziehung einer maschinellen ÜSS-Eindickung kann der Feststoffgehalt in der Biologie eingestellt werden. Der Nutzen für die Spurenstoffelimination ist eine geringere Auslastung der Nachklärung und damit ein weitere Effizienzsteigerung bei geringem Energieeinsatz. Ferner werden die Energiereduzierungspotenziale für die Spurenstoffelimination nutzbar gemacht.

3.2 Beschreibung des IST-Zustandes

Die Kläranlage Duisburg-Hochfeld wurde seit dem Jahre 1967 von einer mechanischen Kläranlage in fünf Bauabschnitten bis Mitte der 1990iger Jahren zu einer biologischen Kläranlage ausgebaut. Im letzten Bauabschnitt V wurde die Kläranlage durch eine umfangreiche Erweiterung hinsichtlich der Stickstoff- und Phosphorelimination auf die Anforderungen der Rahmenabwasserverordnung ausgebaut.

Aufgrund des von der AEW Plan GmbH ausgearbeiteten Genehmigungsantrages wurde der Stadt Duisburg am 11.12.1997 die Erlaubnis (Aktenzeichen 54.16.31 – 115/97) erteilt gereinigtes Abwasser aus der Kläranlage – befristet bis zum 31.12.2012 – und Regenwasser aus dem Regenüberlaufbecken der Kläranlage in den Rhein einzuleiten [6]. Eine Verlängerung der Einleiterlaubnis erfolgte mit dem Bescheid vom 4.9.2013 bis zum 31.7.2028.

Die erlaubte Einleitung dient der Abwasserbeseitigung aus den Ortsteilen Hochfeld, Wanheimerort, Wedau, Bissingheim und Teilen von Dellviertel und Neudorf der Stadt Duisburg.

Nach den Ergebnissen eines Intensivmessprogrammes wurde im Jahr 2009 die Kläranlage nachbemessen und die Außerbetriebnahme einer Belebungsstraße im Genehmigungsentwurf nach § 58 (2) LWG beantragt und genehmigt [10]. Im Ergebnis des Intensivmessprogrammes konnte festgestellt werden, dass der BSB₅ basierende und für die Einordnung der Anlage wesentliche Anschlusswert bei ca. 76.000 EW liegt und damit deutlich unter dem Bemessungswert von 92.000 EW. Die Anlage ist somit unterbelastet.

Überwachungswerte

Gemäß Erlaubnisbescheid vom 04.09.2013 sind für die Einleitung in den Rhein seit dem 01.01.2013 die folgenden Überwachungswerte einzuhalten [7]:

Tabelle 3-1: Einzuhaltende Überwachungswerte

Parameter	Konzentration	Bemerkung
CSB	90 mg/L	
BSB ₅	20 mg/L	
NH ₄ -N	10 mg/L	bei Abwassertemperatur größer 12 °C im Ablauf des biologischen Reaktors
N _{ges. mineralisch}	18 mg/L	
P _{ges}	2 mg/L	
AOX	100 µg/L	
Hg	1 µg/L	
Cd	5 µg/L	
Cr	50 µg/L	
Ni	50 µg/L	
Pb	50 µg/L	
Cu	100 µg/L	

Für den Nachweis des Wasserweges werden die Überwachungswerte des Erlaubnisbescheides zugrunde gelegt und entsprechend den Empfehlungen des LUA NRW die Bemessungswerte für die Berechnung mit dem Programm design2treat[®] gewählt [14]:

Tabelle 3-2: Bemessungswerte Programm design2treat®

Parameter	Bemessungswert	Bemerkung
Norg	2 mg/L	im Mittel
NH ₄ -N	10 mg/L	In der Spitze
NH ₄ -N	2 mg/L	im Mittel
NO ₃ -N	10 mg/L	im Mittel

Hydraulische Bemessungswerte

Die Kläranlage Duisburg-Hochfeld wurde im Bauabschnitt V hydraulisch auf Basis der folgenden Bemessungswerte dimensioniert. Abweichend davon konnte aufgrund der Ergebnisse des Intensivmonitorings eine höhere Tageswassermenge angesetzt werden.

Tabelle 3-3: Hydraulische Bemessungswerte

Art des Zuflusses	Wassermenge
Tageswassermenge $Q_{d,85}$	23.000 m ³ /d (aus Intensivmonitoring, ursprünglich 21.600 m ³ /d)
Trockenwetterzufluss Q_t	1.350 m ³ /h = 375 L/s
Mischwasserzufluss Q_m	2.700 m ³ /h = 750 L/s

Bemessungsfrachten für den Nachweis des Wasserweges

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind die Bemessungsfrachten für den Nachweis des Wasserweges der Kläranlage Duisburg Hochfeld aus dem Genehmigungsentwurf [10] zusammengestellt. Die Auswertung erfolgte unter Berücksichtigung des Arbeitsblattes ATV-DVWK-A 198. Die Säurekapazität wurde im Mittel mit $S_{SK} = 5,1$ mmol/l im Zulauf gemessen.

Tabelle 3-4: Bemessungsfrachten für den Nachweis des Wasserweges [10]

Parameter	Rohabwasser T85-Wert Rohwasser nach ATV-DVWK A131 [g/E*d]	Bemessungsfracht Intensivmessprogramm April/Mai 2008		
		gemessen [kg/d]	gemessen [EW]	
BSB ₅	60	4.568	76.140	
CSB	120	10.821	90.173	
AFS (TS)	70	5.154	73.633	
TKN	11	767	69.722	
		NH ₄ -N	575	
		Norg	192	
P _{ges}	1,8	137	75.938	

Zulauffrachten für die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind die mittleren Zulauffrachten maßgebend. In Tabelle 3-5 sind die mittleren Zulauffrachten der Trocken- und Regenwettertage aus dem Intensivmessprogramm 2008 aufgelistet. Das Verhältnis der mittleren Frachten zu den Bemessungsfrachten liegt bei ca. 0,75. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung werden daher die wesentlichen Ergebnisse des Schlammanfalls und des Sauerstoffbedarfs aus der Bemessungsrechnung mit dem Faktor 0,75 abgemindert, um die mittleren Verhältnisse zu berücksichtigen.

Tabelle 3-5: Zusammenstellung der mittleren Zulauffrachten [12]

Zusammenstellung der Zulauffrachten der Trocken- und Regenwettertage Intensivmessprogramm 2008									
	AFS Fracht Intensiv- messprogramm [kg/d]	BSB5 Fracht Intensiv- messprogramm [kg/d]	CSB Fracht Betriebs- tagebuch [kg/d]	CSB Fracht Intensiv- messprogramm [kg/d]	TKN Fracht Betriebs- tagebuch [kg/d]	TKN Fracht Intensiv- messprogramm [kg/d]	Pges Fracht Betriebs- tagebuch [kg/d]	Pges Fracht Intensiv- messprogramm [kg/d]	Tageswasser menge [m³/d]
Anzahl	22	22	22	22	22	22	22	22	22
MIN	2.213	1.897	2.230	5.520	444	462	74	46	10.804
MAX	7.926	5.040	22.302	17.834	3.714	1.048	485	216	33.026
Mittelwert	4.547	3.746	9.112	9.841	1.013	713	147	126	17.813
T85-Wert	6.064	4.628	13.927	11.942	1.225	927	211	176	24.998
spez. Fracht	EW 70	EW 60	EW 120	EW 120	EW 11	EW 11	EW 1,8	EW 1,8	
MIN	31.610	31.610	18.581	45.996	40.379	42.033	41.294	25.666	
MAX	113.232	84.008	185.852	148.617	337.635	95.292	269.472	120.087	
Mittelwert	64.958	62.432	75.932	82.009	92.123	64.819	81.770	70.027	
T85-Wert	86.626	77.132	116.058	99.513	111.401	84.305	117.202	97.999	

Leistungsfähigkeit der Nachklärung

Für die Bemessung des Wasserweges wurde im Genehmigungsentwurf ein Schlammindex von $ISV = 90 \text{ L/kg}$ gewählt [10]. Die Bemessungsregeln des Arbeitsblattes A 131 gelten für definierte Randbedingungen. Betrieblich wird ein Feststoffgehalt von im Mittel $TS_{BB} = 8,8 \text{ g/L}$ erreicht. Mit diesem Feststoffgehalt wird das zulässige Vergleichsschlammvolumen von $VSV < 600 \text{ L/m}^3$ deutlich überschritten; $VSV = ISV \cdot TS_{BB} = 90 \cdot 8,8 = 792 \text{ L/m}^3$.

Weiter eingeschränkt wird der zulässige Feststoffgehalt durch die notwendige Einhaltung der Schlammvolumenbeschickung q_{sv} , die nach ATV-DVWK-A 131 bei horizontal durchströmten Nachklärbecken $q_{sv} < 500 \text{ L/(m}^2 \cdot \text{h)}$ nicht überschreiten sollte, um den Feststoffabtrieb auf $X_{TS} < 20 \text{ mg/L}$ zu begrenzen [2]. Mit dem ermittelten Schlammindex von $ISV = 90 \text{ L/kg}$ resultiert aus diesen und den geometrischen Bedingungen und bei Ausschöpfung der Räumlichkeiten ein maximal zulässiger Feststoffgehalt von $TS_{BB} = 4,2 \text{ g/L}$.

Außerdem wurde das Absetzverhalten in den Nachklärbecken der Kläranlage Duisburg Hochfeld mit einer numerischen Simulation hinsichtlich seiner Separationsleistung untersucht. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass ein Trockensubstanzgehalt von $5,35 \text{ g/L}$ eingehalten werden kann. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass der Zulauf optimal kurz unterhalb der Trennzone erfolgt und sich im Becken ein sehr dichter Flockenfilter ausbildet. Insofern besteht trotz des relativ kleinen Mittelbauwerks und den hohen Einlauf mit der derzeitigen Betriebsweise kein Optimierungsbedarf. Die stabilen und niedrigeren Ablaufwerte der abfiltrierbaren Stoffe ermöglichen somit eine effiziente und gleichzeitig energieoptimierte Spurenstoffelimination mittels Ozon.

Im Rahmen der Nachrechnung der Optimierungsmaßnahmen wird in Kapitel 3.5.2 der maximal zulässige Feststoffgehalt TS_{BB} über die Bemessung der Nachklärung nach ATV-DVWK-A 131 festgelegt. Um zukünftig ggf. veränderte Schlammabsetzeigenschaften zu berücksichtigen, wird ein ISV von 100 L/kg gewählt. Die maximale Eindickzeit in der Nachklärung wird auf 1,5 Stunden begrenzt, um eine Phosphorrücklösung zu vermeiden.

Verfahrenstechnik

In Abbildung 3-1 ist die Kläranlage Duisburg Hochfeld dargestellt. Die verfahrenstechnisch relevanten Hauptabmessungen sind tabellarisch in der Tabelle 3-6 zusammengefasst.



Abbildung 3-1: Übersicht Kläranlage Duisburg Hochfeld (Quelle: Google Maps)

Tabelle 3-6: Verfahrenstechnische Kennwerte

Anlagenteil	Technische Daten - Kennwerte
Einlaufhebewerk	3 Schnecken Ø 1.400 mm
Rechenanlage und - presse	Sieblochrechen, Lochweite = 15 mm
Belüfteter Sandfang	2 Kammern, Länge : 39,0 m, Breite : 2,65 m
Anaerobes Mischbecken	Gesamtvolumen: 4.846 m ³ , Wassertiefe: 4,16 m
Zwischenhebewerk	3 Schnecken Ø 1.400 mm (Q = 3 * 375 L/s) 2 Schnecken Ø 1.200 mm
Rechen	3 Feinrechen Step-Screen 2200, Spaltweite a = 6 mm
Belebungsbecken (sauerstoffbegast)	4 Straßen à 1.696 m ³ - je Straße ; <i>davon derzeit eine Straße außer Betrieb</i> 1 Deni-Einheit à 684 m ³ 1 Deni/Nitri-Einheit à 253 m ³ und 3 Nitri-Einheiten à 253 m ³ Gesamtvolumen 6.784 m³ , davon 5.088 m ³ in Betrieb Wassertiefe t = 3,5 m Reinsauerstoffbegasung (LINDOX)
Belebungsbecken (druckluftbegast)	2 Straßen à 4.461 m ³ - je Straße 4 Nitri-Einheiten à 884 m ³ 1 Deni/Nitri-Einheit à 925 m ³ Gesamtvolumen 8.922 m³ Wassertiefe t = 5,4 m
Fällmittellager- und -dosierstation	Fällmittel FeClSO ₄ , 1 Lagertank à 30 m ³ Dosierstelle Zwischenhebewerk
Nachklärbecken	3 Nachklärbecken à 2.932 m ³ Durchmesser D= 36,0 m Randwassertiefe h = 3,0 m 2-seitiger Überfall Gesamtvolumen 8.796 m ³ Saugräumer – horizontale Sohle
Voreindicker	3 Voreindicker, Gesamtvolumen 690 m ³
Masch. Überschussschlammeindickung	nicht vorhanden
Faulbehälter	2 Faulbehälter, Gesamtvolumen 3.000 m ³
Nacheindicker	3 Nacheindicker, Gesamtvolumen 690 m ³
Maschinelle Schlammwässerung	2 Zentrifugen à 10 m ³ /h

Auf Basis der in Tabelle 3-6 zusammengestellten Daten werden die nachfolgenden Optimierungsmaßnahmen dimensioniert.

3.3 Integration einer Vorklärung in den Klärprozess

3.3.1 Allgemeines

Im Zuge der Auslastungsermittlung für die Kläranlage Duisburg Hochfeld wurde festgestellt, dass die heutige Belastung der Kläranlage niedriger ist, als die Prognose unter der der Ausbau durchgeführt wurde. Nach Durchführung des Intensivmessprogramms im April/Mai 2008 konnte zudem festgestellt werden, dass die Abwasserzusammensetzung heute stärker kommunal geprägt ist, da der industrielle Anteil zurückgegangen ist [9].

In den letzten Jahren hat sich das für eine weitgehende Denitrifikation erforderliche Verhältnis BSB₅ zu Stickstoff weiter in den positiven Bereich verschoben. Diese Änderung der Belastungssituation ermög-

licht eine verfahrenstechnische Optimierung der Kläranlage durch die Einbindung einer Vorklärung in den Reinigungsprozess. Durch die Integration einer Vorklärung wird die Belastung der Belebungsstufe reduziert. So können weitere Belebungsstraßen für die biologische Reinigung außer Betrieb genommen werden und für die Spurenstoffelimination genutzt werden. Dadurch wird insbesondere der Energiebedarf bzw. der Reinsauerstoffbedarf der Belebung reduziert und die Investitionskosten für die Spurenstoffelimination gemindert. Die Verminderung des Energieeinsatzes für die Belebung wird für die Anlage der Spurenstoffelimination genutzt.

In der Vorklärung wird „energiereicher“ Primärschlamm abgezogen und in der anaeroben Faulung zu Faulgas gewandelt. Bisher wird diese Kohlenstofffracht in der Belebung durch den Einsatz von Energie bzw. Reinsauerstoff oxidiert. Der höhere Faulgasanfall kann dazu genutzt werden, den bisher erforderlichen Erdgaseinsatz zur Prozesswärmeerzeugung zu substituieren und ein BHKW zu betreiben.

Die (Vor)-Entwässerungseigenschaften des Primärschlammes aus der Vorklärung sind in der Regel besser als die des Überschussschlammes allein. Damit wird der Wasseranteil im Schlamm und somit die Rohschlammmenge reduziert und die Aufenthaltszeit im Faulbehälter erhöht. Die Konsequenz ist eine höhere spezifische Gasausbeute aufgrund der längeren Faulzeit und somit eine größere Gasmenge und eine geringere Schlammensorgungsmenge.

Die mit einer Vorklärung zu realisierenden energetischen Vorteile und die Entsorgungskosteneinsparungen wurden für die derzeitige Betriebsweise in einer vorherigen Studie im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung den erforderlichen Investitionen auf Basis einer Kostenabschätzung gegenübergestellt [12].

3.3.2 Verfahrenstechnische Kenndaten

Die Kläranlage Duisburg-Hochfeld wurde nach dem Arbeitsblatt A131 mit den Belastungswerten im IST-Zustand sowohl ohne Vorklärung als auch nach Integration einer Vorklärung nachgewiesen. In Kapitel 3.5.2 sind hierzu die klärtechnischen Berechnungsergebnisse inkl. Abschätzung des Potenzials zur Umnutzung von Belebungsbeckenvolumen für eine Anlage zur Spurenstoffelimination dargestellt.

Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Integration einer Vorklärung zum IST-Zustand ohne Vorklärung wurden auf der Grundlage der mittleren Zulaufmengen aus dem Intensivmessprogramm 2008 ermittelt. Die Werte aus der klärtechnischen Berechnung wurden mit dem Faktor 0,75 abgemindert, der ca. das Frachtverhältnis zwischen mittlerer Fracht und Bemessungsfracht widerspiegelt.

Die verfahrenstechnischen Kenndaten der Vorklärung werden aus der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung zur Vorklärung übernommen [12]. Bei der Vorklärung ist davon ausgegangen worden, dass der innere Ring ($\varnothing = 19,0$ m) für die Vorklärung genutzt wird. Zur Berechnung des Reaktionsvolumens wird die jetzige Wassertiefe um 50 cm reduziert angenommen, um Reserven für zusätzliche hydraulische Verluste und für den Einbau des Räumers zu schaffen. Damit ergibt sich eine Wassertiefe von 3,66 m (WSP 27,16 – Sohle 23,00 müNN – Reserve 0,5 m). Das Vorklärbeckenvolumen beträgt dann rd. 1.000 m³.

Bei Trockenwetterzufluss von 1.350 m³/h wird eine Aufenthaltszeit von 0,74 h erreicht. Die Wirkungsgrade der Vorklärung werden nach den Empfehlungen des LUA [14] angesetzt:

- $\eta_{\text{BSB5}} = 23 \%$
- $\eta_{\text{TS0}} = 45 \%$
- $\eta_{\text{NH4-N}} = 0 \%$
- $\eta_{\text{Norg}} = 23 \%$
- $\eta_{\text{Pges}} = 13 \%$

3.3.3 Umbaumaßnahmen zur Integration einer Vorklärung

Die Voraussetzungen für geringe Investitionskosten zur Einbindung einer Vorklärung sind auf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld gegeben. Im vorhandenen runden anaeroben Mischbecken kann ein Vorklärbecken durch Nutzung und Umbau des Innenringes realisiert werden, da es sich hier um ein ehemaliges Klärbecken mit Trichterspitze handelt, die mit Beton verfüllt wurde. Der Außenring wird weiterhin als anaeroben Mischbecken genutzt. Das Volumen ist auch mit Vorklärung ausreichend für eine biologische P-Elimination

In Abbildung 3-2 sind die erforderlichen Umbaumaßnahmen schematisch dargestellt. Der Rücklaufschlamm wird dazu direkt in den Außenring eingeleitet. Die Rücklaufschlammleitung wird vor dem Mischschacht aufgenommen und über ein neues Leitungsstück bis zum Außenring verlängert. Der Anschluss erfolgt über einen Schieberschacht. Mit den Schiebern kann vom Vorklärbecken- zum Mischbeckenbetrieb bzw. zur kompletten Umfahrung der Beckeneinheit umgestellt werden.

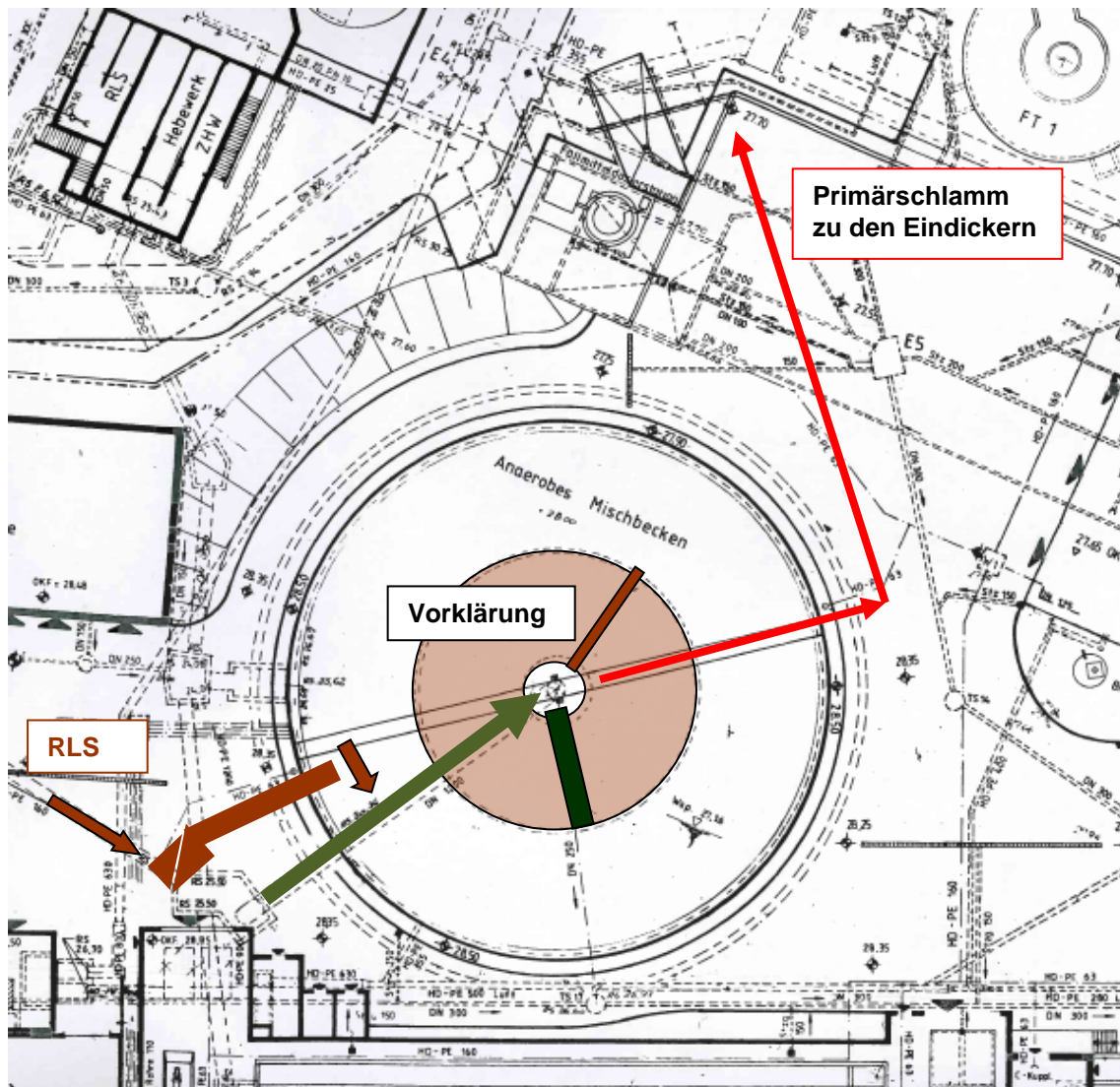


Abbildung 3-2: Integration einer Vorklärung ins Anaerobe Mischbecken

In das Becken wird ein Räumler zum Abzug des Primärschlammes integriert. Der Schlammabzug erfolgt über Pumpen mit einer neuen Leitung zu den Eindickern.

Durch Entfrachtung der Belebung wird der Überschussschlammanfall reduziert. Einer der Voreindicker wird zukünftig im Wechsel zur Aufnahme und Mischung mit dem eingedickten Überschussschlamm vor dem Faulbehälter genutzt. Die Faulbehälter würden unverändert weiter betrieben. Der Neubaufwand wäre insgesamt begrenzt. Im Wesentlichen wird durch Anpassung von Rohrverschaltungen die Funktionsänderung in der Schlammbehandlung ermöglicht.

3.4 Maschinelle Überschussschlammeindickung und BHKW

Die Betrachtung des Wärmebedarfs für die Rohschlammaufheizung und der Faulgasverwertung in Kapitel 3.5.3 zeigt, dass bei Betrieb einer maschinellen Überschussschlammeindickung (MÜSE) ausreichend Faulgas zum Betrieb eines BHKW und der weitgehenden Deckung des Wärmebedarfs aus der Abwärme vorhanden ist.

Die MÜSE ermöglicht eine Eindickung auf einen TR von ca. 5 – 7 %. Bei den Berechnungen wurde für die statische Eindickung ein TR von 3 % angesetzt. Durch die höhere Eindickung des Überschussschlammes wird der Energiebedarf zur Rohschlammaufheizung reduziert, die Aufenthaltszeit im Faulbehälter erhöht sowie die bisherige Schlammstapelung in der Biologie infolge von Kapazitätsengpässen in der Schlammbehandlung vermieden. Ferner wird die nachfolgende Faulschlammentwässerung entlastet, sodass dort weniger Energie benötigt wird.

Für die maschinelle Überschussschlammeindickung werden in der Regel Band-/Trommel-/Scheibeneindicker oder Zentrifugen eingesetzt. Zentrifugen können mit bzw. ohne FHM betrieben werden, jedoch verschlechtert sich ohne FHM die Schlammeindickung. Der spezifische Energiebedarf von Bändeindickern und vergleichbaren Aggregaten ist mit $< 0,2 \text{ kWh/m}^3$ niedriger als der von Zentrifugen mit $1 - 1,4 \text{ kWh/m}^3$.

Für die Nachrüstung der Kläranlage Duisburg Hochfeld wird ein Bändeindicker mit dazugehöriger Aufbereitungsstation für Flockungshilfsmittel und der erforderlichen Schlammförderung und Verrohrung vorgesehen. Als Aufstellort wird die bisherige Feinrechen- und Containerhalle genutzt. Die Überschussschlammeleitung läuft unmittelbar am Gebäude vorbei und die Strecke zu den Faulbehältern ist kurz. Der Feinrechen inkl. Containerkarussell wird demontiert, da dieser bei Betrieb der Vorklärung und dem zurzeit betriebenen Zulaufrechen nicht mehr erforderlich ist. Die Beschickung der MÜSE erfolgt wahlweise direkt aus der Abzugsleitung für den Überschussschlamm oder aus den als Vorlagebehälter nutzbaren Voreindickern.

Ursprünglich war im Zulauf der Kläranlage ein Gegenstromrechen mit 20 mm Spaltweite installiert. Zurzeit wird im Zulauf ein Sieblochrechen mit 15 mm Lochweite betrieben. Der vorhandene Zulaufrechen ist bei einer zukünftigen Integration einer Vorklärung ausreichend, sodass der Feinrechen zwischen anaeroben Mischbecken und Belebungsbecken als Betriebspunkt entfallen und das Feinrechengebäude anderweitig genutzt werden kann. Im Zuge einer zukünftigen regulären Erneuerung der Zulaufrechenanlage wird jedoch eine Prüfung zur weiteren Verkleinerung der Öffnungsweite empfohlen.

Als BHKW-Standort ist ebenfalls die vorhandene bisherige Feinrechen- und Containerhalle geeignet. Das BHKW wird mit Schalldämmgehäuse und Peripherie in der Halle aufgestellt. Zusätzlich wird eine Siloxanreinigungsanlage vorgesehen. Das BHKW wird mit ca. 25 bis 30 % Leistungsreserve gegenüber dem mittleren Gasanfall ausgelegt. Der elektrische Wirkungsgrad wird im Mittel mit 35 % (Spitzenwert ca. 40 %) und der thermische mit 50 % angenommen.

Aus der später noch erläuterten Energiebilanzierung (vgl. Tabelle 3-15) ergibt sich eine mittlere Stromerzeugung von 2.520 kWh/d. Dies entspricht einer elektrischen Leistung von 105 kW_{el}. Inkl. Leistungsreserven ist eine BHKW-Leistung von ca. 135 kW_{el} erforderlich.

3.5 Verfahrensumstellung Belebung nach Integration einer Vorklä rung

Gegenwärtig wird die Kläranlage Duisburg-Hochfeld nach dem Verfahren der vorgeschalteten Denitrifikation betrieben. Durch die Integration einer Vorklä rung wird zukünftig weniger Belebungsbeckenvolumen erforderlich sein. Es ergeben sich dadurch weitere Möglichkeiten zur Verfahrensumstellung bzw. energetischen Optimierung der biologischen Reinigung.

3.5.1 Allgemeines

Derzeit besteht die biologische Stufe aus einer vierstraßigen sauerstoffbegasten Biologie, wovon zurzeit drei Straß en betrieben werden und einer nachgeschalteten zweistraßigen druckluftbegasten Beleb ung. Die sauerstoffbegasten Becken sind vollständig abgedeckt und werden aus der Sauerstoffpipeline des Ruhrgebietes versorgt. Beide Belebungsbeckeneinheiten sind in Zonen zur Denitrifikation und zur Nitrifikation unterteilt.

Zur Trennung des Abwasser-Belebtschlamm-Gemisches sind drei runde Nachklä rbecken vorhanden.

Im Folgenden werden zwei mögliche Hauptvarianten zur Verfahrensumstellung der Beleb ung betrachtet.

Variante 1: Intermittierende Denitrifikation

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Beckenvolumina und –geometrie, ist die intermittierende Denitrifikation für eine Verfahrensumstellung besonders hervorzuheben, wie dies bereits in der Energiefeinanalyse vorgeschlagen wurde [15]. Im Gegensatz zur vorgeschalteten Denitrifikation bedarf die intermittierende Denitrifikation keiner Rezirkulationswasserführung und keiner permanenter Umwälzung der Denitrifikationsräume. Für die intermittierende Belüftung sind eine flächendeckende Belüftung der Biologie und eine Erhöhung der spezifischen Belüftungsleistung erforderlich. Durch eine Neuinstallation eines energetisch günstigeren Belüftungssystems können weitere Energiepotenziale gehoben werden.

Variante 2: Umrüstung der sauerstoffbegasten Becken zur vorgeschalteten Denitrifikation

Die zwei vorhandenen Beckeneinheiten der sauerstoff- und druckluftbegasten Beleb ung lassen sich sehr gut als getrennte Denitrifikations –und Nitrifikationsbecken betreiben. Grundüberlegung ist, dass das zurzeit sauerstoffbegaste Becken mit einer Wassertiefe von 3,50 m für eine Umrüstung auf eine effiziente Druckluftbelüftung sehr flach ist. Es eignet sich jedoch als vorgeschaltetes Denitrifikationsbecken. Das druckluftbegaste Becken weist mit einer Einblastiefe von 5,20 m gute Voraussetzungen für den energieeffizienten Sauerstoffeintrag mittels Druckluft auf, sodass dieses Becken weitestgehend für die Nitrifikation genutzt wird.

3.5.2 Nachweis der klärtechnischen Leistungsfähigkeit

Die klärtechnische Leistungsfähigkeit wird für die im Genehmigungsantrag [10] angenommenen Zulauf frachten nachgewiesen, die in Kapitel 3.2 aufgeführt sind.

Bemessung des notwendigen Belegungsvolumens

Unter Berücksichtigung der Bemessungsfrachten und Grundlagendaten erfolgte eine Bemessung des Wasserweges nach dem Arbeitsblatt A 131 des ATV-DVWK mit dem Berechnungsprogramm Design2treat[®]. Folgende Berechnungen wurden durchgeführt:

- Ist-Zustand: ohne Vorklärung, vorgeschaltete Denitrifikation, $TS_{BB} = 4,17 \text{ g/L}$ (ISV = 90 mg/L) (analog Genehmigungsantrag)
- Variante 1a: mit Vorklärung, intermittierende Denitrifikation, $TS_{BB} = 3,43 \text{ g/L}$ (ISV = 100 mg/L)
- Variante 2a: mit Vorklärung, vorgeschaltete Denitrifikation, $TS_{BB} = 3,43 \text{ g/L}$ (ISV = 100 mg/L)

Der biologische Reaktor wurde für den Ist-Zustand mit einem Feststoffgehalt von $TS_{BB} = 4,17 \text{ g/L}$ nachgewiesen. Bei diesem Feststoffgehalt werden die drei Nachklärbecken, unter Berücksichtigung der Randbedingungen des Arbeitsblattes A 131, gerade vollständig ausgelastet. Diese Bemessung war auch die Grundlage des Genehmigungsantrages nach § 58(2) LWG [10]. Nach den Ergebnissen der numerischen Strömungssimulation der Nachklärbecken [11] kann ein Feststoffgehalt von $TS_{BB} = 5,35 \text{ g/L}$ gefahren werden. Dies zeigt das Potenzial des Systems Belegung und Nachklärung.

Im Rahmen der Variantenrechnung wurde der Schlammindex gegenüber dem Ist-Zustand von ISV = 90 mg/L auf ISV = 100 mg/L angehoben, wodurch sich der rechnerische Trockensubstanzgehalt im Belegungsbecken reduziert. Die maximale Eindickzeit im Nachklärbecken wurde auf 1,5 Stunden begrenzt.

In dem nachfolgenden tabellarischen Auszug aus dem Programm Design2treat[®] werden die Bemessungswerte und Ergebnisse der Berechnung nach A 131 zusammengefasst. Die vollständigen Daten sind in Anlage 2 beigefügt.

Tabelle 3-7: Volumen für die biologische Reinigung mit und ohne Vorklärung

Beckenvolumen		IST-Zustand	Variante 1a	Variante 2a	Differenz		Differenz			
		Vorgeschaltete Denitrifikation	Intermittierende Denitrifikation	Vorgeschaltete Denitrifikation	Variante 1 - Ist-Zustand		Variante 2 - Ist-Zustand			
		ohne Vorklärung	mit Vorklärung	mit Vorklärung	absolut	[%]	absolut	[%]		
		[m ³]	[m ³]	[m ³]						
Anaerobbecken	vorhanden	4.264	3.264	3.264						
	berechnet	2.697	2.603	2.211						
Vorklärung		keine	1.000	1.000						
Denitrifikation	ber. T=12°C	1.675	3.429	1.652	1.754	105%	-	23	-1%	
	vorh. von	2.052								
	bis	4.661								
Nitrifikation	ber. T=12°C	9.112	6.986	7.193	-	212%	-	1.919	-21%	
	vorh. von	9.349								
	bis	11.958								
Deni- und Nitrifikationsvolumen	berechnet	10.787	10.415	8.845	-	372	-3%	-	1.942	-18%
	vorhanden	14.010								
Gesamtvolumen	vorhanden	18.274	13.018	11.056	-	466	-3%	-	2.428	-18%
	berechnet	13.484								
	Reserve	4.790								

Die Berechnungen zeigen (siehe Tabelle 3-7), dass das zurzeit genutzte Belegungsvolumen (14.010 m³, siehe Tabelle 3-8) bereits heute nicht voll ausgenutzt wird und zusammen mit dem Anaerobbecken sich für den IST-Zustand bereits eine deutlich Reserven in Höhe von 4.790 m³ beim Gesamtbeckenvolumen

ergibt. Zuvor wurde bereits das Belebungsbeckenvolumen durch die Außerbetriebnahme einer Straße der sauerstoffbegasten Belebung verringert.

Im Anaerobbecken steht auch nach Integration einer Vorklärung ausreichend Volumen zur biologischen Phosphorelimination zur Verfügung. Für die Integration der Vorklärung wurde bei der Volumenberechnung einen um 0,50 m verringerten Wasserstand im Becken angenommen. Der Anteil des Bio-P-Volumens am Gesamtvolumen von 25 % nach DWA-Empfehlung wird für beide Varianten deutlich überschritten.

Nach Integration einer Vorklärung ist für beide Varianten ein geringeres Belebungsvolumen erforderlich als ohne Vorklärung. Bei der vorgeschalteten Denitrifikation im Ist-Zustand und in Variante 2 geht nur ein geringer Anteil der leicht abbaubaren organischen Fracht verloren, sodass ein geringeres Denitrifikationsvolumen als bei der intermittierenden Denitrifikation erforderlich ist. Aus betrieblichen Gründen und entsprechend den Empfehlungen des Arbeitsblattes A 131 ist das Denitrifikationsvolumen etwas zu erhöhen, um das Verhältnis V_{DN}/V_{ges} von größer 0,2 zu erreichen.

Die wesentliche Reduzierung des erforderlichen Volumens durch die Integration der Vorklärung liegt bei der Nitrifikation, die bei einer intermittierenden Denitrifikation um 23 % und bei der vorgeschalteten Nitrifikation um 21 % verkleinert werden kann. Das rechnerische Gesamtvolumen für die Denitrifikation und Nitrifikation wird in Variante 1 um 372 m³ und in Variante 2 um 1.942 m³ reduziert.

Aus der Differenz von vorhandenem und berechnetem Volumen resultiert die Reserve und damit das Nutzungspotenzial für eine Spurenstoffelimination. Es kann demnach mindestens eine weitere Straße der sauerstoffbegasten Belebung außer Betrieb genommen und für die Spurenstoffelimination genutzt werden.

In der Tabelle 3-8 wird zunächst die Volumenaufteilung der mit Reinsauerstoff und der mit Luftsauerstoff begasten Straßen und die Volumen mit den reinen Denitrifikations- und Wechselzonen (D/N) sowie Nitrifikationszonen zusammengestellt.

Tabelle 3-8: Volumenaufteilung Belebung IST-Zustand

Belebung IST-Zustand	Straße	D		D/N		N		Σ [m ³]
		Anzahl	[m ³]	Anzahl	[m ³]	Anzahl	[m ³]	
sauerstoffbegast	1	1	684	1	253	3	253	1.696
	2	1	684	1	253	3	253	1.696
	3	1	684	1	253	3	253	1.696
	4	außer Betrieb						
druckluftbegast	1			1	925	4	884	4.461
	2			1	925	4	884	4.461
Gesamtvolumen			2.052		2.609		9.349	14.010
Betrieb "Denitrifikation"			4.661			9.349		14.010
Betrieb "Nitrifikation"			2.052	11.958				14.010

Veränderung des Schlammanfalls

Wesentlich für die energetisch Betrachtung und der darauf aufbauenden Kostenabschätzung sind die Schlammengen und der Sauerstoffbedarf in den jeweiligen Varianten. Die Betriebsweisen der später

noch betrachteten Untervarianten haben keinen bzw. bei geänderter P-Elimination nur geringen Einfluss auf die Schlammengen und werden daher nicht gesondert berücksichtigt. In Tabelle 3-9 sind die Bemessungsergebnisse des Schlammanfalls und des Sauerstoffbedarfs in Reinwasser zusammengestellt.

Tabelle 3-9: Bemessungsergebnisse der Schlammengen und des Sauerstoffbedarfs im IST-Zustand und bei den Varianten mit Vorklärung

Schlammdaten	IST-Zustand Vorgeschaltete Denitrifikation ohne Vorklärung	Variante 1a	Variante 2a	Differenz		Differenz	
		Intermittierende Denitrifikation mit Vorklärung	Vorgeschaltete Denitrifikation mit Vorklärung	Variante 1 - Ist-Zustand		Variante 2 - Ist-Zustand	
				absolut	[%]	absolut	[%]
Primärschlamm T85 [kgTS/d]	---	2.344	2.344	- 2.344	---	- 2.344	---
Überschussschlamm T85 [kgTS/d]	5.338	3.370	3.471	- 1.968	-37%	- 1.867	-54%
Fällschlamm T85 [kgTS/d]	122	160	160	38	31%	38	24%
Rohschlamm gesamt T85 [kgTS/d]	5.460	5.874	5.975	414	8%	515	9%
Sauerstoffbedarf bei 12 T85 [kgO ₂ /d]	10.880	9.264	9.006	- 1.616	-15%	- 1.874	-21%

Nutzungsvarianten des vorhandenen Beckenvolumens

Aufgrund der Wassertiefe von 5,40 m eignet sich die druckluftbegaste Beckengruppe besser für eine wirtschaftliche Belüftung mit Druckluft als die mit 3,50 m Wassertiefe flacheren, zurzeit mit Reinsauerstoff begasten Becken. Diese Becken sind als Kontaktreaktor für eine Ozonanlage bei Verwendung eines Pumpe-Injektor-System geeignet. Es wird daher empfohlen, dass die Straße 3 und 4 der sauerstoffbegasten Beckengruppe zur Spurenstoffelimination genutzt wird.

Grundsätzlich wird angestrebt auf eine Reinsauerstoffbegasung zu Gunsten einer Druckluftbegasung zu verzichten und ggf. weiteres Beckenvolumen außer Betrieb zu nehmen.

Bei dem geplanten Verzicht auf die Reinsauerstoffbegasung ist mit einem steigenden ISV zu rechnen. Teilweise kann die schlechtere Schlammverdickung in der Nachklärung durch die Erhöhung der Eindickzeit ausgeglichen werden. Aufgrund der verfügbaren Beckentiefe ist die erzielbare Eindickzeit jedoch begrenzt. Daher empfiehlt sich ein Anheben des Wasserspiegels in den drei Nachklärbecken. Nach A 131 ergibt sich bei einer WSP-Anhebung in den Nachklärbecken um 0,25 m und einem ISV von 130 mg/L ein erzielbarer Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken von 2,91 g/L.

Nachfolgend sind Nutzungsvarianten des vorhandenen Beckenvolumens einschließlich des anaeroben Mischbeckens dargestellt. Zum Teil ergibt sich dabei ein erforderlicher Trockensubstanzgehalt in der Belebungsbecken von über 2,91 mg/L. Bei diesen Varianten ist ein Nachweis der Leistungsfähigkeit der Nachklärung durch eine Mehrphasensimulation und ggf. eine Einlaufoptimierung der Nachklärbecken erforderlich.

Aus dem jeweils genutzten Belebungsbeckenvolumen (V_{BB}) und der klärtechnisch erforderlichen Masse der Feststoffe in den Belebungsbecken ($M_{TS, BB}$) ergibt sich der erforderliche Trockensubstanzgehalt in der Belebungsbecken: $TS_{BB} = M_{TS, BB} / V_{BB}$

In Tabelle 3-10 wird eine Übersicht zur Nutzung der vorhandenen Becken in den jeweiligen Varianten gegeben. Berücksichtigt ist hierbei, dass zwei Straßen der sauerstoffbegasten Belebungsbecken für die Anlage der Spurenstoffelimination genutzt werden.

Tabelle 3-10: Übersicht der Varianten zur Umstellung des Belebungsverfahrens mit erforderlichem Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken

Variante	Verfahren	TS _{BB} (g/L)	Anaerobes Mischbecken		Druckluftbegaste Belebungsbecken 8.922 m ³ (9.895 m ³)	Sauerstoffbegaste Belebungsbecken 1.696 m ³ je Straße
			Innenring 1.000 m ³	Außenring 3.264 m ³		
1a	intermittierende Denitrifikation	2,9	Vorklärung	Bio-P	D/N	D/N (2 Straßen)
1b		3,6		Bio-P	D/N (WSP +0,6 m)	Reserve (2 Straßen)
1c ^{**})		3,1 ^{*)}		Bio-P oder D/N	D/N	Reserve (2 Straßen)
1d ^{**})		3,4		Ausgleich	D/N (WSP +0,6 m)	Reserve (2 Straßen)
2a	vorgesaltete Denitrifikation	2,9		Bio-P	D/N (Kammer 1) N (Kammer 2-5)	D (1 Straße) Reserve (1 Straße)
2b		3,1		Bio-P	D/N (Kammer 1) N (Kammer 2-5) (WSP +0,6 m)	Reserve (2 Straßen)
2c ^{**})		3,4		Ausgleich	D/N (Kammer 1) N (Kammer 2-5) (WSP +0,6 m)	Reserve (2 Straßen)

*) Betrieb des Außenringes des anaeroben Mischbeckens als Belebungsbecken

***) Variante nachfolgend nicht weiter betrachtet

Variante 1: Intermittierende Denitrifikation

In **Variante 1a** mit *intermittierender Denitrifikation* kann nach Integration einer Vorklärung das erforderliche Belebungsbeckenvolumen gemäß Tabelle 3-9 von 10.415 m³ durch die zwei druckluftbegasteten Becken und einer sauerstoffbegasteten Straße ($2 \cdot 4.461 + 1.696 = 10.618 \text{ m}^3$) abgedeckt werden. Aus betrieblichen Gründen und zum Erhalt von Leistungsreserven wird für beide Beckengruppen ein zwei-straßiger Betrieb angenommen. Das Gesamtvolumen beträgt dabei 12.314 m³. Durch eine intermittierende Fahrweise sind „feste“ Deni/Nitri-Aufteilungen nicht erforderlich und werden durch die sequentielle Nutzung der Räume ersetzt. Voraussetzung ist, dass die vorhandene luftbegaste Biologie komplett mit Belüftern ausgerüstet wird. Ebenso ist bei einer Umrüstung der Sauerstoffbegasung auf eine Druckluftbegasung das gesamte Beckenvolumen mit Belüftern auszurüsten. Die Umwälzung für die Denitrifikationsphasen wird durch eine Impulsbelüftung gewährleistet. Durch den Verzicht auf eine Sauerstoffbegasung ist mit einem gegenüber dem Ist-Zustand höheren ISV zu rechnen. Mit einem ISV von 130 mg/L ist nach A 131 ein Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken von 2,91 g/L erzielbar. Der klärtechnisch erforderliche TS-Gehalt im Belebungsbecken beträgt 2,9 g/L ($= 3,43 \text{ g/L} \cdot 10.415 \text{ m}^3 / 12.314 \text{ m}^3$). Ein gesonderter Nachweis der Leistungsfähigkeit der Nachklärung ist somit nicht zwingend erforderlich.

In **Variante 1b** wurde betrachtet, bei welchem TS-Gehalt im Belebungsbecken das Volumen der druckluftbegasteten Belebungsbecken ausreichen würde, sodass auf die sauerstoffbegasteten Becken verzichtet werden kann. Bei einem Volumen von 8.922 m³ ist ein TS-Gehalt von 4,0 g/L ($= 3,43 \text{ g/L} \cdot 10.415 \text{ m}^3 / 8922 \text{ m}^3$) erforderlich. Das vorhandene Freibord von 1,20 m im Becken und die hydraulischen Verhältnisse zeigen, dass das Becken bis zu 0,60 m höher eingestaut werden kann. Das Beckenvolumen wür-

de sich dadurch auf 9.895 m^3 erhöhen. Der erforderliche TS-Gehalt im Belebungsbecken wird auf $3,6 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 10.415 \text{ m}^3 / 9.895 \text{ m}^3$) reduziert.

Die vorliegenden Ergebnisse der Mehrphasensimulation der Nachklärung zeigen bereits eine höhere Leistungsfähigkeit der Nachklärung als nach der Bemessung gemäß A 131. Bei Wahl dieser Variante ist neben einer Anhebung des Wasserspiegels in den Nachklärbecken eine Optimierung des Einlaufbauwerks zwingend erforderlich und die Leistungsfähigkeit der Nachklärung für einen höheren ISV mit einer Mehrphasensimulation nochmals nachzuweisen.

Leistungsreserven ergeben sich zudem aus der im Anaerobbecken zwangsläufig stattfindenden Denitrifikation des Rücklaufschlammes, wodurch sich die im Belebungsbecken zu denitrifizierende Nitratfracht und das erforderliche Denitrifikationsvolumen verringert. Zudem können zwei Straßen der sauerstoffbegasteten Belebungsbecken als Reservebecken vorgesehen werden.

Als weitere **Variante 1c** kann der äußere Ring des anaeroben Mischbeckens mit einem Volumen von 3.264 m^3 variabel gestaltet werden, sodass das Volumen bei Bedarf als Belebungsbeckenvolumen genutzt werden kann und die Bio-P-Stufe währenddessen über eine verstärkte Simultanfällung substituiert wird. Ein Betrieb als Belebungsbecken wäre z. B. bei niedrigen Abwassertemperaturen angebracht.

Für diesen Fall bietet sich die Belüftung mit Reinsauerstoff an, mit der auf der Kläranlage Hochfeld gute Erfahrungen vorliegen. Der Neubau einer Gebläsestation kann somit entfallen und die Umsetzung ist mit geringen Kapitalkosten möglich. Die Maßnahme erfordert die Verlegung einer Sauerstoffleitung zum anaeroben Mischbecken und den Einbau von Belüftermatten, Ejektoren oder Injektoren.

Ohne Bio-P ist durch die höhere Fällschlammmenge bei einem Feststoffgehalt von $TS_{BB} = 3,43 \text{ g/L}$ im Belebungsbecken ein Belebungsbeckenvolumen von 10.926 m^3 erforderlich (siehe Anlage 2). Das Volumen des äußeren Ringes des anaeroben Mischbeckens und der druckluftgegasteten Belebungsbecken beträgt zusammen 12.186 m^3 ($2 * 4461 \text{ m}^3 + 3.264 \text{ m}^3$). Der erforderliche TS-Gehalt im Belebungsbecken beträgt bei Betrieb des äußeren Rings als Belebungsbecken $3,1 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 10.926 \text{ m}^3 / 12.186 \text{ m}^3$). Falls analog zu Variante 1b der Wasserstand in der druckluftbegasteten Belebungsbecken um $0,60 \text{ m}$ angehoben wird, verringert sich der erforderliche TS auf $2,8 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 10.926 \text{ m}^3 / 13.162 \text{ m}^3$).

Zu beachten ist, dass durch die verstärkte Simultanfällung mit Metallsalzen die Säurekapazität auf $1,8 \text{ mmol}$ im Ablauf sinkt und eine hohe Sauerstoffausnutzung angestrebt wird. Ggf. ist daher eine Neutralisation vorzusehen.

In **Variante 1d** wird der äußere Ring des Anaeroben Mischbeckens als Tagesausgleich genutzt, um die stoffliche Belastung zu vergleichmäßigen. Nach dem HSG-Ansatz wird zur Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens der Kläranlage ein Schwankungsfaktor angesetzt. Dieser ergibt sich aus dem Verhältnis der zu nitrifizierenden 2-h-Tagesspitzenfracht zur mittleren Zulaufmenge. Im Rahmen der Genehmigung zur Außerbetriebnahme einer Belebungsstraße [10] wurde ein Schwankungsfaktor von $1,9$ ermittelt. Unter Berücksichtigung eines Tagesausgleichs wird der Schwankungsfaktor mit $1,7$ angesetzt. Aus der klärtechnischen Berechnung (siehe Anlage 2) ergibt sich daraus ein Belebungsbeckenvolumen von 9.856 m^3 . Bei einem Aufstau des druckluftgegasteten Belebungsbeckens um $0,60 \text{ m}$ sind 9.895 m^3 vorhanden. Der erforderliche TS-Gehalt im Belebungsbecken beträgt bei $0,60 \text{ m}$ Aufstau des Belebungsbeckens und einem Tagesausgleichsbecken $3,4 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 9.856 / 9.895 \text{ m}^3$).

Variante 2: Vorgeschaltete Denitrifikation

In **Variante 2a** mit der bereits bisher angewendeten vorgeschalteten Denitrifikation können nach Integration einer Vorklärung zwei weitere Straßen der sauerstoffbegasteten Belebungsbecken außer Betrieb genommen werden. Das erforderliche Gesamtvolumen für die Denitrifikation und Nitrifikation nach A 131 von 8.845 m^3 (bzw. zur Einhaltung von $V_{DN}/V_{ges} = 0,2$ insgesamt 8.991 m^3) wird durch die zwei druckluftbegasteten Becken und ein sauerstoffbegastetes Becken gedeckt ($2 * 4.461 + 1.696 = 10.618 \text{ m}^3$). Zur vorge-

geschalteten Denitrifikation wird eine Straße der zurzeit sauerstoffbegasten Belebungsbecken umgerüstet. Das Sauerstoffeintragssystem wird außer Betrieb genommen und stattdessen Rührwerke zur Umwälzung installiert. Die druckluftbegaste Belebung wird vollständig mit Belüftern ausgerüstet, wobei zur Einhaltung des V_D/V_{BB} -Verhältnis von $> 0,2$ und zur Erhöhung der betrieblichen Flexibilität im ersten Beckenabschnitte ($2 * 925 \text{ m}^3$) eine flexible Fahrweise als Deni- oder Nitrifikation vorgesehen wird. Das Nitrifikationsvolumen beträgt demnach zwischen 7.072 und 8.922 m^3 .

Grundsätzlich bietet Variante 2a die Option, das Rückführverhältnis und den dafür notwendigen Energiebedarf durch eine zeitweise intermittierende Fahrweise des druckluftbegasten Belebungsbeckens zu verringern.

Um eine Revision des einstraßigen Denitrifikationsbeckens und eine Beschickung der nachgeschalteten druckluftbegasten Becken zu ermöglichen, kann das danebenliegende zweite sauerstoffbegaste Becken als Reservebecken vorgehalten werden. Der klärtechnisch erforderliche TS-Gehalt im Belebungsbecken beträgt $2,9 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 8.845 \text{ m}^3 / 10.618 \text{ m}^3$).

Mit **Variante 2b** ist es auch mit der vorgeschalteten Denitrifikation möglich durch einen geringfügig höher angenommen Feststoffgehalt in der Belebung nur die druckluftbegasten Belebungsbecken zu betreiben. Analog zu Variante 1b kann das Belebungsbecken um $0,60 \text{ m}$ weiter aufgestaut werden, sodass 9.895 m^3 zur Verfügung stünden. Aus der klärtechnischen Berechnung ergibt sich ein erforderliches Belebungsbeckenvolumen von 8.991 m^3 bei einem Mindestverhältnis von $V_{DN}/V_{ges} = 0,2$. Die jeweils erste Beckenkammer mit insgesamt 2.056 m^3 ($2 * 1.028 \text{ m}^3$) wird für die Denitrifikation genutzt. Zur betrieblichen Flexibilität wird eine Fahrweise als Deni- oder Nitrifikation vorgesehen. Die Rezirkulation kann dabei durch energieeffiziente Rezirkulationspumpen mit geringer Förderhöhe durch neue Durchlässe in den Trennwänden zur Verbindung des Ablaufbereichs mit dem Zulaufbereich erfolgen. Klärtechnisch ist ein Feststoffgehalt von $TS_{BB} = 3,1 \text{ g/L}$ ($= 3,43 \text{ g/L} * 8.845 \text{ m}^3 / 9.895 \text{ m}^3$) ausreichend.

Wie in Variante 1b ist der Nachweis der Leistungsfähigkeit der Nachklärung erforderlich. Eine Erhöhung des Wasserspiegels in der Nachklärung und eine Einlaufoptimierung werden vorausgesetzt.

Leistungsreserven ergeben sich aus der im Anaerobbecken zwangsläufig stattfindenden Denitrifikation des Rücklaufschlammes, wodurch sich die im Belebungsbecken zu denitrifizierende Nitratfracht und das erforderliche Denitrifikationsvolumen verringert. Zudem können zwei Straßen der sauerstoffbegasten Belebung als Reservebecken vorgesehen werden.

Analog zu Variante 1c und 1d mit intermittierender Denitrifikation ist einerseits die Nutzung des äußeren Ringes des anaeroben Mischbeckens als vorgeschaltete Denitrifikation denkbar. Diese Möglichkeit wird jedoch nicht näher betrachtet, da das Rückführverhältnis durch die Leistungsfähigkeit der Rücklaufschlammleitung und des Zwischenhebewerks mit $\max. 3 * Q_t$ begrenzt und eine Steigerung der Rezirkulation ohne aufwändige bau- und maschinentechnische Erweiterungen nicht möglich ist.

Andererseits kann der äußere Ring des anaeroben Mischbeckens in **Variante 2c** als Ausgleichsbecken genutzt werden. Die klärtechnische Berechnung nach dem HSG-Ansatz entspricht der der intermittierenden Denitrifikation der Variante 1d, sodass sich keine Unterschiede bezüglich des erforderlichen Volumens ergeben. Betrieblich unterscheiden sich diese Varianten hinsichtlich des Energiebedarfs für die Rezirkulation.

Fazit

Aufgrund der uneingeschränkten Nutzung des äußeren Ringes des anaeroben Mischbeckens zur biologischen Phosphorelimination werden nachfolgend die Umbaumaßnahmen und der Energiebedarf für die Varianten 1a und 1b sowie 2a und 2b vertieft.

3.5.3 Reduzierung des Energiebedarfs durch Integration einer Vorklärung und Umstellung der Belebung

Die energetische Betrachtung berücksichtigt das hier ausgearbeitete Konzept zur Integration einer Vorklärung und den in der Studie zum Konzept „Vorklärung“ [12] zusammengestellten Annahmen für die Schlammbehandlung und die Verfahrensumstellung der Belebung. Es wird nachfolgend die Differenz zum Energiebedarf gegenüber dem derzeitigen Anlagenbetrieb aufgezeigt.

Die Energetische Feinanalyse [15] zeigte, dass die derzeitige biologische Reinigung einen sehr hohen Energiebedarf aufweist. Nach Tabelle 3-11 werden derzeit 1.027.153 kWh/a in den luftbegasten Becken für die Belüftung sowie für die Umwälzung und 744.598 kWh/a für den Reinsauerstoffeintrag in die Sauerstoff begaste Belebung und Umwälzung der Deni-Zonen eingesetzt. Für die Rezirkulation werden 231.514 kWh/a benötigt. Der Jahresverbrauch für die Belüftung, Umwälzung und Rezirkulation beträgt zurzeit ca. 2.000.000 kWh/a. Zusätzlich sind Kosten für die Reinsauerstoffversorgung zu berücksichtigen. Die Beschaffungskosten des Reinsauerstoffes entsprechen einem „O₂-Äquivalent“ von 1.000.000 kWh/a [15].

Tabelle 3-11: Stromverbrauch der biologischen Reinigung (Auszug aus [15], modifiziert)

Kläranlage Duisburg-Hochfeld			Stromverbrauch			Bemerkung
Nr.	Bezeichnung Verbraucher	Einbauort	Nennleistung [kW]	Laufzeit [h/a]	Jahresverbrauch berechnet [kWh/a]	
3.3 Sauerstoffbegasung (HLB)						
3.3	Tauchmotorrührwerk 1.1	Sauerstoffbegasung	2,2	8.760	13.490	
3.3	Tauchmotorrührwerk 1.2		2,2	8.760	13.490	
3.3	Tauchmotorrührwerk 1.3		4	8.760	24.528	
3.3	Tauchmotorrührwerk 2.1		2,2	8.760	13.490	
3.3	Tauchmotorrührwerk 2.2		4	8.760	24.528	
3.3	Tauchmotorrührwerk 2.3		2,2	8.760	13.490	
3.3	Tauchmotorrührwerk 3.1		2,2	8.760	13.490	
3.3	Tauchmotorrührwerk 3.2		3	8.760	18.396	
3.3	Tauchmotorrührwerk 3.3		3	8.760	18.396	
3.3	Tauchmotorrührwerk 4.1		3	0	0	
3.3	Tauchmotorrührwerk 4.2		3	0	0	
3.3	Tauchmotorrührwerk 4.3		2,2	0	0	
3.3 Sauerstoffbegasung						
3.3	Belüfter 1.1	Sauerstoffbegasung	15	8.760	98550	
3.3	Belüfter 1.2		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 1.3		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 2.1		15	8.760	98550	
3.3	Belüfter 2.2		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 2.3		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 3.1		15	8.760	98550	
3.3	Belüfter 3.2		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 3.3		7,5	8.760	49275	
3.3	Belüfter 4.1		15	0	0	
3.3	Belüfter 4.2		7,5	0	0	
3.3	Belüfter 4.3		7,5	0	0	
					744.598	
O ₂ -Äquivalent					1.000.000	Umrechnung Betriebskosten O ₂
3.4 Druckbelüftung						
3.4	Tauchmotorrührwerk 1.1	Umwälzung	4,2	8.760	25.754	
3.4	Tauchmotorrührwerk 2.1		4,2	8.760	25.754	
3.4	Drehkolbengebläse 1	Gebälsestation	90	8.760	591.300	läuft auf Grundlast (72,5 kW)
3.4	Drehkolbengebläse 2		90	-	-	läuft mit 2 Drehzahlen (22 - 72,5 kW)
3.4	Drehkolbengebläse 3		90	8.760	384.345	FU geregelt, läuft bei ca. 75%
3.4	Drehkolbengebläse 4		90	-	-	FU geregelt, läuft bei ca. 75%
					1.027.153	
3.5 Rezirkulation						
3.5	Rezirkulation 1	Rezirkulation	30	8.760	128.115	
3.5	Rezirkulation 2		30	6.570	96.086	
3.5	Rezirkulation 3		30	500	7.313	
3.5	Rezirkulation 4		30	0	0	
					231.514	

In Tabelle 3-12 ist der Energiebedarf des Ist-Zustands und der Varianten zusammengestellt. Durch die Umstellung des Belebungsverfahrens sinkt der Sauerstoffbedarf und der Bezug von Reinsauerstoff kann entfallen. Zur Ermittlung des Energiebedarfs für den Sauerstoffeintrag wird für Variante 1a von einem spezifischen Sauerstoffeintragswert in Reinwasser von 2 kgO₂/kWh ausgegangen. In den Variante 1b, 1c, 2a und 2b wird aufgrund der ausschließlichen Druckluftbelüftung des tiefen Belebungsbeckens ein spezifischer Sauerstoffeintragswert von 2,2 kgO₂/kWh angenommen. Der Energiebedarf zur optionalen Sauerstoffbegasung in Variante 1c wurde aufgrund des nur kurzfristig angenommenen Einsatzes nicht gesondert berücksichtigt. Der Energiebedarf für die Belüftung im Ist-Zustand wurde aus der Verbraucherliste (Tabelle 3-11) ermittelt. Gegenüber dem Ist-Zustand wird durch eine Erneuerung des Belüftungssystems mit einer Steigerung des spezifischen Sauerstoffertragswerts gerechnet.

In Variante 1a und 1b kann mit der intermittierenden Denitrifikation die Energie zum Umwälzen und zur Rezirkulation vollständig eingespart werden. Es ergibt sich eine Reduzierung des Energiebedarfs gegenüber dem Ist-Zustand in Variante 1a um 1.735 MWh/a bzw. in den Varianten 1b mit günstigerem Sauerstoffeintragswert um 1.850 MWh/a.

In Variante 2a kann durch die Außerbetriebnahme von zwei weiteren Straßen der sauerstoffbegasten Biologie die Umwälz- und Eintragsenergie für die vorhandenen Tauchmotorrührwerke und Belüfter zum Reinsauerstoffeintrag eingespart werden. Für die als vorgeschaltete Denitrifikation betriebene Straße werden ca. 29.700 kWh/a für die Umwälzung benötigt. Die Leistungsdichte der neu einzubauenden Rührwerke wurde mit 2 W/m³ angesetzt. Gegenüber dem Ist-Zustand wird der Energiebedarf um 1.621 MWh/a verringert.

In Variante 2b wurde ein neues Rezirkulationspumpwerk vorgesehen. Der Energiebedarf wurde mit folgenden Annahmen abgeschätzt:

$$Q_{zu,mittel} = 171 \text{ L/s}$$

$$\text{Rezirkulation} = 2 Q_{RZ}/Q_{zu}$$

$$h_{ges} = 0,75 \text{ m}$$

$$\eta_{ges} = 0,63$$

$$W_{el} = (171 \cdot 2 \cdot 0,75) / (102 \cdot 0,63) \cdot 24 \cdot 365 = 34.989 \text{ kWh/a}$$

Die Umwälzung des Deni-Volumens erfolgt mit energieeffizienten Rührwerken (Leistungsdichte 2 W/m³). Die Senkung des Energiebedarfs um 1.812 MWh/a gegenüber dem Ist-Zustand ist vergleichbar mit der Varianten 1b.

Tabelle 3-12: Energiebedarf für die Belebungsbecken im Ist-Zustand und für die Varianten

Energiebedarf Belebungsbecken	IST-Zustand Vorgeschaltete Denitrifikation	Variante 1a		Variante 1b		Variante 2a		Variante 2b	
		Intermittierende Denitrifikation		Vorgeschaltete Denitrifikation					
	ohne Vorklärung	mit Vorklärung		mit Vorklärung		mit Vorklärung		mit Vorklärung	
Sauerstofftrag [kgO ₂ /kWh]		2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Sauerstoffbedarf bei T=12°C [kgO ₂ /d]	10.880	9.264	9.264	9.264	9.006	9.006	9.006	9.006	9.006
mittlerer Sauerstoffbedarf *) [kgO ₂ /d]	8.160	6.948	6.948	6.948	6.755	6.755	6.755	6.755	6.755
Energiebedarf Belüftung [kWh/a]	1.566.945	1.268.010	1.152.736	1.152.736	1.120.633	1.120.633	1.120.633	1.120.633	1.120.633
O ₂ -Äquivalent [kWh/a]	1.000.000	-	-	-	-	-	-	-	-
Rührwerke [kWh/a]	204.809	-	-	-	29.714	36.013	29.714	36.013	36.013
Rezirkulation [kWh/a]	231.514	-	-	-	231.514	34.989	231.514	34.989	34.989
Summe Energiebedarf [kWh/a]	3.003.268	1.268.010	1.152.736	1.152.736	1.381.861	1.191.635	1.381.861	1.191.635	1.191.635
Reduzierung gegenüber Ist-Zustand [kWh/a]	-	1.735.258	1.850.532	1.850.532	1.621.407	1.811.633	1.621.407	1.811.633	1.811.633

*) Annahme: 75 % des Sauerstoffbedarfs aus der klärtechnischen Berechnung (abgemindert im Verhältnis Mittelwert/T85)

Schlammbehandlung und Faulgasnutzung

Weitere energetische Vorteile ergeben sich aus dem reduzierten Schlammanfall, der bereits in Kapitel 3.5.2 ausgewiesen wurde. Ferner ist durch die Integration einer Vorklärung ein höherer Gasertrag in der Faulung zu erwarten.

Die Berechnungsansätze aus [12] für die Schlammbehandlung der Kläranlage Duisburg-Hochfeld wurden sowohl aus den Betriebswerten des Jahres 2008 wie auch aus den Literatur- und Erfahrungsdaten zusammengestellt. Gegenüber der Studie zur Integration einer Vorklärung [12] ergaben sich aufgrund der angenommenen Belastungswerte in dieser Studie geringfügig abweichende Schlammengen.

Der TS-Gehalt des Überschussschlammes lag im Mittel bei 2,75% nach statischer Eindickung. Nach Einbindung der Vorklärung wird die Aufenthaltszeit im Eindicker steigen und damit wird für den TS-Gehalt des Überschussschlammes ein Wert von 3,0% erwartet.

Der Primärschlamm wird in der Vorklärung bei einer Aufenthaltszeit von 0,75 h etwa auf einen TS-Gehalt zwischen 3 und 4% eingedickt. Für die Berechnung werden 3,5 % gewählt.

Der Abbaugrad des organischen Feststoffanteils ist nach Literaturangaben für den Primärschlamm mit 70 % oTR und den Überschussschlamm mit 65 % oTR zu berechnen. Bei Anlagen ohne Vorklärung sind 67 % oTR anzusetzen.

Die Faulraumtemperatur wurde für FB I zu 35,5 °C und für FB II zu 37,0 °C gemessen. Für das gesamte Faulraumvolumen werden 36 °C angesetzt.

Der oTR-Abbaugrad ist u.a. von der Aufenthaltszeit und der Faultemperatur im Faulbehälter sowie dem Schlammalter des zugeführten Überschussschlammes abhängig. Bei einer Aufenthaltszeit von ca. 15 bis 20 Tagen, einer Temperatur von 36°C und einem Schlammalter von 15 d betragen die Abbauraten mit Vorklärung 41 bis 44 % - gewählt 43% - bezogen auf den Rohschlamm und ohne Vorklärung werden Abbauraten zwischen 32 bis 36 % angegeben - gewählt 35 % -.

Tabelle 3-13: Vergleich der Klärschlammdaten IST-Zustand und Integration Vorklärung

Schlammdaten		IST-Zustand	Variante 1	Variante 2	Bemerkungen
		Vorgeschaltete Denitrifikation	Intermittierende Denitrifikation	Vorgeschaltete Denitrifikation	
		ohne Vorklärung	mit Vorklärung	mit Vorklärung	
PS Primärschlamm (T85)	[kg TS/d]		2344	2344	75% (abgemindert im Verhältnis Mittelwert/T85)
PS Primärschlamm (Mittelwert)	[kg TS/d]	0	1.758	1.758	
oTR-Gehalt	[%]		70%	70%	
oTR-Menge PS	[kg oTS/d]	0	1.231	1.231	
TS-Gehalt	[%]		3,5%	3,5%	
PS Primärschlammmenge	[m³/d]	0	50,2	50,2	
ÜS-Schlamm (T85)	[kg TS/d]	5338	3370	3471	75% (abgemindert im Verhältnis Mittelwert/T85)
ÜS-Schlamm (Mittelwert)	[kg TS/d]	4.004	2.528	2.603	
oTR-Gehalt	[%]	67%	65%	65%	
oTR-Menge ÜSS	[kg oTS/d]	2.682	1.643	1.692	
TS-Gehalt	[%]	2,8%	3,0%	3,0%	
ÜSS Überschussschlamm	[m³/d]	145,6	84,3	86,8	
Fällschlamm (T85)	[kg TS/d]	122	160	160	75% (abgemindert im Verhältnis Mittelwert/T85)
Fällschlamm (Mittelwert)	[kg TS/d]	92	120	120	
oTR-Gehalt	[%]	0%	0%	0%	
oTR-Menge FS	[kg oTS/d]	0	0	0	
TS-Gehalt	[%]	2,8%	3,0%	3,0%	
Fällschlammmenge	[m³/d]	4,4	5,3	5,3	
Rohschlamm	[kg TS/d]	4.095	4.406	4.481	
oTR-Gehalt	[%]	65,5%	65,2%	65,2%	
oTR-Menge roh	[kg oTS/d]	2.682,3	2.873,5	2.922,7	
TS-Gehalt	[%]	2,7%	3,2%	3,1%	
Rohschlammmenge	[m³/d]	150	140	142	
Faulbehälter					
Volumen	[m³]	3.000	3.000	3.000	
FB-Temperatur	[°C]	36	36	36	
Aufenthaltszeit FB	[d]	20,0	21,5	21,1	
Raumbelastung	[kg oTR/m³]	0,9	1,0	1,0	
oTR-Abbaugrad	[%]	35%	43%	43%	
abgebaute oTR-Menge	[kg oTS/d]	939	1.236	1.257	
Faulschlammaustrag	[kg TS/d]	3.156	3.170	3.224	
Faulschlammmenge ohne MÜSE	[m³/d]	150	140	142	
TS-Gehalt	[%]	2,1%	2,3%	2,3%	
oTR-Menge	[kg oTS/d]	1.744	1.638	1.666	
oTR-Gehalt	[%]	55,2%	51,7%	51,7%	

In Tabelle 3-14 ist der energetische Vergleich der Klärschlammbehandlung im Ist-Zustand und den Varianten dargestellt. Die theoretische Faulgasausbeute beträgt für Anlagen mit Vorklärung etwa 900 L/kg oTR abgebaut und für Anlagen ohne Vorklärung etwa 840 L/kg oTR. Der Energieinhalt des Faulgases wird mit dem Standardwert 6,4 kWh/m³ verrechnet.

Derzeitig wird bei der Schlammwässerung ein Entwässerungsgrad von im Mittel 25,5% erreicht. Durch die stärkere Mineralisation bei Anlagen mit Vorklärung ist ein höherer Entwässerungsgrad zu erwarten, der mit 1,5 Prozentpunkte höher bewertet wird.

Das anfallende Faulgas wird zur Prozesswärmeerzeugung, das heißt zur Erwärmung der Rohschlammes für die Faulung, zum Ausgleich der Abstrahlverluste des Faulbehälters und für die Gebäudeheizungen eingesetzt. Der Eigenversorgungsanteil der Kläranlage ist unterdurchschnittlich. Aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen des Wärmebedarf und –angebot kann der Wärmebedarf zurzeit nicht über das Faulgas gedeckt werden, sodass derzeit zusätzlich 134.208 m³/a = 1.256.187 kWh Erdgas [15] benötigt werden. Die Wärme wird in zwei Brennern mit einer Leistung von 300 bis 1.575 kW erzeugt.

Im Jahr 2012 wurde gemäß Energiefeinanalyse [15] eine Wärmemenge von 663.921 kWh/a aus Faulgas erzeugt. Aus der klärtechnischen Berechnung für den Ist-Zustand ergibt sich eine erzeugbare Wärmemenge von 1.657.972 kWh/a. Als wesentlicher Grund für diese große Diskrepanz ist der zurzeit im realen Betrieb gefahrene klärtechnisch nicht erforderlich hohe TS-Gehalt von über 6 g/L in der Belüftung, sodass der Schlamm bereits vor der Faulung aerob stabilisiert und der tatsächliche Gasertrag in der Faulung entsprechend gering ist.

Durch die im Vergleich zum Ist-Zustand höhere Faulgasausbeute und den dadurch um ca. 680.000 bis 720.000 kWh/a gesteigerten Wärmedargebot bei den zwei Varianten mit Vorklärung und dem geringeren Wärmebedarf für die Schlammaufheizung von ca. 75.000 kWh/a kann der derzeitige Verbrauch von rd. 1.250.000 kWh Erdgas entsprechend reduziert werden. Es wäre noch ein Fehlbetrag in Höhe von ca. 475.000 kWh/a vorhanden. Durch eine Reduzierung des Schlammalters im realen Betrieb auf das klärtechnisch Erforderliche, kann der Fehlbetrag weiter minimiert werden.

Durch die Integration einer maschinellen Überschussschlammverdickung wird die Menge des aufzuheizenden Überschussschlammes durch eine Steigerung der Verdickung auf 5 – 7 % TR reduziert. Bei 2.550 kg TS /d und einer Verdickung auf durchschnittlich 6 % TR müssen statt rund 85 m³/d nur 43 m³/d aufgeheizt werden. Der Wärmebedarf verringert sich durch eine MÜSE um ca. 360.000 kWh/a.

Eine MÜSE entlastet zudem die nachfolgende Schlammwässerung. Der für die MÜSE erforderliche Energieeinsatz von ca. 15.000 kWh/a wird durch die Reduzierung von ca. 38.000 kWh/a bei der Schlammwässerung kompensiert, sodass insgesamt weniger elektrische Energie benötigt wird.

Tabelle 3-14: Energetische Vergleichsdaten IST-Zustand und Integration Vorklärung

Schlammdaten	IST-Zustand	Variante 1	Variante 2
	Vorgeschaltete Denitrifikation	Intermittierende Denitrifikation	Vorgeschaltete Denitrifikation
	ohne Vorklärung	mit Vorklärung	mit Vorklärung
Faulgasanfall			
spezifische Faulgasproduktion [l / kg oTS abgebaut]	840	900	900
Faulgasmenge [m³/d]	789	1.112	1.131
spez. Energieinhalt [kWh/m³]	6,4	6,4	6,4
Wirkungsgrad Gasnutzung [%]	90%	90%	90%
Energie aus Faulgas [kWh/d]	4.542	6.405	6.515
	1.657.972	2.337.942	2.378.003
Aufheizung Faulschlamm ohne MÜSE			
Rohschlammtemperatur [°C]	16	16	16
Wärmebedarf [kWh/d]	3.480	3.244	3.302
	1.270.354	1.183.927	1.205.309
Aufheizung Faulschlamm			
	ohne MÜSE	mit MÜSE	mit MÜSE
ÜSS nach Eindickung [%]	2,8%	6,0%	6,0%
[m³/d]	145,6	42,1	43,4
Rohschlammmenge [m³/d]	150	98	99
Wärmebedarf [kWh/d]	3.480	2.266	2.296
	1.270.354	827.213	837.904
Klärschammentsorgung			
Faulschlammmenge [m³/d]	150	98	99
Entwässerungsgrad [%]	25,5%	27,0%	27,0%
Zentrat [m³/d]	137,6	85,9	87,0
Entsorgungsmenge [m³/d]	12,4	11,7	11,9
	4.518	4.285	4.359
FHM- /Energiebedarf MÜSE und Entwässerung			
ÜS-Schlamm (Mittelwert) [kg TS/d]	4004	2528	2603
spez. FHM-Verbrauch MÜSE kg WS/MgTS	-	4	4
FHM-Bedarf für MÜSE kg WS/a		3.690	3.801
ÜSS Überschussschlamm [m³/d]	146	84	87
spez. Energiebedarf MÜSE kWh/m³	-	0,5	0,5
Energiebedarf MÜSE kWh/d		42	43
		15.376	15.836
Reduzierung Faulschlamm [m³/d]	-	52	51
spez. Energiebedarf Entwässerung kWh/m³		2,0	2,0
Einsparung Entwässerung kWh/d		105	102
		38.202	37.280

Unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen wurde in Tabelle 3-15 eine Abschätzung der Wärmebilanz erstellt. Der Wärmebedarf zur Rohschlammaufheizung wurde für den Betrieb einer maschinellen Überschussschlammeindickung ermittelt. Die Daten zum Wärmebedarf der Gebäudeheizung, Warmwasser und der „Transmission“ wurden aus der Energiefeinanalyse [15] übernommen. Die jahres-

zeitliche Verteilung des Wärmebedarfs wurde abgeschätzt. Insbesondere die Transmissionsverluste sind mit größeren Unsicherheiten behaftet, da diesen kein Verbraucher zugeordnet ist. Eine detaillierte jahreszeitliche Aufschlüsselung der Transmissionsverluste wäre für eine Detailbetrachtung erforderlich.

Aus der Bilanz geht hervor, dass insbesondere in der wärmeren Jahreszeit ausreichend Klärgas zum Betrieb eines BHKW zur Verfügung steht und der Wärmebedarf durch das BHKW gedeckt werden kann.

Bei niedrigen Temperaturen kann zusätzlich die abzugebende Wärme der Ozonerzeuger genutzt werden, um den Rohnschlamm aufzuheizen. Bei der Maximalleistung beider Ozonerzeuger beträgt der Kühlbedarf insgesamt 85 kW. Die Kühlwassertemperatur beträgt ca. 25°C. Unter der Annahme einer mittleren nutzbaren Wärmemenge von 25 kW stünden 219.000 kWh/a Wärme zur Verfügung. Nur im Winter bei niedrigen Temperaturen ist die vorhandene Abwärme des BHKW und der Ozonanlage nicht ausreichend, um den Wärmebedarf zu decken, sodass eine Unterstützung durch die Heizkesselanlage erforderlich wird. Entweder wird ein Teil der Faulgasmenge im Heizkessel verwertet oder zusätzlich Erdgas für die Heizkesselanlage verwendet. Ohne zusätzlichen Bezug von Erdgas können theoretisch im Jahresmittel 80 % der Faulgasmenge im BHKW verwertet werden.

Für die nachfolgende Kostenbetrachtung wird davon ausgegangen, dass für die kurzzeitige Spitzenabdeckung und ggf. aus betrieblichen Gründen 4 % des jährlichen Wärmebedarfs (53.603 kWh/a) über Erdgas gedeckt wird. Der Erdgasbezug reduziert sich dadurch gegenüber dem Verbrauch aus dem Jahr 2012 um 1.202.584 kWh/a.

Tabelle 3-15: Wärmebilanz unter Berücksichtigung einer MÜSE und eines BHKW

			Frühjahr	Sommer	Herbst	Winter	Anmerkung	
Wärmebedarf	Tage	d	90	90	90	90		
	Rohnschlammmenge	m ³ /d	100	100	100	100		
	Rohnschlammtemperatur	C°	14	18	14	10		
	ΔT	k	22	18	22	26	Faulraumtemperatur 36°C	
	Rohnschlammaufheizung	kWh/d	2.493	2.040	2.493	2.946	c _s = 1,16 kWh/(m ³ *K)	
	Gebäudeheizung [15]	kWh	32.600	0	32.600	65.200	50% Winter/25% je Frühjahr/Herbst	
	Warmwasser [15]	kWh	1.778	1.778	1.778	1.778	gleichmäßig verteilt	
	Transmission [15]	kWh	76.274	0	76.274	152.547	50% Winter/25% je Frühjahr/Herbst	
	Teilsomme Gebäude/Transmission	kWh/d	1.229	20	1.229	2.439		
	Summe Wärmebedarf	kWh/d	3.722	2.059	3.722	5.385		
	kWh/a	1.340.076						
Energieangebot	Faulgas	kWh/d	7.200	7.200	7.200	7.200		
	Wärme BHKW	kWh/d	3.600	3.600	3.600	2.118	Wirkungsgrad 50 %	
	Strom BHKW	kWh/d	2.520	2.520	2.520	1.482	Wirkungsgrad 35 %	
	Wärme Heizkessel	kWh/d				2.668	Wirkungsgrad 90 %	
	Abwärme Ozongenerator	kWh/d	600	600	600	600		
	Wärme BHKW	kWh/a	838.600					Faulgasnutzung ca. 80 %
	Strom BHKW	kWh/a	587.020					
Wärme Heizkessel	kWh/a	240.120					Faulgasnutzung ca. 20 %	
Wärmebilanz Differenz		kWh/d	478	2.141	478	0		

3.6 Umbaumaßnahmen und Kosten der Abwasser- und Klärschlammbehandlung

Aus dem Nachweis der klärtechnischen Leistungsfähigkeit ergeben sich verschiedene Möglichkeiten zur Verfahrensumstellung und energetischen Optimierung der Belebung. Ziel ist es im Rahmen dieser Studie die Varianten aufzuzeigen, die die Integration einer Stufe zur Spurenstoffelimination durch Umnutzung von vorhandenem Belebungsbeckenvolumen ermöglichen.

Nachfolgende werden die erforderlichen Umbaumaßnahmen der Belebung erläutert und eine gemeinsame Kostenabschätzung für die Integration der Vorklärung, MÜSE, BHKW und den Umbaumaßnahmen an der Belebungsstufe für die Varianten vorgenommen. Die jeweilige Zusammenstellung der Investitionskosten der Varianten ist getrennt für den Bereich „Vorklärung, MÜSE, BHKW“, der für alle Umbauvarianten der Belebung identisch ist, und für einzelnen Umbauvarianten der Belebung in Anlage 3 aufgeführt. Die Kosten für die Optimierung der Nachklärbecken sind der Spurenstoffelimination zugeordnet und werden hier nicht berücksichtigt.

3.6.1 Annahmen der Kostenabschätzung

Die Investitionskosten und laufenden Kosten sind für jede Variante tabellarisch zusammengestellt. Die Jahreskosten werden als Jahreskostenreduzierung gegenüber dem IST-Zustand dargestellt. In der Ausweisung der Reduzierung der Jahreskosten wurden für den IST-Zustand keine Reinvestitionskosten (Ohnehin-Maßnahmen) berücksichtigt. Die Jahreskostenreduzierung ist daher konservativ abgeschätzt worden.

In den Vergleich einbezogen werden nur die Anlagenteile, die unterschiedlich genutzt werden. Der Einfluss auf die Fällung wird wegen Geringfügigkeit nicht betrachtet. Personalkosten und Instandhaltungskosten werden ebenfalls nur berücksichtigt, sofern es sich um zusätzliche Anlagenteile handelt. Evtl. Einsparungen bei der Instandhaltung und Betrieb im Falle des Betriebs von nur noch einer Belebungsbeckengruppe wurden nicht berücksichtigt.

Die Jahreskosten wurden gemäß dynamischer Kostenvergleichsrechnung [20] ermittelt. Es wurden folgende Nutzungszeiträume für die Investitionen angenommen:

- Bautechnik und Nebenkosten 30 Jahre
- Maschinenteknik 15 Jahre
- EMSR-Technik 10 Jahre
- Zinssatz 3 % p. a.

Ferner wurde angenommen, dass die realen Reinvestitionskosten den Erstinvestitionen entsprechen. Die Annuitäten wurden als Produkt aus Investitionskosten und Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR) berechnet.

Die Kosten für den Energiebezug und den Ertrag aus der Energieeigenversorgung wurden wie folgt angenommen:

- Stromkosten 0,15 €/kWh
- Erdgasbezug 0,06 €/kWh
- Ertrag Stromerzeugung BHKW 0,15 €/kWh
- zusätzlicher Zuschlag von 5,41 ct/kWh bis 50 kW und 4,00 ct/kWh ab 50 kW für die Stromerzeugung im BHKW gemäß Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG-Gesetz)

Die Kosten für den Reinsauerstoffbezug im IST-Zustand sind nach [15] über ein „O₂-Äquivalent“ von 1.000.000 kWh/a bei den Stromkosten berücksichtigt worden.

3.6.2 Variante 1a: erforderliche Umbaumaßnahmen zur intermittierenden Denitrifikation

Die intermittierende Denitrifikation erfordert eine flächendeckende Belüftung des gesamten Belebungsvolumens. In der vorhandenen mit Druckluft begasten Belebung sind hierzu auch in den vorhandenen Deni-Zonen Belüfter einzusetzen, die für einen intermittierenden Betrieb geeignet sind.

Im Rahmen dieser Studie wird davon ausgegangen, dass auch die Belüftung in den vorhandenen Nitrifikationszonen alters- und kapazitätsbedingt auszutauschen ist. Grontmij hat gerade mit dem Einsatz von Plattenbelüfter bei einer Umrüstung zu einer intermittierenden Belüftung gute Erfahrungen gemacht. Zur Investitionskostenabschätzung werden Plattenbelüfter und eine neue Luftverteilung für die Luftversorgung angenommen. Durch die erforderliche sequentielle Belüftung und durch die spezifische höhere Luftbeaufschlagung, ist die vorhandene Gebläsestation zu überprüfen.

Nach Anlage 2 beträgt der max. Sauerstoffbedarf in Reinwasser 597 kgO₂/h ($\alpha = 0,7$). Unter Berücksichtigung eines Sauerstoffausnutzungswertes von 20 gO₂/(Nm³*m_{ET}) und einer Einblastiefe von 5,20 m_{ET} (8.922 m³ Beckenvolumen) und 3,30 m_{ET} (3.392 m³ Beckenvolumen) sowie des maximalen Gleichzeitigkeitsfaktors von $V_{ges}/V_N = 10.415/6.986 = 1,49$ wird die erforderliche Luftmenge für die Becken ermittelt. Der Sauerstoffbedarf wird für Variante 1a volumenproportional auf die unterschiedlich tiefen Becken verteilt.

$$1,49 * 597 \text{ kgO}_2/\text{h} * (8.922 \text{ m}^3 / 12.314 \text{ m}^3) / (20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 * \text{m}_{\text{ET}}) * 5,20 \text{ m}_{\text{ET}}) = 6.202 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$1,49 * 597 \text{ kgO}_2/\text{h} * (3.392 \text{ m}^3 / 12.314 \text{ m}^3) / (20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 * \text{m}_{\text{ET}}) * 3,30 \text{ m}_{\text{ET}}) = 3.713 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{erforderliche Luftmenge:} = 9.915 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{gewählt:} = 10.500 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Die betriebliche Luftbeaufschlagung wird mit 30 Nm³/h pro Belüfter gewählt. Die erforderliche Anzahl an Belüftern beträgt somit 10.500 Nm³/h / 30 Nm³/h = 350 Belüfterplatten.

Installiert sind vier Drehkolbengebläse GM50L der Fa. Aerzen mit einer installierten Leistung von je 90 kW und einer Fördermenge von je 3.312 m³/h bei einem Förderdruck von 695 mbar. Die Förderleistung von 4 * 3.312 m³/h = 13.248 Nm³/h ist somit inklusive Reserve auch ausreichend für eine Verfahrensumstellung zur intermittierenden Denitrifikation.

Aufgrund der unterschiedlichen Einblastiefen in den zwei Beckengruppen ist für die Umrüstung der sauerstoffbegasten Becken auf eine Druckluftbegasung eine neue bzw. eine Anpassung der Gebläsestation erforderlich. Die Verrohrung der Belüftung muss überprüft und teilweise erneuert werden.

Die Rührwerke in der vorh. Denizone werden ausgebaut und durch eine Stoßbelüftung in den Denitrifikationsphasen ersetzt. Die Stoßbelüftung erfolgt für ca. 30 sec. mit einem Intervall von 15 min. Als Mindestbelegung muss hierfür mindestens 20 % der Beckensohle mit Belüfter belegt sein. Bei einer Fläche je Belüfterplatte von 2 m² und insgesamt 350 Platten ergibt sich eine Belüfterfläche von 700 m². Die Fläche der Beckensohle beträgt 2.591 m² (8.922/5,5 + 3.392/3,5). Daraus ergibt sich ein zur Umwälzung ausreichender Belegungsanteil von 27 % der Beckensohle.

Die Rezirkulationspumpen werden ebenfalls stillgelegt. In der mit Druckluft begasten Belebung werden die Tauchmotorrührwerke und die vorhandenen Belüfter demontiert.

Hinsichtlich der Beckenbeschickung sind zwei Varianten möglich. Zum einen kann, wie in der Energiestudie [15] dargestellt, die Beschickung der einzelnen Becken parallel und proportional zum Beckenvolumen erfolgen. Hierzu ist der Bau einer Zulaufverteilung und separaten Zulaufleitung zur druckluftbegasteten Belebung erforderlich. Der Ablauf der sauerstoffbegasteten Belebung ist umzubauen, so dass der Ablauf zu den Nachklärbecken geleitet werden kann.

Zum anderen können die zwei Beckengruppen wie bisher ohne bauliche Änderungen nacheinander durchflossen werden. Durch die stärkere Kaskadierung des Beckenvolumens ergibt sich eine ausgeprägtere Pfropfenströmung mit geringerer Rückvermischung.

Aufgrund der bau- und verfahrenstechnischen Vorteile wird für die Kostenbetrachtung die bisherige Hintereinanderschaltung der Beckengruppen beibehalten.

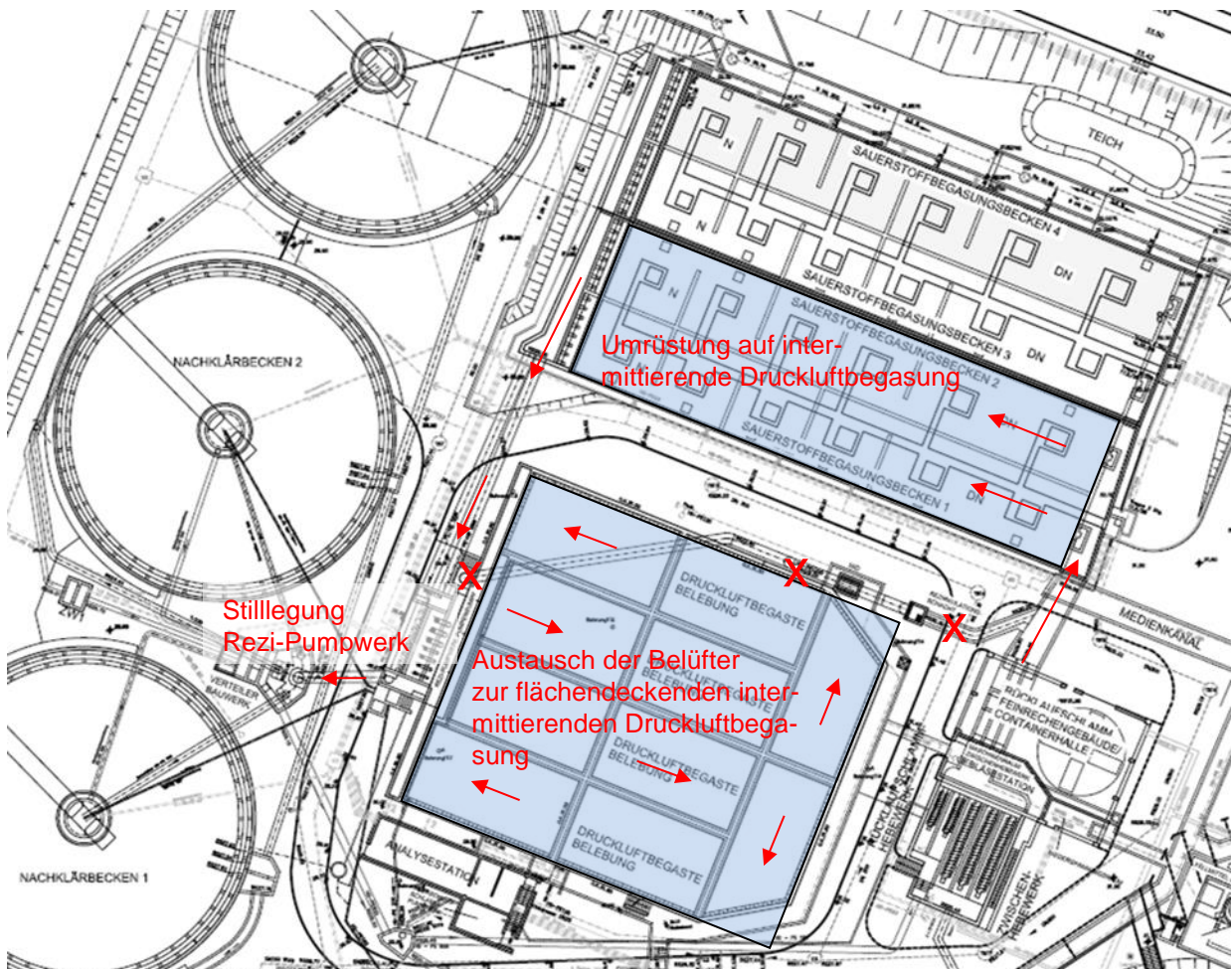


Abbildung 3-3: Lageplan Kläranlage Hochfeld – Umrüstung auf intermittierende Denitrifikation, Variante 1a

Kosten Variante 1a:

In Tabelle 3-16 sind die Investitions- und Kapitalkosten für den Umbau der Belebung und Integration der Vorklärung für die Variante 1a dargestellt. Ferner wird die Differenz der laufenden Kosten bzw. Erträge im Vergleich zum IST-Zustand aufgezeigt. Aus den aufzuwendenden Kapitalkosten und der Reduzierung der laufenden Kosten bzw. den zusätzlichen Erträgen ergibt sich eine Reduzierung der Jahreskosten gegenüber dem IST-Zustand.

Die Kosten für die Integration der Vorklärung wurden unter Berücksichtigung der Preissteigerung aus der Studie zur Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einer Vorklärung [12] übernommen. Für die maschinelle Überschussschlammeindickung werden Kosten für die Maschinenteknik von 125.000 € und für das BHKW mit Gasreinigung von 452.500 € angesetzt.

Für die Erneuerung der Verrohrung und Einbau der Plattenbelüfter in der Druckluftbegasten Belebung liegen die Kosten bei ca. 430.500 €. Für die Umrüstung der Maschinenteknik der zwei sauerstoffbegasten Belebungsbecken auf eine Druckluftbegasung liegen die Kosten bei ca. 451.000 €.

Eine deutliche Reduktion der laufenden Kosten gegenüber dem IST-Zustand ist in Höhe von ca. 260.000 € bei den Energiekosten für den Betrieb der Belebung zu erwarten. Der höhere Faulgasanfall und der Einsatz der maschinellen Überschussschlammeindickung führen zu einer deutlichen Reduzierung der Kosten für den Erdgasbezug. Der Betrieb eines BHKW ermöglicht die teilweise Eigenversorgung mit Strom, wodurch die Stromkosten um ca. 115.000 €/a gesenkt werden können. Berücksichtigt wurde hierbei ein Zuschlag nach KWK, der bis 30.000 Vollbenutzungsstunden gewährt wird.

Für die neuen Anlagen der MÜSE und des BHKW wurden die erforderlichen Betriebshilfsstoffe, die Instandhaltung und das notwendige Personal bei den laufenden Kosten berücksichtigt.

Gegenüber dem IST-Zustand ist bei Umsetzung der Variante 1a eine Jahreskostenreduzierung von ca. 196.000 €/a zu erwarten.

Tabelle 3-16: Kosten der Variante 1a
Intermittierende Denitrifikation mit Druckluftbegasung in beiden Beckengruppen

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zins-satz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Vorklärung, MÜSE, BHKW	1.272.000 €			
Bautechnik und Nebenkosten	394.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	20.102 €
Maschinentechnik	805.000 €	MT 15	3,0% 0,083767	67.432 €
EMSR-Technik	73.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	8.558 €
Belebung Variante 1a	1.598.500 €			
Bautechnik und Nebenkosten	449.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	22.908 €
Maschinentechnik	1.019.500 €	MT 15	3,0% 0,083767	85.400 €
EMSR-Technik	130.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	15.240 €
Summe	2.870.500 €			219.639 €
laufende Kosten / Erträge Differenz gegenüber Ist-Zustand	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
IST-Zustand				
Verringerung Energiebedarf Belebung	3.003.268	1.735.258 kWh/a	0,15 €/kWh	-260.289 €
Verringerung Energiebedarf Schlammwässerung		38.202 kWh/a	0,15 €/kWh	-5.730 €
Verringerung Erdgasbedarf	1.256.187	1.202.584 kWh/a	0,06 €/kWh	-72.155 €
Minderung Klärschlamm Entsorgung	4.518	232 Mg/a	60,00 €/Mg	-13.946 €
Instandhaltung MÜSE (2% p. a. von MT)	-	125.000 €	2,00 % p. a.	2.500 €
Energiebedarf MÜSE	-	15.376 kWh/a	0,15 €/kWh	2.306 €
Flockungshilfsmittel	-	3.690 kg WS/a	4,00 €/kg WS	14.761 €
Betriebswasser	-	3.000 m³/a	0,30 €/m³	900 €
Instandhaltung BHKW	-	587.020 kWh/a	2,50 ct/kWh	14.676 €
Schmieröl BHKW (0,3 kg/MWh_el)	-	176 kg/a	5,00 €/kg	881 €
Stromerzeugung BHKW	-	587.020 kWh/a	0,15 €/kWh	-88.053 €
Zuschlag KWK <30.000 h Vollbenutzung <50 kW		279.533 kWh/a	5,41 ct/kWh	-15.123 €
zwischen 50 bis 250 kW		307.487 kWh/a	4,00 ct/kWh	-12.299 €
Personalkosten BHKW und MÜSE	-	400 h/a	40 €/h	16.000 €
Summe				-415.572 €
Jahreskostenreduzierung				-195.933 €

3.6.3 Variante 1b: intermittierende Denitrifikation in der druckluftbegasten Belebung

Bei dieser Variante werden im normalen Betrieb die sauerstoffbegasten Becken nicht mehr für die biologische Behandlung eingesetzt. Um das Abwasser direkt in die druckluftbegasten Becken zu leiten, wird die in dieser Variante nicht mehr benötigte Rezirkulationsleitung als Zulaufleitung vom Zwischenhebewerk zum Beckenzulauf verwendet. Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Leitung (DN 1200, L = 70 m, $\Delta h = 30,43 - 29,80 = 0,63$ m) beträgt ohne Berücksichtigung von Ein- und Auslaufverlusten maximal 3.913 L/s, sodass Q_m und Q_{RS} in Höhe von 1.500 L/s (750 L/s + 1*750 L/s) dem Becken ohne Leitungsneubau zugeführt werden kann. Baulich muss der Zulauf zur sauerstoffbegasten Belebung abgesperrt werden und der Einlauf vom Zwischenhebewerk in die Rezirkulationsleitung strömungsmechanisch durch eine Abrundung des spitzen Winkels verbessert werden. Am Ende der Leitung muss ein Kurzschluss des Leitungsauslasses zum Beckenzulauf erstellt und die Verbindung zur sauerstoffbegasten Belebung verschlossen werden.

Für die Anhebung des Wasserstandes in den druckluftbegasten Belebungsbecken um 0,60 m werden ablaufseitig die Absenkschieber durch vorgesetzte, höhere Ablaufwehre ersetzt. Die Absenkschieber am Beckenzulauf werden um 0,60 m hochgesetzt und die untere Zulaufkante der Betonwand aufbetoniert.

Analog zu Variante 1a wird für den max. Sauerstoffbedarf in Reinwasser von 597 kgO₂/h ($\alpha = 0,7$) die erforderliche Luftmenge ermittelt. Unter Berücksichtigung eines Sauerstoffausnutzungswertes von 20 gO₂/(Nm³*m_{ET}) und einer Einblastiefe von 5,20 m_{ET} (8.922 m³ Beckenvolumen) sowie des maximalen Gleichzeitigkeitsfaktors von 1,49 wird die erforderliche Luftmenge für die Becken ermittelt.

$$1,49 * 597 \text{ kgO}_2/\text{h} / (20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 * \text{m}_{\text{ET}}) * 5,80 \text{ m}_{\text{ET}}) = 7.668 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{gewählt:} = 8.400 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Die betriebliche Luftbeaufschlagung wird mit 30 Nm³/h pro Belüfter gewählt. Die erforderliche Anzahl an Belüftern beträgt somit 8.400 Nm³/h / 30 Nm³/h = 280 Belüfterplatten.

Installiert sind vier Drehkolbengebläse GM50L der Fa. Aerzen mit einer installierten Leistung von je 90 kW und einer Fördermenge von je 3.312 m³/h bei einem Förderdruck von 695 mbar. Die Förderleistung von 4 * 3.312 m³/h = 13.248 Nm³/h wird durch die Erhöhung der Wassertiefe und dem erforderlichen Förderdruck niedriger liegen, aber aufgrund der Reserven insgesamt auch bei einer Überarbeitung der Belüftung ausreichen.

Aufgrund der günstigeren Sauerstoffaufnahme in dem in Variante 1b ausschließlich genutzten tiefen Belebungsbecken ergeben sich höhere Leistungsreserven der Gebläse gegenüber Variante 1a. Größere Anpassungen der Gebläsestation bzw. ein Neubau infolge unterschiedlicher Einblastiefen sind nicht erforderlich. Die Verrohrung muss jedoch angepasst werden.

Wie zuvor werden die Rezirkulationspumpen und Tauchmotorrührwerke stillgelegt und die vorhandenen Belüfter demontiert.

Die für den Standardbetrieb nicht mehr eingesetzten vorderen zwei Becken der sauerstoffbegasten Belebung (siehe Abbildung 3-4, grün markiert) werden auf Wunsch der Wirtschaftsbetrieb Duisburg für einen Reservebetrieb vorgehalten. Dafür wird im Zulauf der zwei Straßen die Abtrennung mit einem regelbaren Schieber vorgenommen. Für die Regelung der Zulaufaufteilung auf die beiden Beckengruppen kann die vorhandene MID-Messung in der zukünftigen Zulaufleitung der druckluftbegasten Belebung verwendet werden. Die bisherige Maschinentechnik, Rührwerke der Deni-Zone und die nachgeschaltete Reinsauerstoffbegasung, bleiben unverändert erhalten. Reinsauerstoff steht auf der Kläranla-

ge Hochfeld auch zukünftig für den Betrieb der Ozonanlage zur Verfügung. Da die bisherige Rezirkulation für den Reservebetrieb nicht mehr nutzbar ist, wird in jeder Straße ein Rezirkulationspumpwerk vorgesehen. Die Rezirkulationspumpen werden im offenen Ablaufgerinne der Beckengruppe installiert, so dass diese zur Wartung zugänglich sind. Die Rezirkulationsleitungen werden im Inneren der Becken montiert.

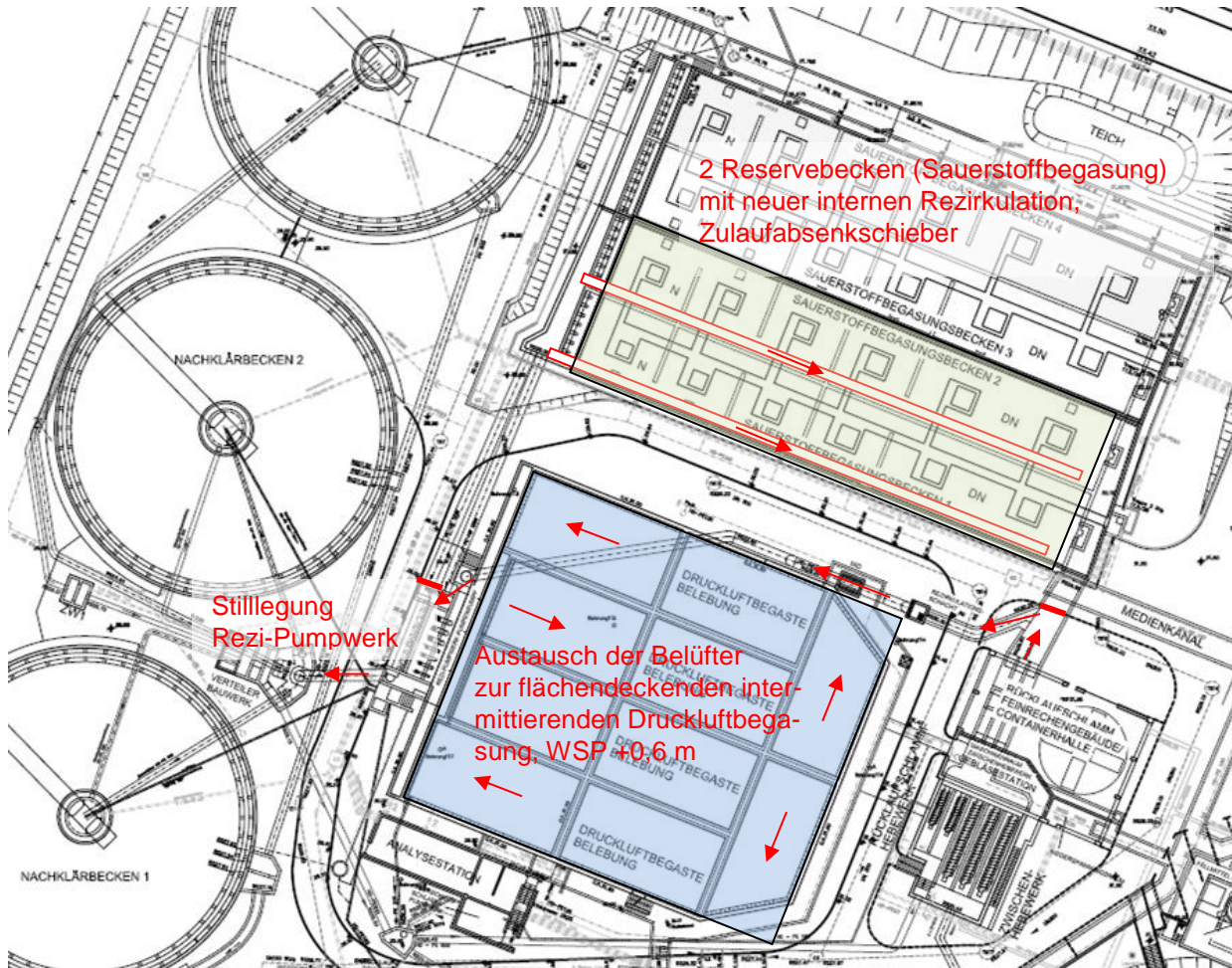


Abbildung 3-4: Lageplan Kläranlage Hochfeld – Umrüstung auf intermittierende Denitrifikation, Variante 1b

Kosten Variante 1b:

Die Investitionskosten für die Vorklärung, maschinellen Überschussschlammwindung und einem BHKW werden mit 1.272.000 € angesetzt. Für die Erhöhung des Wasserstands in der druckluftbegasteten Belebung und Erneuerung der Belüftung wurden die Kosten für die Bau- und Maschinentechnik mit 766.000 € abgeschätzt. Für Einbindung von zwei sauerstoffbegasteten Becken für einen Reservebetrieb werden Investitionskosten in Höhe von 180.000 € angenommen. Hinzu kommen noch Kosten für Anpassungsarbeiten, Baustelleneinrichtung, EMSR-Technik und Honorare.

Bei den laufenden Kosten wurde der Reservebetrieb der sauerstoffbegasteten Belebungsbecken nicht berücksichtigt. Gegenüber Variante 1a ergibt sich ein geringer Energiebedarf für die ausschließliche Belüftung der tiefen druckluftbegasteten Belebungsbecken.

Für Variante 1b ergeben sich Kapitalkosten von 203.000 €/a. Dem gegenüber steht eine Reduzierung bei den laufenden Kosten im Vergleich zum IST-Zustand in Höhe von 433.00 €/a. Insgesamt ergibt sich eine Jahreskostenreduzierung gegenüber dem IST-Zustand in Höhe von 230.000 €/a.

Tabelle 3-17: Kosten der Variante 1b
Intermittierende Denitrifikation in der druckluftbegasten Belebung (+0,60 m)

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Vorklärung, MÜSE, BHKW	1.272.000 €			
Bautechnik und Nebenkosten	394.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	20.102 €
Maschinentechnik	805.000 €	MT 15	3,0% 0,083767	67.432 €
EMSR-Technik	73.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	8.558 €
Belebung Variante 1b	1.464.500 €			
Bautechnik und Nebenkosten	614.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	31.326 €
Maschinentechnik	720.500 €	MT 15	3,0% 0,083767	60.354 €
EMSR-Technik	130.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	15.240 €
Summe	2.736.500 €			203.011 €
laufende Kosten / Erträge Differenz gegenüber Ist-Zustand	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
IST-Zustand				
Verringerung Energiebedarf Belebung	3.003.268	1.850.532 kWh/a	0,15 €/kWh	-277.580 €
Verringerung Energiebedarf Schlammwässerung		38.202 kWh/a	0,15 €/kWh	-5.730 €
Verringerung Erdgasbedarf	1.256.187	1.202.584 kWh/a	0,06 €/kWh	-72.155 €
Minderung Klärschlamm Entsorgung	4.518	232 Mg/a	60,00 €/Mg	-13.946 €
Instandhaltung MÜSE (2% p. a. von MT)	-	125.000 €	2,00 % p. a.	2.500 €
Energiebedarf MÜSE	-	15.376 kWh/a	0,15 €/kWh	2.306 €
Flockungshilfsmittel	-	3.690 kg WS/a	4,00 €/kg WS	14.761 €
Betriebswasser	-	3.000 m³/a	0,30 €/m³	900 €
Instandhaltung BHKW	-	587.020 kWh/a	2,50 ct/kWh	14.676 €
Schmieröl BHKW (0,3 kg/MWh_el)	-	176 kg/a	5,00 €/kg	881 €
Stromerzeugung BHKW	-	587.020 kWh/a	0,15 €/kWh	-88.053 €
Zuschlag KWK <30.000 h Vollbenutzung <50 kW		279.533 kWh/a	5,41 ct/kWh	-15.123 €
zwischen 50 bis 250 kW		307.487 kWh/a	4,00 ct/kWh	-12.299 €
Personalkosten BHKW und MÜSE	-	400 h/a	40 €/h	16.000 €
Summe				-432.863 €
Jahreskostenreduzierung				-229.852 €

3.6.4 Variante 2a: erforderliche Umbaumaßnahmen zur vorgeschaltete Denitrifikation

Bei dieser Variante (siehe Abbildung 3-5) sind nur geringe Umbaumaßnahmen erforderlich. Ein Becken der sauerstoffbegasteten Belebung wird zum Denitrifikationsbecken umgerüstet. Das Reinsauerstoffeintragssystem wird stillgelegt. In den letzten drei Beckenkammern wird zur Umwälzung des Denitrifikationsvolumens jeweils ein Tauchmotorrührwerk installiert. Die Rührwerke der ersten drei Kammern mit einer Leistungsdichte von bis zu 15 W/m^3 werden durch energieeffiziente Rührwerke mit 2 W/m^3 ausgetauscht.

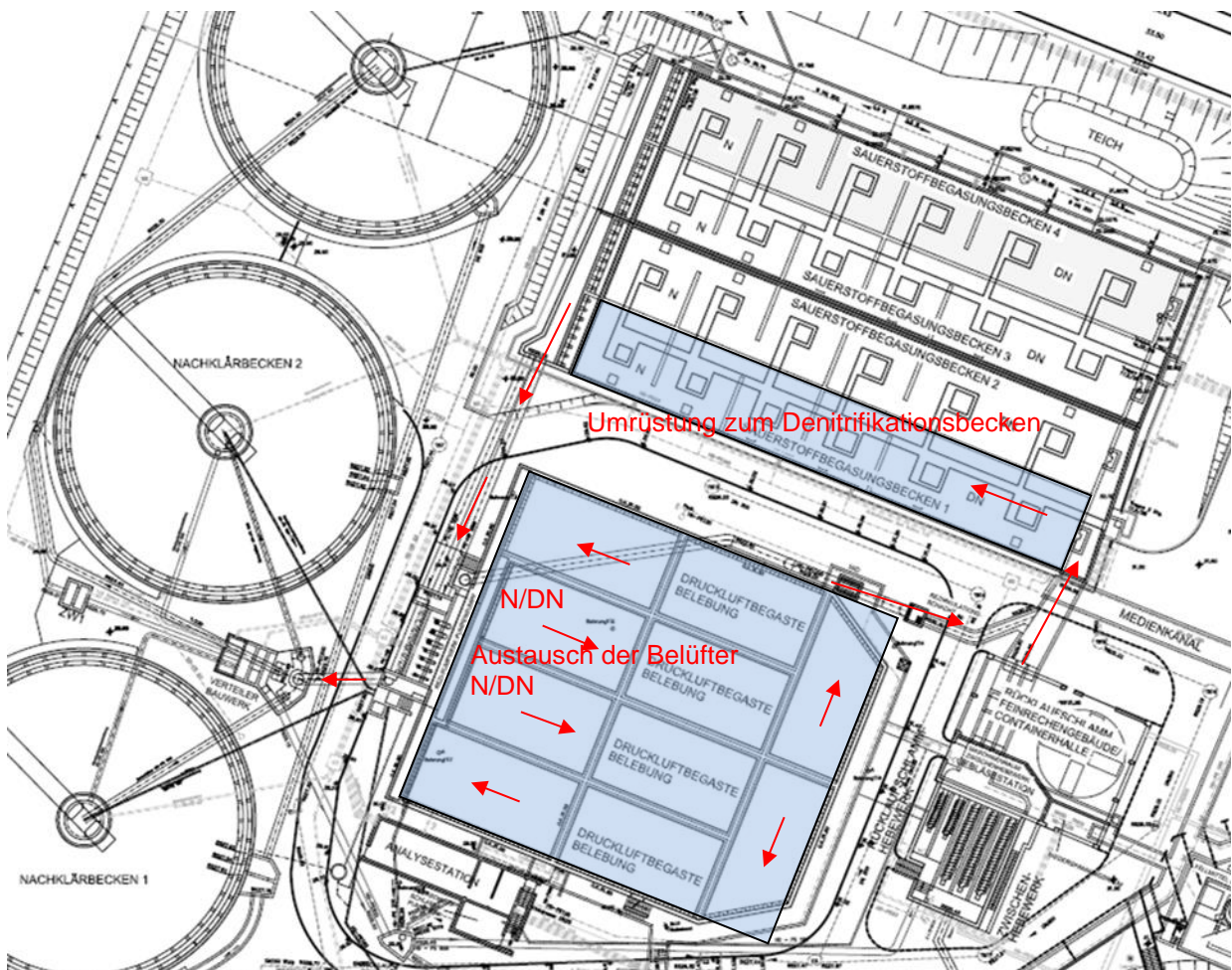


Abbildung 3-5: Lageplanausschnitt Kläranlage Duisburg Hochfeld – Umrüstung auf vorgeschaltete Denitrifikation, Variante 2a

Analog zur Variante 1 wird angenommen, dass die Belüftung in den vorhandenen Nitrifikationszonen altersbedingt und kapazitätsbedingt auszutauschen ist. Die Belüftung im druckluftbegasteten Belebungsbecken wird erneuert und auf der gesamten Beckensohle verteilt. Zur Investitionskostenabschätzung werden Plattenbelüfter für die Luftversorgung angenommen. Die Verrohrung der Belüftung muss überprüft und teilweise erneuert werden.

Nach Anlage 2 beträgt der max. Sauerstoffbedarf 587 kgO₂/h. Unter Berücksichtigung eines Sauerstoffausnutzungswertes von 20 gO₂/(Nm³*m_{ET}) und einer Einblastiefe von 5,20 m_{ET} wird die erforderliche Luftmenge für die Becken ermittelt.

erforderliche Luftmenge: $587 \text{ kgO}_2/\text{h} / (20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 \cdot \text{m}_{\text{ET}}) \cdot 5,20 \text{ m}_{\text{ET}}) = 5.644 \text{ Nm}^3/\text{h}$

gewählt: $= 6.000 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Zwei ($2 \cdot 3.312 \text{ m}^3/\text{h} = 6.624 \text{ m}^3/\text{h}$) der vier installierten Drehkolbengebläse reichen aus die erforderliche Luftmenge bereitzustellen.

Die betriebliche Luftbeaufschlagung wird mit 30 Nm³/h pro Belüfter gewählt. Die erforderliche Anzahl an Belüftern in der Nitrifikationszone beträgt somit $6000 \text{ Nm}^3/\text{h} / 30 \text{ Nm}^3/\text{h} = 200$ Belüfterplatten. Für die Ausrüstung der N/DN-Beckenkammer werden zusätzlich 50 Belüfterplatten veranschlagt, sodass insgesamt 250 Belüfterplatten erforderlich sind.

Kosten Variante 2a

Die Investitions- und Kapitalkosten sowie die Änderung der laufenden Kosten gegenüber dem IST-Zustand sind in Tabelle 3-18 zusammengestellt. Die Investitionskosten für die Vorklärung, maschinellen Überschussschlammindickung und einem BHKW sind wie zuvor mit 1.272.000 € angesetzt. Die Kosten der Bau- und Maschinentechnik für die druckluftbegasten Belebungsbecken wurden mit 705.500 € angenommen. Für den Umbau eines sauerstoffbegasten Becken zum Denitrifikationsbecken werden Kosten von ca. 85.000 € erwartet. Hinzu kommen noch Kosten für sonstige Anpassungsarbeiten und Baustelleneinrichtung

Gegenüber dem IST-Zustand ist mit einer deutlichen Senkung der Energiekosten für die Belebung zu rechnen. Aufgrund der erforderlichen Rezirkulation ist diese etwas geringer als bei Variant 1 mit intermittierender Denitrifikation. Der zur Strom- und Wärmeerzeugung nutzbare Energiegehalt des Faulgases wurde analog zu Variante 1 angenommen.

Die Kapitalkosten wurden mit 189.000 €/a abgeschätzt. Demgegenüber steht eine Reduzierung der laufenden Kosten von 393.000 €/a gegenüber, sodass sich eine Jahreskostenreduzierung im Vergleich zum IST-Zustand in Höhe von 205.000 €/a ergibt.

Tabelle 3-18: Kosten der Variante 2a
Vorgeschaltete Denitrifikation in einem Becken der sauerstoffbegasten Belebung

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zins-satz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Vorklärung, MÜSE, BHKW	1.272.000 €			
Bautechnik und Nebenkosten	394.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	20.102 €
Maschinentechnik	805.000 €	MT 15	3,0% 0,083767	67.432 €
EMSR-Technik	73.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	8.558 €
Belebung Variante 2a	1.203.500 €			
Bautechnik und Nebenkosten	389.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	19.846 €
Maschinentechnik	684.500 €	MT 15	3,0% 0,083767	57.338 €
EMSR-Technik	130.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	15.240 €
Summe	2.475.500 €			188.516 €
laufende Kosten / Erträge Differenz gegenüber Ist-Zustand	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
	IST-Zustand			
Verringerung Energiebedarf Belebung	3.003.268	1.621.407 kWh/a	0,15 €/kWh	-243.211 €
Verringerung Energiebedarf Schlammwässerung		37.280 kWh/a	0,15 €/kWh	-5.592 €
Verringerung Erdgasbedarf	1.256.187	1.202.584 kWh/a	0,06 €/kWh	-72.155 €
Minderung Klärschlamm entsorgung	4.518	159 Mg/a	60,00 €/Mg	-9.519 €
Instandhaltung MÜSE (2% p. a. von MT)	-	125.000 €	2,00 % p. a.	2.500 €
Energiebedarf MÜSE	-	15.836 kWh/a	0,15 €/kWh	2.375 €
Flockungshilfsmittel	-	3.801 kg WS/a	4,00 €/kg WS	15.203 €
Betriebswasser	-	3.000 m³/a	0,30 €/m³	900 €
Instandhaltung BHKW	-	587.020 kWh/a	2,50 ct/kWh	14.676 €
Schmieröl BHKW (0,3 kg/MWh_el)	-	176 kg/a	5,00 €/kg	881 €
Stromerzeugung BHKW	-	587.020 kWh/a	0,15 €/kWh	-88.053 €
Zuschlag KWK <30.000 h Vollbenutzung <50 kW zwischen 50 bis 250 KW	-	279.533 kWh/a 307.487 kWh/a	5,41 ct/kWh 4,00 ct/kWh	-15.123 € -12.299 €
Personalkosten BHKW und MÜSE	-	400 h/a	40 €/h	16.000 €
Summe				-393.418 €
Jahreskostenreduzierung				-204.901 €

Der erste Beckenabschnitt jeder Straße wird zum Denitrifikationsbecken umgerüstet. Zur Umwälzung des Denitrifikationsvolumens wird je Kammer ein Tauchmotorrührwerk mit einer Leistungsdichte von 2 W/m^3 installiert. Zur betrieblichen Flexibilität wird die erste Beckenkammer zusätzlich mit intermittierend betreibbaren Plattenbelüftern ausgerüstet.

Das vorhandene Rezirkulationspumpwerk wird stillgelegt. Zur Zuleitung des nitrathaltigen Wassers aus dem Nitrifikationsbecken in die Denitrifikationsbecken werden je Straße 2 frequenzgeregelte Tauchmotor-Rezirkulationspumpen mit geringer Förderhöhe vorgesehen. Hierfür sind passende Durchbrüche in den Beckenwänden zu erstellen. Das minimale Rückführverhältnis liegt rechnerisch bei $RF = 1,42$. Ausgehend von einem $RV = 1,0$ muss das Rezirkulationsverhältnis rechnerisch mindestens $0,42 \cdot Q_{RZ}/Q_t$ betragen. Zur variablen Fahrweise wird für die Auslegung der Rezirkulationspumpen ein Rezirkulationsverhältnis von 2 und eine Gesamtfördermenge von 750 L/s ($2 \cdot 375 \text{ l/s}$) angenommen.

Um das energetische Einsparpotenzial neuer Rezirkulationspumpen voll auszuschöpfen, sollte zudem die Rücklaufschlammernahme aus dem Nachklärbecken optimiert werden. Es muss dadurch weniger Wasser durch das Rücklaufschlamm-/Zwischenhebewerk gefördert werden.

Der max. Sauerstoffbedarf beträgt wie in Variante 2a $587 \text{ kgO}_2/\text{h}$. Unter Berücksichtigung eines Sauerstoffausnutzungswertes von $20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 \cdot \text{m}_{\text{ET}})$ und einer Einblastiefe von $5,80 \text{ m}_{\text{ET}}$ wird die erforderliche Luftmenge für die Becken ermittelt.

erforderliche Luftmenge: $587 \text{ kgO}_2/\text{h} / (20 \text{ gO}_2/(\text{Nm}^3 \cdot \text{m}_{\text{ET}}) \cdot 5,80 \text{ m}_{\text{ET}}) = 5.060 \text{ Nm}^3/\text{h}$

gewählt: $= 5.700 \text{ Nm}^3/\text{h}$

Die betriebliche Luftbeaufschlagung wird mit $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$ pro Belüfter gewählt. Die erforderliche Anzahl an Belüftern in der Nitrifikationszone beträgt somit $5.700 \text{ Nm}^3/\text{h} / 30 \text{ Nm}^3/\text{h} = 190$ Belüfterplatten. Für die Ausrüstung der N/DN-Beckenkammer werden zusätzlich 50 Belüfterplatten veranschlagt, sodass insgesamt 240 Belüfterplatten erforderlich sind.

Zwei der vier installierten Drehkolbengebläse ($2 \cdot 3.312 \text{ m}^3/\text{h} = 6.624 \text{ m}^3/\text{h}$) reichen aus die erforderliche Luftmenge bereitzustellen.

Die für den Standardbetrieb nicht mehr eingesetzten vorderen zwei Becken der sauerstoffbegasten Belebung werden analog zu Variante 1b für den Reservebetrieb vorgehalten und entsprechend in den Klärprozess eingebunden.

Kosten Variante 2b

Die Investitions- und Kapitalkosten sowie die Veränderung der laufenden Kosten gegenüber dem IST-Zustand sind für Variante 2b in Tabelle 3-19 aufgeführt.

Die Investitionskosten für die Vorklärung, maschinellen Überschussschlammindickung und einem BHKW werden mit $1.272.000 \text{ €}$ angesetzt. Für die Erhöhung des Wasserstands in der druckluftbegasten Belebung, Erneuerung der Belüftung, Rührwerke und Rezirkulationspumpen wurden die Kosten für die Bau- und Maschinentechnik mit 888.500 € abgeschätzt. Für die Einbindung von zwei sauerstoffbegaste Becken für einen Reservebetrieb werden Investitionskosten für die Bau- und Maschinentechnik in Höhe von 180.000 € angenommen. Hinzu kommen noch Kosten für sonstige Anpassungsarbeiten und Baustelleneinrichtung.

Bei den laufenden Kosten wurde der Reservebetrieb der sauerstoffbegasten Belebungsbecken nicht berücksichtigt. Gegenüber Variante 2a ergibt sich ein geringer Energiebedarf den Betrieb des neuen energieeffizienten Rezirkulationspumpwerks.

Für Variante 2b ergeben sich Kapitalkosten von 215.000 €/a. Dem gegenüber steht eine Reduzierung der laufenden Kosten im Vergleich zum ISZ-Zustand in Höhe von 422.000 €/a. Es ergibt sich eine Jahreskostenreduzierung gegenüber dem IST-Zustand in Höhe von 207.000 €/a.

Tabelle 3-19: Kosten der Variante 2b
Vorgeschaltete Denitrifikation und Nitrifikation in der druckluftbegasteten Belebung (+0,60 m)

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Vorklärung, MÜSE, BHKW	1.272.000 €			
Bautechnik und Nebenkosten	394.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	20.102 €
Maschinentechnik	805.000 €	MT 15	3,0% 0,083767	67.432 €
EMSR-Technik	73.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	8.558 €
Belebung Variante 2b	1.617.500 €			
Bautechnik und Nebenkosten	649.000 €	BT 30	3,0% 0,051019	33.111 €
Maschinentechnik	838.500 €	MT 15	3,0% 0,083767	70.238 €
EMSR-Technik	130.000 €	ET 10	3,0% 0,117231	15.240 €
Summe	2.889.500 €			214.681 €
laufende Kosten / Erträge Differenz gegenüber Ist-Zustand	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
IST-Zustand				
Verringerung Energiebedarf Belebung	3.003.268	1.811.633 kWh/a	0,15 €/kWh	-271.745 €
Verringerung Energiebedarf Schlammwässerung		37.280 kWh/a	0,15 €/kWh	-5.592 €
Verringerung Erdgasbedarf	1.256.187	1.202.584 kWh/a	0,06 €/kWh	-72.155 €
Minderung Klärschlamm Entsorgung	4.518	159 Mg/a	60,00 €/Mg	-9.519 €
Instandhaltung MÜSE (2% p. a. von MT)	-	125.000 €	2,00 % p. a.	2.500 €
Energiebedarf MÜSE	-	15.836 kWh/a	0,15 €/kWh	2.375 €
Flockungshilfsmittel	-	3.801 kg WS/a	4,00 €/kg WS	15.203 €
Betriebswasser	-	3.000 m³/a	0,30 €/m³	900 €
Instandhaltung BHKW	-	587.020 kWh/a	2,50 ct/kWh	14.676 €
Schmieröl BHKW (0,3 kg/MWh_el)	-	176 kg/a	5,00 €/kg	881 €
Stromerzeugung BHKW	-	587.020 kWh/a	0,15 €/kWh	-88.053 €
Zuschlag KWK <30.000 h Vollbenutzung <50 kW		279.533 kWh/a	5,41 ct/kWh	-15.123 €
zwischen 50 bis 250 kW		307.487 kWh/a	4,00 ct/kWh	-12.299 €
Personalkosten BHKW und MÜSE	-	400 h/a	40 €/h	16.000 €
Summe				-421.951 €
Jahreskostenreduzierung				-207.270 €

3.7 Fazit der Optimierungsmaßnahmen in Hinblick auf das Potenzial zur Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination

Durch die Integration einer Vorklärung mit einer Aufenthaltszeit von 0,75 h im vorhandenen Anaerobbecken und der Verfahrensumstellung der Belebung werden Ressourcen für die Spurenstoffelimination erschlossen:

- Das notwendige Belebungsvolumen wird reduziert und es kann somit vorhandenes Beckenvolumen zur Spurenstoffelimination genutzt werden.
- Durch einen höheren Einstau der druckluftbegasten Belebungsbecken kann zusätzliches Volumen aktiviert werden.
- Der Energiebedarf einer Ozonanlage zur Spurenstoffelimination kann durch einen höheren Gasertrag durch die Integration einer Vorklärung und Verstromung des Faulgases in einem BHKW ausgeglichen werden. Ferner wird der Sauerstoffbedarf gesenkt, sodass weniger Energie zur Belüftung erforderlich ist.
- Grundsätzlich kann bei einer gleichzeitigen Optimierung der Nachklärung auf alle vier Becken der sauerstoffbegasten Belebung für die biologische Abwasserbehandlung verzichtet werden, wodurch sich weitere Einsparungen bei den Energie, Wartungs- und Instandhaltungskosten realisieren lassen und Kapazität für die Spurenstoffelimination geschaffen wird.

4 Verfahren zur Spurenstoffelimination

4.1 Überblick möglicher Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination

Der Einsatz der Techniken zur Mikroschadstoffentfernung führt dazu, dass der mechanisch biologischen Kläranlage, die in der Regel als letzte Stufe die Nachklärung oder eine Abwasserfiltration aufweist, noch weitere Verfahrensschritte zur eigentlichen Mikroschadstoffelimination nachgeschaltet werden müssen. Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über diese Verfahrensschritte.

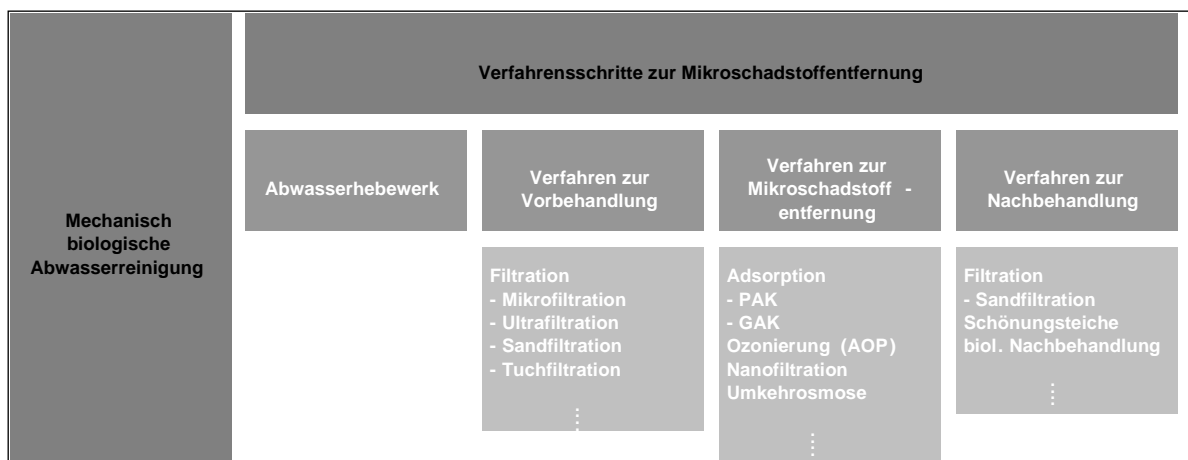


Abbildung 4-1: Verfahrensschritte zur Spurenstoffelimination

Für die Anwendung der Verfahren zur Spurenstoffelimination in der Abwasserreinigung liegen zurzeit keine Regelwerke (DIN, DWA) für die Bemessung vor. Herauskrystallisiert haben sich aus den grundsätzlich möglichen Verfahren zur Spurenstoffelimination die Behandlung mit Ozon oder Aktivkohle. Hierzu liegen Erfahrungen zur Bemessung und Betrieb aus zahlreichen Forschungsvorhaben und ersten großtechnisch umgesetzten Anlagen vor. Derzeit werden in Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen großtechnische Anlagen zur Spurenstoffelimination auf kommunalen Kläranlagen errichtet. Die eingesetzten Verfahrenstechniken sind die Ozonung, die nachgeschaltete Pulver-Aktivkohle(PAK)-Dosierung und die granulierten Aktivkohlefiltration. Einen Überblick über abgeschlossene Forschungsprojekte und realisierte Anlagen kann der Internetseite des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW (<http://www.masterplan-wasser.nrw.de/index.php?/>) entnommen werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse eines Monitorings (vgl. Kapitel 2) kann eine Verfahrenswahl zur Spurenstoffelimination erfolgen, sodass die identifizierten relevanten Spurenstoffe sicher weitestgehend aus dem Abwasser entfernt werden können. Bei zu hoher Bromidkonzentration muss ggf. die Ozonung aufgrund der potentiellen Bromatbildung als Behandlungsverfahren ausgeschlossen werden. Als Orientierung zur Verfahrensauswahl kann Abbildung 4-2 herangezogen werden, welches die relative Elimination relevanter Spurenstoffe mittels PAK und oxidativer Behandlung mit Ozon gegenüberstellt.

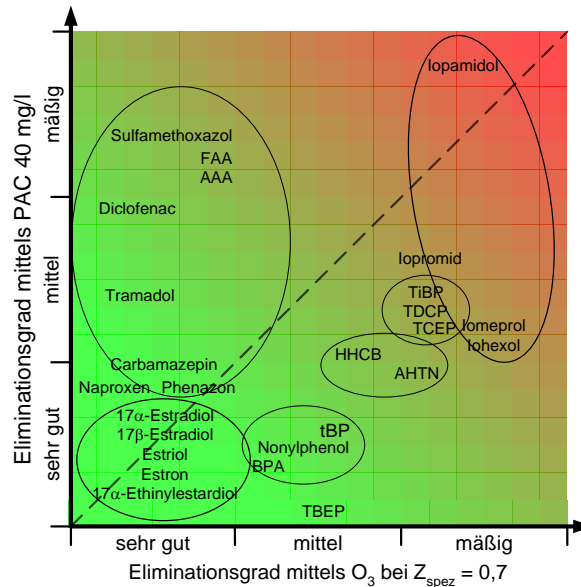


Abbildung 4-2: Relative Elimination umweltrelevanter Spurenstoffe in Abwasser mittels PAK Aktivkohleadsorption (PAC) im Vergleich zur Ozon-Oxidation bei einem Betriebswert von $z_{spez} = 0,7$ (MUNLV (2008))

Zur abschließenden Charakterisierung des Abwassers eignen sich in Abhängigkeit von den in Betracht kommenden Verfahren Laborversuche, die weitere Hinweise zur Eignung der Behandlungsoptionen geben, als Grundlage für die Schätzung der späteren Betriebskosten dienen und von denen Eingangsgrößen für die spätere Anlagenbemessung abgeleitet werden können.

Neben den spezifischen Dosiermengen z.B. an Ozon oder Pulveraktivkohle (PAK) sind die Energiebedarfe dieser Technologien von Bedeutung. Im Rahmen von Studien, Forschungsberichten und Veröffentlichungen sind für einzelne Verfahren der Mikroschadstoffelimination Energiebedarfe publiziert. In der synoptischen Arbeit von [13] wurden die veröffentlichten Angaben zum Energiebedarf von Techniken zur Spurenstoffelimination ausgewertet. Es ergeben sich demnach folgende von der Dosierung abhängige Schwankungsbereiche des auf die behandelte Abwassermenge bezogenen spezifischen Energiebedarfs:

- Granulierte Aktivkohle: 0,01 – 0,02 kWh/m³
- Pulveraktivkohle 0,004 kWh/m³ (10 mg PAK/L) – 0,05 kWh/m³ (20 mg PAK/L)
- Ozon (aus LOX-Sauerstoff) 0,05 kWh/m³ (3 mg O₃/L) – 0,15 kWh/m³ (8 mg O₃/L)

Bei der Pulveraktivkohlebehandlung ist zusätzlich zur Nachbehandlung eine Filtration vorzusehen, die den Energiebedarf nochmals um 0,01 bis 0,05 kWh/m³ ansteigen lässt. Bei einer Ozonung ergibt sich ggf. aus der Nachbehandlung ein zusätzlicher Energiebedarf.

Dieser zusätzliche Energiebedarf der neuen Verfahrensstufe ist dem Energiebedarf der mechanisch biologischen Abwasserreinigung der Kläranlage Duisburg Hochfeld, der zurzeit mit rd. 55 kWh/(E*a) angegeben werden kann, hinzu zu rechnen.

Zur Auswahl eines geeigneten Behandlungsverfahrens zur Spurenstoffelimination sind die standortspezifischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Ein entscheidender Punkt ist die leichte Implementierung der neuen Verfahrensstufe in die bestehende Anlagenstruktur der Kläranlage. Zu prüfen ist, ob

die erforderlichen Flächen zur Umsetzung der Verfahren vorhanden sind und ggf. eine Umnutzung von vorhandenen Anlagenteilen für die Spurenstoffelimination erfolgen kann.

Folgenden örtlichen Rahmenbedingungen sind bei der Kläranlage Duisburg-Hochfeld zu berücksichtigen:

- Es ist bereits eine Rein-Sauerstoff-Versorgung vorhanden, die zur Ozonerzeugung genutzt werden kann.
- Ein nicht mehr benötigtes abgedecktes Becken der vorhanden sauerstoffbegasten Belebung bietet günstige Voraussetzung zur Nutzung als Ozonreaktionsbecken.
- Es ist kein Flockungsfilter vorhanden, der für eine Behandlung mit PAK oder GAK genutzt werden könnte.
- Die beengten Platzverhältnisse der Kläranlage erlauben keine flächenbeanspruchenden Neubauten

Aufgrund dieser Randbedingungen und der in Kapitel 2 beschriebenen Screeningergebnisse und Ozonzehrungsversuche wird im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie nur die Ozonung als Behandlungsverfahren näher betrachtet.

4.2 Spurenstoffelimination mit Ozon und biologische Nachbehandlung

Die Mikroschadstoffelimination mit Ozon erfolgt in einem separaten Reaktionsbecken nach der biologischen Abwasserreinigung. Das sehr reaktive Ozon reagiert entweder direkt mit einer Vielzahl anorganischer und organischer Substanzen. Dabei werden sehr selektiv bestimmte Bindungen wie z.B. C=C-Doppelbindungen, phenolische Verbindungen und Aminogruppen aufgelöst. Oder das Ozon reagiert indirekt, wobei es in Gegenwart von organischen Kohlenstoff und Hydroxid-Ionen (OH^-) in Hydroxyl-Radikale (OH^\cdot) zerfällt. Diese Radikale reagieren sehr schnell und unspezifisch mit verschiedenen Stoffen. Dazu gehört neben den Mikroschadstoffen auch die unbedenkliche organische Hintergrundmatrix.

In der Ozonung kommen prinzipiell zwei Eintragsverfahren zum Einsatz. Einmal kann das Ozon durch einen Diffusor am Beckenboden als feine Gasbläschen in das Reaktorbecken eingebracht werden. Alternativ kann das Ozon über ein Pumpe-Injektor-System (statischen Mischer) in der Zulaufleitung zum Reaktionsbecken eingebracht werden, was einen geringeren bautechnischen Aufwand bedeutet. Alternativ gibt es die Möglichkeit der Ozonung im Rohrreaktor mit vermindertem Bromatbildungspotential, die jedoch bis jetzt noch nicht großtechnisch untersucht wurde. Die festgestellten Bromidkonzentrationen des Screenings mit max. 150 $\mu\text{g/L}$ schließen für die Kläranlage Duisburg-Hochfeld grundsätzlich kein Eintragsverfahren aus.

Die erforderliche Produktionskapazität der Ozonerzeuger richtet sich nach der maximal benötigten Ozonmenge, die vom Abwasseranfall und der Abwasserqualität, wie z.B. DOC und Nitrit, abhängt. I. d. R. werden Eintragskonzentrationen von 2 – 15 mg O_3/L in Abhängigkeit des DOC angestrebt, um eine weitgehende Elimination zu gewährleisten. Vom Schweizerischen Bundesamt für Umwelt [19] wird angegeben, dass eine Ozondosis von 0,7-0,9 g O_3/gDOC für die Elimination der meisten Spurenstoffe ausreichend ist. Die Erfahrung für die Ozonanlage Duisburg Vierlinden zeigen eine weitgehende Elimination vieler Spurenstoffe bereits ab einer Ozondosis von 0,5 g O_3/gDOC [18]. Die dabei erforderliche Kontaktzeit sollte in Abhängigkeit vom Ozonzehrungsverhalten des Abwassers 10 – 30 min. nicht unterschreiten.

Die oxidative Behandlung kann zu einer besseren Bioverfügbarkeit der Spurenstoffe führen, aber auch zu einer kurzfristigen Erhöhung der Ökotoxizität, aufgrund von Transformationsprodukten. Aus diesem

Grund ist es bei einer weitergehenden Planung sinnvoll, die Erfordernis einer biologischen Nachbehandlung im Ablauf des Reaktorbeckens zu prüfen. Zur Nachbehandlung des ozonierten Wasser kommen verschiedenen Verfahren zum Einsatz. Bisher realisierte Verfahren sind:

- Schönungsteich (wie z. B. Ozonanlage Bad Sassendorf)
- Rezirkulation des ozonierten Wassers durch die Belebungsstufe (wie z. .B bei der Kläranlage Schwerte)
- nachgeschalteten Sandfiltration (Schweiz)
- biologisches Wirbelbett (wie z. B. bei der Kläranlage Duisburg Vierlinden)

4.3 Integration einer Ozonanlage auf der Kläranlage Duisburg Hochfeld

In Abbildung 4-4 ist die mögliche Integration einer Ozonanlage auf der Kläranlage Duisburg Hochfeld dargestellt. Durch die Verfahrensumstellung der Belegung stehen für die Spurenstoffelimination die dritte und vierte Straße der sauerstoffbegasteten Belebungsbecken mit einem Beckenvolumen von $2 \times 1.696 \text{ m}^3$ zur Verfügung. Es ist geplant, beide Straßen für einen zweistraßigen Aufbau der Ozonanlage zu nutzen.

Die Ozonung wird der biologischen Abwasserbehandlung der Kläranlage Duisburg Hochfeld nachgeschaltet. Aufgrund des vorhandenen nutzbaren Reaktorvolumens werden die Zu- und Ablaufleitungen auf eine Behandlung des Mischwasserabflusses von $2.700 \text{ m}^3/\text{h}$ ausgelegt. Am Ende der Ablaufsammelleitung der drei Nachklärbecken wird im Schacht neben dem Nachklärbecken 3 ein Klappenwehr installiert, um bei Betrieb der Ozonanlage in der Sammelleitung eine Umkehr der Fließrichtung zu erzwingen und den gesamten Nachklärbeckenablauf in einen neu zu errichtenden Pumpenschacht neben Nachklärbecken 3 zu leiten. Bei größeren Abflüssen als der Trockenwetterabfluss kann die Wehrklappe als Trennbauwerk fungieren, falls die Q_T übersteigende Wassermenge nicht behandelt werden soll. Das nicht ozonierete Wasser wird dann direkt in die Ablaufleitung abgeschlagen.

Vom Pumpenschacht aus wird die Ozonanlage mit frequenzgeregelten Tauchmotorpumpen beschickt. Die geodätische Förderhöhe beträgt ca. 2,50 m. Für die energetische Betrachtung werden im Mittel zusätzliche Verluste durch die Rohrleitung in Höhe von 0,70 m angesetzt. Die Pumpen sorgen für die Begrenzung des Anlagenzufusses. Für jede Straße wird eine separate Zulaufleitung mit Pumpwerk vorgesehen. Der Zufluss der beiden Becken der Ozonanlage wird jeweils über ein MID gemessen. Ferner wird eine DOC-Zulaufmessung der Ozonanlage vorgesehen, um eine DOC-frachtabhängige Dosierung des Ozons umzusetzen.

Jede Zulaufleitung erhält je einen Auslauf für jede Straße, der mit einem Schieber zu Wahl der zu beschickenden Straße ausgerüstet wird, sodass entweder nur eine Straße mit beiden Zulaufleitungen beschickt werden kann oder jede Straße mit einer Zulaufleitung. In Abbildung 4-3 ist die Zulaufaufteilung auf die beiden Straßen skizziert. Für jede Einlaufleitung in den ersten Kontaktreaktor ist zudem eine Zulaufaufteilung zur gleichmäßigen, kurzschlussfreien Beckendurchströmung vorzusehen.



Abbildung 4-3: Zulauf zur Ozonanlage mit Absperrschieber

Jede Beckenstraße wird in zwei Bereiche unterteilt. Zuerst finden in der Zulaufleitung der Eintrag und die Mischung von Ozon in das Abwasser statt. Das Ozon reagiert in der Zulaufleitung und dem anschließenden Kontaktreaktor mit den Abwasserinhaltsstoffen. Grundsätzlich kann auf eine aufwändige Unterteilung des Reaktorvolumens in Kompartimente verzichtet werden. Kurzschlussströmungen im Reaktor sind jedoch konstruktiv zu vermeiden. Aus Gründen der Arbeitssicherheit ist das Reaktionsbecken mit einer gasdichten Abdeckung zu versehen. Die Becken der sauerstoffbegasteten Belebung in Duisburg Hochfeld sind bereits mit einer Betondecke abgedeckt. Die vorhandenen Öffnungen im Bereich des Ozonkontaktbeckens sind mit ozonbeständigen Klappen und Dichtungen zu verschließen. Ozonhaltige Abluftströme werden über einen katalytischen Restozonvernichter geleitet.

Im zweiten Beckenbereich findet die biologische Nachbehandlung des ozonierten Wassers statt. Die Varianten der Nachbehandlung werden in 4.4 erläutert.

Die vorhandenen Oberflächenbelüfter und Rührwerke in den Becken werden nicht mehr benötigt und werden demontiert.

Das ozonierte und nachbehandelte Wasser wird anschließend über ein neues Ablaufgerinne hinter dem Trennbauwerk wieder in das Ablaufgerinne der Kläranlage geleitet.

Das Ozon wird durch Ozonerzeuger aus technischem Sauerstoff mittels stiller elektrischer Entladung hergestellt. Die Ozonerzeugung benötigt relativ viel elektrische Energie. Die Kläranlage Hochfeld wird über eine vorhandene Leitung mit technischem Sauerstoff versorgt, sodass kein Sauerstofftank notwendig ist. Die erforderliche Produktionskapazität der Ozonerzeuger richtet sich nach der maximal benötigten Ozonmenge, die vom Abwasseranfall und der Abwasserqualität, wie z.B. DOC und Nitrit, abhängt. Die mittlere Ozondosis wird für die Kostenschätzung mit $5 \text{ mgO}_3/\text{L}$ angenommen. Für die Auslegung der Ozonerzeuger und des Pumpe-Injektor-Systems wird für den Trockenwetterabfluss von $1.350 \text{ m}^3/\text{h}$ die maximale Dosis mit ca. $7 \text{ mgO}_3/\text{L}$ abgeschätzt werden. Für den Mischwasserabfluss ist demnach noch eine Basisdosierung von $3,5 \text{ mgO}_3/\text{L}$ möglich.

Für den Betrieb der Anlage ist eine Regelung der Ozondosis in Abhängigkeit von der DOC-Fracht vorzusehen. Notwendig sind hierfür eine DOC-Onlinemessung und eine Durchflussmessung.

Zur Überwachung des Ablaufs wird zur Messung des Ozons in der gelösten Phase eine O₃-Orbisphere installiert. Die Abluft der Anlage ist mit einem Ozonwarngerät zu kontrollieren und die Räume in denen potenziell Ozon oder Sauerstoff austreten könnte, sind mit Ozon- und Sauerstoffwarngeräte auszustatten.

Die Kühlung der Ozonerzeuger erfolgt mit einem internen Kühlkreislauf über einen Abwasserwärmetauscher, der im Ablaufbereich der biologischen Nachbehandlung der Ozonanlage installiert wird. Die Kühlwassertemperatur hat Einfluss auf die maximale Ozonerzeugungskapazität der Ozonerzeuger. Die maximale Kühlwassertemperatur wird mit 25 °C angesetzt. Zusätzlich ist ein Doppelrohrwärmetauscher vorzusehen, sodass die Wärme zur Aufheizung des Rohschlammes vor der Faulung genutzt werden kann.

Es kommen grundsätzlich zwei O₃-Eintragungssysteme, zum einen Injektoren und zum anderen Diffusoren, in Frage. Die bisherigen Monitoringergebnisse [18] der Ozonung auf der Kläranlage Duisburg-Vierlinden zeigten keinen signifikanten Unterschied der Verfahren bezüglich der Mikroschadstoffelimination. Für die Kläranlage-Hochfeld wird das Pumpe-Injektorsystem gewählt, da ein O₃-Eintrag mit Diffusoren bei einer vorhanden Eintragstiefe von 3,30 m eine nur geringe Eintragungseffizienz erwarten lässt. Ferner muss für die Integration der Ozonanlage auf der Kläranlage Hochfeld der Zulauf gepumpt werden, sodass sich die Druckleitung für den Zulauf ideal als Misch- und Reaktionstrecke anbietet.

Beim Injektorsystem wird mittels Kreiselpumpen ein Teilstrom auf den notwendigen Treibwasserdruck von ca. 5 bar gebracht. Der Teilstrom wird aus der Zulaufleitung vor der Behandlung abgezweigt. Im Injektor findet die Vermischung des Ozons mit dem Teilstrom statt. Nachgeschaltet wird durch einen statischen Mischer der ozonierte Teilstrom mit dem Hauptabwasserstrom vermischt. Die Mischenergie wird dabei durch den Eintrag des Injektorteilstroms eingebracht, sodass eine Mischung auch bei geringen Durchflüssen und Fließgeschwindigkeiten in der Zulaufrohrleitung erreicht wird.

Das Gebäude zur Unterbringung der Ozongeneratoren und der erforderlichen Anlagentechnik wird aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse auf das bestehende Becken gesetzt (siehe Abbildung 4-4).

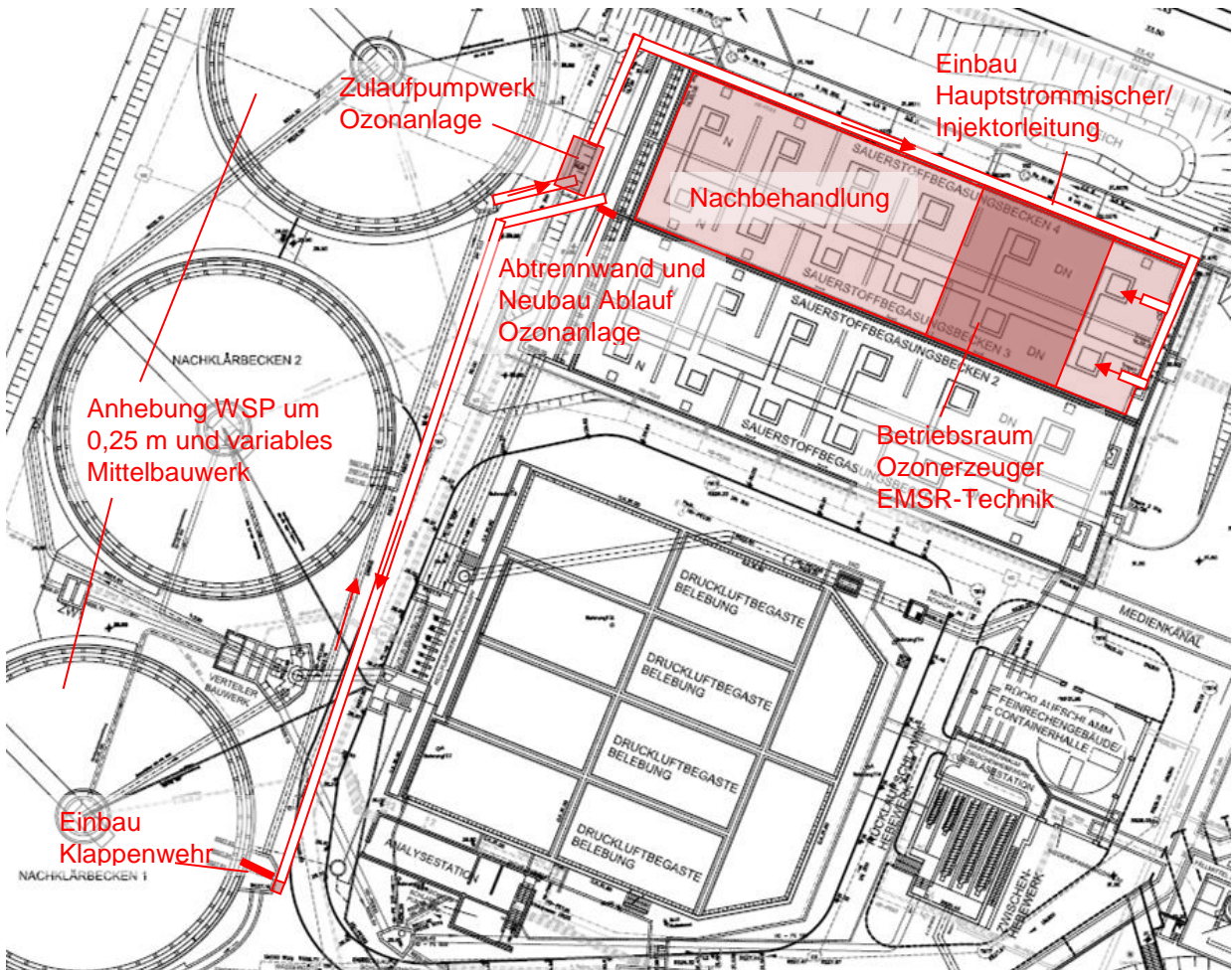


Abbildung 4-4: Lageplanausschnitt Kläranlage Duisburg Hochfeld – Integration Ozonanlage

Für den effizienten Einsatz des Ozons zur Spurenstoffelimination ist die organische Hintergrundbelastung gering zu halten. Ferner sind Schlammablagerungen in der Ozonanlage und Nachbehandlung zu minimieren. Daher ist für die Integration der Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Hochfeld eine Optimierung der Nachklärung erforderlich. Zudem ist zur Vermeidung eines Rückstaus bis in die Ablaufrinnen der Nachklärung bei Nutzung der Ablaufsammelleitung zur Beschickung der Ozonanlage die Ablaufrinnen in den Nachklärbecken zu erhöhen.

Vorgesehen ist daher eine Erhöhung der Ablaufwehrkante um 0,25 m. Hierzu werden die vorhandenen Konsolen erhöht und eine neue Ablaufrinne bzw. die vorhandene Rinne neu montiert. Im Zuge dieser WSP-Anhebung sind die Saug- und Schwimmschlammräumer anzupassen.

Ein optimaler Feststoffrückhalt in der Nachklärung wird erzielt, wenn der Belebtschlamm in Abhängigkeit von der Schlammspiegelhöhe derart in das Nachklärbecken eingeleitet wird, dass der sich bildende Flockenfilter ideal genutzt wird und Schlamm aufwirbelungen vermieden werden. Zur Berücksichtigung der stark schwankenden Belastung, die sich aus dem jahreszeitlichen Verlauf der Schlammeigenschaften als auch aus wechselnden Trocken- und Regenwetterbedingungen ergeben, wird je Nachklärbecken ein höhenvariables Einlaufbauwerk vorgesehen (z. B. hydrograv adapt system). Die Einstellung der Einlaufschlitze erfolgt mit einem auf die örtlichen Randbedingungen angepassten MSR-Konzept.

Bemessung der Variante

Kontaktreaktor:

Die Aufenthaltszeit im Kontaktreaktor soll für den maximalen Zulauf zur Ozonanlage mindestens 20 min betragen. Dies entspricht der Auslegung der Anlage in Duisburg Vierlinden und den Empfehlungen des BAFU [19]. Eine weitere Verlängerung der Aufenthaltszeit zeigte für die Ozonanlage Duisburg Vierlinden [18] keine Steigerung der Spurenstoffelimination. Aus den Ozonzehrungsversuchen mit dem Ablauf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld geht hervor, dass bei einer hohen Ozondosis von 10 mgO₃/L nach ca. 6 min kein gelöstes Ozon in der Wasserphase mehr vorliegt. Demnach ist als Kontaktreaktor eine Dimensionierung auf 20 min Aufenthaltszeit ausreichend. Als Kontaktreaktor wird die Umnutzung des Denitrifikationsbereichs der sauerstoffbegasten Belebungsbecken mit einem Volumen von 2 * 684 m³ vorgesehen.

Für den Kontaktreaktor der Ozonanlage sind unter Annahme einer Aufenthaltszeit von 20 min bei einer hydraulischen Beaufschlagung von maximal dem Trockenwetterzufluss von Q_t = 1.350 m³/h bzw. bei Mischwasserzufluss in Höhe von 2.700 m³/h folgende Volumen erforderlich:

- Volumen erforderlich bei Q_t V = 1.350 m³/h * 0,33 h = 446 m³
- Volumen erforderlich bei Q_m V = 2.700 m³/h * 0,33 h = 892 m³
- Volumen vorhanden V = 2 * 684 m³ = 1.368 m³

Das vorhandene Beckenvolumen der ersten Kammer ist demnach ausreichend. Die Aufenthaltszeit beträgt bei Trockenwetter über eine Stunde bzw. 30 min bei Mischwasserzufluss. Das übrige Beckenvolumen mit einer Größe von 2 * 1.012 m³ wird für die biologische Nachbehandlung durch eine bereits bestehende Trennwand vom Ozonreaktor abgetrennt.

Ozon-Produktion und Sauerstoffbedarf

Für die Ozonung wird für die Bemessung der Ozonerzeugung und des Injektors Dosierung von 7 g O₃/m³ und einer Produktgaskonzentration von 148 gO₃/Nm³ bei Q_t ausgegangen. Durch die Ozonerzeuger werden dabei 10 Massen-% des eingesetzten Sauerstoffs in Ozon umgewandelt. Grundsätzlich ist eine Steigerung der Ozonerzeugung bei ausreichender Kühlung durch Anhebung der Produktgaskonzentration auf bis zu 190 gO₃/Nm³ möglich. Bei einem Zufluss von Q_t zur Ozonung von 1.350 m³/h ist nachfolgend die erforderliche Ozonerzeugung berechnet. Für die Behandlung von Q_m wird die gleich maximale Ozonerzeugung angesetzt. Die mögliche Ozonkonzentration ist entsprechend geringer.

- maximale Erzeugung bei Q_t: 7 gO₃/m³ * 1.350 m³/h = 9.450 gO₃/h
- maximale Erzeugung bei Q_m: 3,5 gO₃/m³ * 2.700 m³/h = 9.450 gO₃/h

Unter Annahme, dass die Jahresschmutzwassermenge von 4.600.000 m³ in der Ozonanlage behandelt wird, ergibt sich für eine mittlere Dosierung von 5 gO₃/L aus der Berechnung in Tabelle 4-1 ein jährlicher Bedarf an Sauerstoff von 161.000 Nm³/a bzw. 13.400 Nm³/Monat.

Die vertraglich bis 2017 festgelegte Mindestabnahmemenge an Sauerstoff aus der Ruhrgebietsleitung für die Sauerstoffbegasung der Belebung beträgt 100.000 Nm³/Monat. Die Vertragsbedingung müssen bei einer zukünftig ausschließlichen Verwendung von Sauerstoff für die Ozonerzeugung überprüft werden.

Tabelle 4-1: Berechnung der Gasmengen und Gasvolumenströme für unterschiedliche Betriebszustände

Stoffgrößen	Molmasse O ₃	47,998 g/mol
	Molmasse O ₂	31,998 g/mol
	Molvolumen (Normbedingungen)	22,414 L/mol
Mittlere Ozonerzeugung und Eintrag		
Wassermenge	Jahresabwasserwassermenge	5.400.000 m ³ /a
		171 l/s
Ozon	Solldosis	5 mg/l
Erzeugung/Eintrag	Produktgaskonzentration	148 g/Nm ³
	Massenstrom	3.082 g/h
Trägergas O ₂ /O ₃	Gasvolumenstrom	20,8 Nm ³ /h
Eintrag	Massenstrom*	30.758 g/h
		269 Mg/a
Sauerstoff	Massenstrom	30.758 g/h
zur Ozonerzeugung	Gasvolumenstrom	21,5 Nm ³ /h
		188.737 Nm ³ /a
		15.728 Nm ³ /Monat
Maximale Ozonerzeugung und Eintrag		
Wassermenge	Trockenwetterzufluss Q _t	1.350 m ³ /h
		375 l/s
Ozon	Solldosis	7 mg/l
Erzeugung/Eintrag	Produktgaskonzentration	148 g/Nm ³
	Massenstrom	9.450 g/h
Trägergas O ₂ /O ₃	Gasvolumenstrom	63,9 Nm ³ /h
Eintrag	Massenstrom*	94.304 g/h
		826 Mg/a
Sauerstoff	Massenstrom	94.304 g/h
zur Ozonerzeugung	Gasvolumenstrom	66,1 Nm ³ /h
Minimale Ozonerzeugung und Eintrag		
Wassermenge	Minimalzufluss	200 m ³ /h
		56 l/s
Ozon	Solldosis	5 mg/l
Erzeugung/Eintrag	Produktgaskonzentration	148 g/Nm ³
	Massenstrom	1.000 g/h
Trägergas O ₂ /O ₃	Gasvolumenstrom	6,8 Nm ³ /h
Eintrag	Massenstrom*	9.979 g/h
		87 Mg/a
Sauerstoff	Massenstrom	9.979 g/h
zur Ozonerzeugung	Gasvolumenstrom	7,0 Nm ³ /h

*Massenstrom O₂/O₃ = Massenstrom O₃ + (Gasvolumenstrom - Massenstrom O₃/Molmasse O₃*Molvolumen)/Molvolumen * Molmasse O₂

Pumpe-Injektor-System

Das Pumpe-Injektorsystem mischt das O₂/O₃-Gasgemisch in den Injektorstrom-Nebenstrom ein. Die Auslegung des Systems erfolgt für den maximalen Gasvolumenstrom. In Tabelle 4-1 ist dieser mit 63,9 Nm³/h berechnet worden. Je Straße muss das Pumpe-Injektor-System auf einen maximalen Gasvolumenstrom von 31,9 Nm³/h ausgelegt werden. Die Anschlussleistung der Injektorpumpe beträgt für beide Straßen insgesamt ca. 11 kW bei einer Fördermenge von 180 m³/h. Der minimale Trockenwetterzufluss zur Ozonanlage von ca. 200 m³/h ist für den einstraßigen Betrieb des Pumpe-Injektorsystems mit einem Injektorvolumenstrom von 90 m³/h ausreichend.

Zulaufrohrleitung und Hauptstrommischer für den ozonierten Injektorteilstrom:

Es wird für jede Straße eine separate Zulaufleitung geplant. Für die Einmischung des Injektorteilstroms mit dem Hauptstrom wird ein Hauptstrommischer in die Zulaufleitung installiert. Um nachfolgend eine Trennung der flüssigen und gasförmigen Phase in der Leitung zu vermeiden, sind zu geringe Fließgeschwindigkeiten zu vermeiden. Gewählt werden zwei Zulaufrohrleitung à DN 400. Die Einmischung des ozonierten Injektorteilstroms in den Hauptstrom wird ca. 5 m vor dem Beckeneinlauf angeordnet.

- Q_{\min} (eine Straße) $v = 0,056 \text{ m}^3/\text{s} / 0,126 \text{ m}^2 = 0,44 \text{ m/s}$
- Q_t (zwei Straßen) $v = 0,375 \text{ m}^3/\text{s} / 2 / 0,126 \text{ m}^2 = 1,5 \text{ m/s}$
- Q_m (zwei Straßen) $v = 0,750 \text{ m}^3/\text{s} / 2 / 0,126 \text{ m}^2 = 3,0 \text{ m/s}$

Beim Minimalzufluss beträgt die Fließzeit ca. 11 sec. und bei Mischwasserzufluss ca. 2 sec.

4.4 Nachbehandlung

Zur Nachbehandlung steht das restliche Beckenvolumen durch Umnutzung der sauerstoffbegasten Belebung von $2 * 1.012 \text{ m}^3$ zur Verfügung. Die Aufenthaltszeit bei maximalem Trockenwetterzufluss von $1.350 \text{ m}^3/\text{h}$ beträgt 1,5 Stunden bzw. 0,75 Stunden bei Q_m . Es werden folgende Varianten der Nachbehandlung betrachtet:

- **Variante N1:** Nutzung des Volumens als „Nachreaktionsbecken“ und Untersuchung der Ökotoxizität im Ablauf der Anlage mit der Option eine biologische Nachbehandlung nachzurüsten
- **Variante N2:** Biologisches Wirbelbett (KA Duisburg Vierlinden)
- **Variante N3:** Biologisches Festbett mit Füllkörpern
- **Variante N4:** biologische Nachbehandlung mit Überschussschlamm und anschließender „zweiter“ Nachklärung (Das Verfahren ist angelehnt an das auf der KA Schwerte eingesetzte Verfahren der Rezirkulation des ozonierten Wassers durch die Belebungsstufe. Anders als in Schwerte wird jedoch die biologische Behandlungsstufe nicht stärker hydraulisch belastet und die Reinigungsleistung wird nicht durch das Rezirkulationsverhältnis beeinflusst.

Nachbehandlung Variante N1: Nachreaktionsbecken

In Variante 1 werden keine weiteren Umbaumaßnahmen an den vorhandenen Becken durchgeführt. Die Aufenthaltszeit in den Becken wird zum Abklingen einer ggf. nach der Ozonung gesteigerten Ökotoxizität genutzt und beträgt:

- Aufenthaltszeit bei Q_t $t = 2 * 4 * 253 \text{ m}^3 / 1.350 \text{ m}^3/\text{h} = 1,5 \text{ Stunden}$
- Aufenthaltszeit bei Q_m $t = 2 * 4 * 253 \text{ m}^3 / 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = 0,75 \text{ Stunden}$

Bei dieser Variante sollten nach Inbetriebnahme die Ökotoxizität des Ablaufs untersucht werden. Sollte sich eine weitergehende Nachbehandlung als notwendig erweisen, ist eine Behandlung gemäß Variante 2 – 4 nachzurüsten.

Nachbehandlung Variante N2: Biologisches Wirbelbett

Die zweite und dritte Kammer ($2 \cdot 253 \text{ m}^3$) hinter dem Kontaktreaktor jeder Straße wird als Nachreaktions- und Ausgasungsbecken genutzt. In die vierte Kammer (253 m^3) wird ein biologisches Wirbelbett mit PP-Schwebekörper installiert. Der Zu- und Ablauf zur Beckenkammer wird mit einem Lochblech zum Rückhalt der Schwebekörper versehen. Die Umwälzung des Wirbelbetts erfolgt mit für diesen Einsatzzweck ausgelegten langsam laufenden Rührwerken, um eine scherkraftarme und biofilmschonende Durchmischung zu gewährleisten. Es wird eine spezifische Rührwerksenergie von 3 W/m^3 angesetzt. Als Mindestaufenthaltszeit werden analog zur Ozonanlage Duisburg Vierlinden 10 Minuten angesetzt. Aus dem vorhandenen Beckenvolumen von $2 \cdot 253 \text{ m}^3$ ergeben sich folgende Aufenthaltszeiten:

- Aufenthaltszeit bei Q_t $t = 2 \cdot 253 \text{ m}^3 / 1.350 \text{ m}^3/\text{h} = 0,37 \text{ Stunden (22 min.)}$
- Aufenthaltszeit bei Q_m $t = 2 \cdot 253 \text{ m}^3 / 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = 0,19 \text{ Stunden (11 min.)}$

Nachbehandlung Variante N3: Biologisches Festbett

Anstelle eines Wirbelbettes kann in die vierte Kammer die biologische Nachbehandlung mit einem Festbett erfolgen. Der Vorteil eines Festbettes ist, dass für den Betrieb keine zusätzliche Energie benötigt wird. Die Beckenkammer wird mit getauchten PP-Festbettmodulen ausgerüstet, die im Kreuzstrom durchflossen werden. Für den Einbau sind die vorhandenen Deckenöffnungen auf die Modulgröße abzustimmen. Die Erfahrungen mit der biologischen Nachbehandlung in Duisburg Vierlinden zeigen, dass bei vergleichbaren Randbedingungen grundsätzlich nur mit sehr geringem Biofilmwachstum zu rechnen ist und somit die Gefahr des Zuwachsens gering ist.

Nachbehandlung Variante N4: biologische Nachbehandlung mit Überschussschlamm

Die zweite Beckenkammer wird wie bei den anderen Varianten als Nachreaktions- und Ausgasungsbecken genutzt. In der dritten Kammer wird dem ozonierten Abwasser Belebtschlamm zugegeben und der, um eine effektive Nachbehandlung der biologisch abbaubaren Transformationsprodukte zu erreichen. Als Volumen zur biologischen Nachbehandlung wird die dritte und vierte Kammer genutzt. Die fünfte Kammer wird für die Feststoffabscheidung ausgerüstet.

Zur Umsetzung dieser Variante muss der aus der biologischen Stufe abgezogene Überschussschlamm ggf. unter Einbeziehung eines Zwischenspeichers durch eine neue Leitung zum Nachbehandlungsbecken gepumpt werden. Der Abzweig der neuen Leitung kann von der vorhandenen Schlammleitung im Bereich der Zwischenhebwerks erfolgen.

Aufgrund der sehr geringen Nähr- und Kohlenstoffgehalte ist nur eine geringe TS-Konzentration erforderlich. Angenommen wird, dass der in der biologischen Stufe anfallende Überschussschlamm von ca. 2.500 kgTS/d eingemischt wird. Es ergeben sich folgende TS-Gehalte:

- Trockensubstanzgehalt bei Q_t $= 2.500 \text{ kg/d} / 24 \text{ h/d} / 1.350 \text{ m}^3/\text{h} = 0,077 \text{ kg/m}^3$
- Trockensubstanzgehalt bei Q_m $= 2.500 \text{ kg/d} / 24 \text{ h/d} / 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = 0,039 \text{ kg/m}^3$

Unter Annahme eines BSB_5 von 5 mg/L im Ablauf ergibt sich bei Trockenwetter eine max. Schlammbelastung von:

- $B_{\text{TS}} = 0,005 \text{ kgBSB}_5/\text{m}^3 \cdot 1.350 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/d} / (0,077 \text{ kgTS}/\text{m}^3 \cdot 4 \cdot 253 \text{ m}^3) = 2,1 \text{ kgBSB}_5/(\text{kgTS} \cdot \text{d})$

Um den Schlamm in Schwebelage zu halten, wird in Beckenkammer drei und vier je ein Rührwerk installiert. Aufgrund des sauerstoffgesättigten Wassers und den geringen TS-Konzentration wird keine zusätzliche Belüftung vorgesehen. Die Trennung des Schlammes vom Abwasser erfolgt anschließend in der fünften Beckenkammer. Zur Erhöhung der Klärleistung werden Lamellenklärer (Lamellenabstand 8 cm) mit

einer spezifischen Oberfläche von $6 \text{ m}^2/\text{m}^3$ eingebaut. Die klärtechnisch wirksame Oberfläche beträgt bei 150 m^3 Lamellenklärervolumen je Straße insgesamt 1.800 m^2 ($6 \text{ m}^2/\text{m}^3 \cdot 2 \cdot 150 \text{ m}^3$). Die maximale Flächenbeschickung beträgt:

- $q_A = 2.700 \text{ m}^3/\text{h} / 1.800 \text{ m}^2 = 1,5 \text{ m/h}$

Die Schlammräumung erfolgt vom Beckenboden mit einem Saugräumer. Über eine neue Leitung wird der Schlamm der maschinellen Überschussschlammendückung zugefügt.

Im Vergleich zu den Variante 1 bis 3 der Nachbehandlung ist diese Variante mit einem höheren bau-, maschinentechnischen und betrieblichen Aufwand verbunden. Die umfangreiche Anlagentechnik und der Umstand, dass eine regelmäßige Außerbetriebnahme einzelner Straßen dieses Nachbehandlungsverfahrens zu vermeiden ist, ist mit einem vergleichsweise hohen Energiebedarf verbunden. Im Gegenzug wird von der eingesetzten aktiven Biomasse aber eine hohe Leistung erwartet. Aufgrund des verfügbaren Volumens zur Nachbehandlung wird jedoch erwartet, dass diese Leistung der Nachbehandlung nicht erforderlich ist. Im Rahmen der Energie- und Kostenbetrachtung wird diese Variante daher nicht weiter untersucht. Sollte sich, z. B. im Rahmen einer Untersuchung des Ablaufs der Ozonanlage in Variante 1 wiedererwarten die Notwendigkeit einer leistungsfähigen Nachbehandlung herausstellen, kann die Variante ggf. detailliert betrachtet werden.

4.5 Energiebedarf der Spurenstoffelimination

Der wesentliche Energiebedarf der Spurenstoffelimination ergibt sich aus dem Zulaufpumpwerk zur Ozonanlage, der Ozonerzeugung, dem Ozoneintrag mittels Pumpe-Injektor-System und sonstigen Nebenaggregaten. In Tabelle 4-2 ist der Energiebedarf für die Behandlung der Jahresschmutzwasser- und der Jahresabwassermenge dargestellt.

Tabelle 4-2: Energiebedarf der Ozonanlage

Verbraucher	spez. Energiebedarf	Ozonproduktion	Energiebedarf für JAM (Qm)	JSM/JAM	Energiebedarf für JSM (Qt)	
						Einheit
Ozonerzeuger	2	9	27.000	243.000	0,85	207.000
		Leistungsaufnahme/	Laufzeit/			
		Einheit	Einheit			
		kWh/h	h/a			
Zulaufpumpwerk			8.760	67.135	0,85	57.189
Interner Kühlwasserkreislauf	2	0,8	5.520	8.832		8.832
Restozonvernichter	2	1	5.520	11.040		11.040
Treibdruckpumpe Injektor	2	5,5	5.520	60.720		60.720
Sonstiges (Messtechnik etc.)	2	1	8.760	17.520		17.520
Summe				408.247		362.301
Nachbehandlung Variante N2	2	0,759	5.520	8.379		8.379
Summe mit Nachbehandlung V N2				416.627		370.681

Der Energiebedarf zu Ozonerzeugung ist im Wesentlichen abhängig von der Ozondosis, angesetzt wurden 5 mg/L , und der behandelten Wassermenge. Als spez. Energiebedarf wurde für die Ozonproduktion 9 kWh/kgO_3 angenommen.

Bei einer Behandlung der Jahresschmutzwassermenge reduziert sich der Energiebedarf analog zum Verhältnis $\text{JSM/JAM} = 0,85$ auf 57.189 kWh/a .

Der Energiebedarf für das Zulaufpumpwerk zur Ozonanlage wurde mit folgenden Annahmen auf Basis der Jahresabwassermenge abgeschätzt:

$$Q_{\text{zu,mittel}} = 171 \text{ L/s}$$

$$h_{\text{ges}} = 3,2 \text{ m}$$

$$\eta_{\text{ges}} = 0,70$$

$$W_{\text{el}} = 171 * 3,2 / (102*0,70)*24*365 = 67.135 \text{ kWh/a}$$

Bei einer Behandlung der Jahresschmutzwassermenge reduziert sich der Energiebedarf des Zulaufpumpwerks auf 57.189 kWh/a.

Aufgrund des über den Tages- und Wochenverlauf schwankenden Zuflusses zur Ozonanlage ist der dauerhafte Betrieb von beiden Ozonerzeugern und Pumpe-Injektor-Systemen nicht erforderlich. Um einen energieeffizienten Betrieb der Ozonanlage zu gewährleisten, ist es zweckmäßig bei geringer hydraulischer und stofflicher Belastung nur einen Ozonerzeuger und ein Ozoneintragungssystem zu betreiben. In der Energiebilanzierung wurde angenommen, dass jeder Ozonerzeuger und jedes Eintragungssystem 5.520 Stunden bzw. insgesamt 230 Tage pro Jahr betrieben wird.

Des Weiteren wird für die Nachbehandlungsvariante mit biologischem Wirbelbett Strom für den Betrieb des Umwälzrührwerks benötigt. Für die Umwälzung wurde ein spez. Energieeintrag von 3 W/m³ und ein genutztes Beckenvolumen von 2 * 253 m³ angesetzt.

Fazit

Insgesamt kann auf der Kläranlage Duisburg Hochfeld der zusätzliche Energiebedarf für die Spurenstoffelimination, je nach Behandlungswassermenge zwischen 362.000 und 408.000 kWh/a durch eine Verfahrensumstellung der Belebung und Integration einer Vorklärung gedeckt werden. Im Bereich der Belebungsbecken ist eine Reduzierung des Energiebedarf von über 1.600.000 kWh/a möglich (vgl. Tabelle 3-12).

4.6 Kosten der Spurenstoffelimination

Die Jahreskosten wurden analog zu Kapitel 3.6.1 gemäß dynamischer Kostenvergleichsrechnung [20] ermittelt. Es wurden folgende Nutzungszeiträume für die Investitionen angesetzt:

- Bautechnik 30 Jahre
- Maschinenteknik 15 Jahre
- EMSR-Technik 10 Jahre
- Zinssatz 3 % p. a.

Ferner wurde angenommen, dass die realen Reinvestitionskosten den Erstinvestitionen entsprechen. Die Annuitäten wurden als Produkt aus Investitionskosten und Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR) berechnet. Alle Kosten wurden, sofern nicht anders ausgewiesen als Nettokosten angegeben. Die Kosten sind ohne Berücksichtigung einer möglichen Förderung oder einer Kostensenkungen durch eine Verringerung der Abwasserabgabe angegeben.

Für die Ozongeneratoren und dem Pumpe-Injektor-System inkl. erforderlicher MSR-Technik wurde ein Richtpreisangebot eingeholt. Die übrigen Investitionskosten wurden unter Berücksichtigung aktueller Submissionsergebnisse geschätzt.

Maßgeblicher Kostenblock der laufenden Kosten sind die Stromkosten, die zu ca. 60 % durch die Ozonerzeugung hervorgerufen werden. Die Kosten der Reinsauerstoffversorgung zur Ozonerzeugung wurden im Vergleich zu den bisherigen Kosten von 0,09 €/Nm³ O₂ für den Betrieb der Reinsauerstoffbegasung höher angesetzt, da zukünftig die Abnahmemengen der Kläranlage sinken wird.

Für die Kostenabschätzung wurden folgende Annahmen getroffen:

- mittlere Ozon-Dosis 5 mg O₃/L
- Kosten für Reinsauerstoff 0,12 €/Nm³ O₂
- Stromkosten 0,15 €/kWh
- Instandhaltungskosten 1,25 % p. a. der Investitionskosten
- Personalkosten 500 h/a und 40 €/h

Für die Optimierung der Nachklärung wurden ausschließlich die Investitionskosten berücksichtigt. In den nachfolgenden Kostentabellen sind diese getrennt ausgewiesen.

Eine detaillierte Auflistung der Investitionskosten für die Ozonanlage und Optimierung der Nachklärung ist Anlage 4 zu entnehmen.

Kosten: Ozonanlage mit Nachbehandlung Variante N1: Nachreaktionsbecken (Q_m und Q_t)

In Tabelle 4-3 sind die Investitions- und laufende Kosten sowie die resultierenden Jahreskosten für die Ozonanlage und Nachbehandlung durch Nutzung des vorhandenen Beckenvolumens als Nachreaktionsbecken (Variante N1) tabellarisch aufgeführt. Zudem sind die Investitionskosten für die Optimierung der Nachklärung aufgeführt. Die Kosten für die Nachklärbeckenoptimierung sind für alle nachfolgenden Varianten gleich.

Als Standardvariante wurde eine Auslegung des Beschickungspumpwerks der Ozonanlage auf Q_m und eine Abschätzung der Betriebsmittelkosten (Strom und Sauerstoff) auf Basis der Jahresabwassermenge (JAM) vorgenommen. Die Investitionskosten für die Ozonerzeuger, Pumpe-Injektor-System, Restozonvernichter und Peripherie betragen ca. 610.000 €. Für die Zu- und Ablaufrohrlösungen der Ozonanlage wurden 435.000 € angesetzt. Für den Einbau eines variablen Mittelbauwerks in die Nachklärbecken wurden 705.000 € angenommen.

Tabelle 4-3: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m und Q_t), Nachbehandlung (Variante N1)

Nachklärung, Ozonanlage (Q_m), Nachbehandlung (Variante N1)						
Investitionskosten		Nutzungsdauer n		Zins-	KFAKR	Jahreskosten
				satz i	(i;n)	
		Jahre				
Nachklärung	1.246.000 €					
Bautechnik und Nebenkosten	335.000 €	BT	30	3,0%	0,051019	17.091 €
Maschinentechnik	869.000 €	MT	15	3,0%	0,083767	72.793 €
EMSR-Technik	42.000 €	ET	10	3,0%	0,117231	4.924 €
Ozonanlage	2.473.000 €					
Bautechnik und Nebenkosten	1.263.000 €	BT	30	3,0%	0,051019	64.437 €
Maschinentechnik	940.000 €	MT	15	3,0%	0,083767	78.741 €
EMSR-Technik	270.000 €	ET	10	3,0%	0,117231	31.652 €
Summe	3.719.000 €					269.638 €
laufende Kosten Ozonanlage		Kennwerte	spez. Kosten			Jahreskosten
Instandhaltung Ozonanlage (1,25% p. a. von Invest)		2.473.000 €	1,25 % p. a.			30.913 €
Energiebedarf		408.247 kWh/a	0,15 €/kWh			61.237 €
Sauerstoffbedarf		188.737 Nm ³ /a	0,12 €/Nm ³			22.648 €
Personalkosten		500 h/a	40 €/h			20.000 €
Summe						134.798 €
Jahreskosten						404.436 €
bezogen auf Jahresschmutzwassermenge		4.600.000 m ³ /a	0,088 €/m ³			
bezogen auf Jahresabwassermenge		5.400.000 m ³ /a	0,075 €/m ³			
bezogen auf EW_CSB-Mittelwert		75.970 EW	5,32 €/(EW*a)			

Nachklärung, Ozonanlage (Q_t), Nachbehandlung (Variante N1)						
Investitionskosten		Nutzungsdauer n		Zins-	KFAKR	Jahreskosten
				satz i	(i;n)	
		Jahre				
Nachklärung	1.246.000 €					94.808 €
Bautechnik und Nebenkosten	335.000 €	BT	30	3,0%	0,051019	17.091 €
Maschinentechnik	869.000 €	MT	15	3,0%	0,083767	72.793 €
EMSR-Technik	42.000 €	ET	10	3,0%	0,117231	4.924 €
Ozonanlage	2.383.000 €					
Bautechnik und Nebenkosten	1.243.000 €	BT	30	3,0%	0,051019	63.417 €
Maschinentechnik	870.000 €	MT	15	3,0%	0,083767	72.877 €
EMSR-Technik	270.000 €	ET	10	3,0%	0,117231	31.652 €
Summe	3.629.000 €					262.754 €
laufende Kosten Ozonanlage		Kennwerte	spez. Kosten			Jahreskosten
Instandhaltung Ozonanlage (1,25% p. a. von Invest)		2.383.000 €	1,25 % p. a.			29.788 €
Energiebedarf		362.301 kWh/a	0,15 €/kWh			54.345 €
Sauerstoffbedarf (JAM/JSAM = 0,851)		160.615 Nm ³ /a	0,12 €/Nm ³			19.274 €
Personalkosten		500 h/a	40 €/h			20.000 €
Summe						123.406 €
Jahreskosten						386.161 €
bezogen auf Jahresschmutzwassermenge		4.600.000 m ³ /a	0,084 €/m ³			
bezogen auf Jahresabwassermenge		5.400.000 m ³ /a	0,072 €/m ³			
bezogen auf EW_CSB-Mittelwert		75.970 EW	5,08 €/(EW*a)			

Durch eine Auslegung der Ozonanlage auf Q_t verringern sich die Investitionskosten für das Beschickungspumpwerk um ca. 90.000 € und die Kapitalkosten um 7.000 €/a. Die maximale Ozonerzeugungskapazität ist unverändert, sodass sich bei der Ozonerzeugung und dem Eintragungssystem keine Einsparungen einstellen.

Durch eine Senkung der jährlichen Behandlungswassermenge auf die derzeitige Jahresschmutzwassermenge (JSM) ergibt sich eine Kostenreduzierung bei den laufenden Kosten von ca. 11.000 €/a.

Insgesamt sind bei einer Behandlung der Jahresabwassermenge gegenüber der Jahresschmutzwassermenge jährliche Mehrkosten in Höhe von ca. 18.000 €/a zu erwarten. Diese Kostendifferenz gilt auch für die nachfolgenden Varianten der Nachbehandlung, sodass auf eine erneute Darstellung verzichtet wird.

Kosten: Ozonanlage mit Nachbehandlung Variante N2: biologisches Wirbelbett (Q_m)

Die Investitionskosten für die biologische Nachbehandlung mittels Wirbelbett inkl. Rührwerksumwälzung wurden mit 80.000 € angesetzt. Die übrigen Investitionskosten entsprechend der Ozonanlage mit Nachbehandlungsvariante N1. Gegenüber der Variante „Nachreaktionsbecken“ erhöhen sich die laufenden Kosten durch zusätzliche Instandhaltungskosten und erhöhtem Strombedarf für die Umwälzung des Wirbelbetts.

Tabelle 4-4: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m), Nachbehandlung (Variante N2)

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Nachklärung 1.246.000 €				94.808 €
Ozonanlage 2.553.000 €				
Bautechnik und Nebenkosten 1.263.000 €	BT 30	3,0%	0,051019	64.437 €
Maschinentechnik 1.020.000 €	MT 15	3,0%	0,083767	85.442 €
EMSR-Technik 270.000 €	ET 10	3,0%	0,117231	31.652 €
Summe 3.799.000 €				276.340 €
laufende Kosten Ozonanlage	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
Instandhaltung Ozonanlage (1,25% p. a. von Invest)	2.553.000 €	1,25 % p. a.	31.913 €	
Energiebedarf	416.627 kWh/a	0,15 €/kWh	62.494 €	
Sauerstoffbedarf	188.737 Nm ³ /a	0,12 €/Nm ³	22.648 €	
Personalkosten	500 h/a	40 €/h	20.000 €	
Summe			137.055 €	
Jahreskosten			413.395 €	
bezogen auf Jahresschmutzwassermenge	4.600.000 m ³ /a	0,090 €/m ³		
bezogen auf Jahresabwassermenge	5.400.000 m ³ /a	0,077 €/m ³		
bezogen auf EW_CSB-Mittelwert	75.970 EW	5,44 €/(EW*a)		

Kosten: Ozonanlage mit Nachbehandlung Variante N3: biologisches Festbettbett (Q_m)

Durch den Einbau eines biologischen Festbetts verringern sich geringfügig die Investitionskosten gegenüber der Variante N2 mit einem biologischen Wirbelbett, da keine Umwälzrührwerke erforderlich sind. Zudem wird keine zusätzliche Energie zum Betrieb von Rührwerken benötigt.

Tabelle 4-5: Nachklärung, Ozonanlage (Q_m), Nachbehandlung (Variante N3)

Investitionskosten	Nutzungsdauer n	Zinssatz i	KFAKR (i;n)	Jahreskosten
	Jahre			
Nachklärung 1.246.000 €				94.808 €
Ozonanlage 2.533.000 €				
Bautechnik und Nebenkosten 1.263.000 €	BT 30	3,0%	0,051019	64.437 €
Maschinentechnik 1.000.000 €	MT 15	3,0%	0,083767	83.767 €
EMSR-Technik 270.000 €	ET 10	3,0%	0,117231	31.652 €
Summe 3.779.000 €				274.664 €
laufende Kosten Ozonanlage	Kennwerte	spez. Kosten	Jahreskosten	
Instandhaltung Ozonanlage (1,25% p. a. von Invest)	2.533.000 €	1,25 % p. a.	31.663 €	
Energiebedarf	408.247 kWh/a	0,15 €/kWh	61.237 €	
Sauerstoffbedarf	188.737 Nm ³ /a	0,12 €/Nm ³	22.648 €	
Personalkosten	500 h/a	40 €/h	20.000 €	
Summe			135.548 €	
Jahreskosten			410.212 €	
bezogen auf Jahresschmutzwassermenge	4.600.000 m ³ /a	0,089 €/m ³		
bezogen auf Jahresabwassermenge	5.400.000 m ³ /a	0,076 €/m ³		
bezogen auf EW_CSB-Mittelwert	75.970 EW	5,40 €/(EW*a)		

5 Zusammenfassung und Verfahrensempfehlung

5.1 Gegenüberstellung der Kosten der Varianten zur Umstellung der Belebungs- und Integration der Vorklärung

In der nachfolgenden Tabelle 5-1 sind die Kosten für die einzelnen im Vorfeld beschriebenen Varianten zur Verfahrensumstellung der Belebungs nach Integration einer Vorklärung gegenübergestellt. Dabei wurden keine Fördermittel für den Anlagenumbau/-erweiterung und Reduzierungen aus der Abwasserabgabe berücksichtigt.

Die niedrigsten Kapitalkosten weist die Variante 2a auf, da bei dieser Variante der bisherige Wasserweg weitestgehend unverändert bleibt. Im Vergleich zum IST-Zustand ist die deutlichste Reduzierung der laufenden Kosten (-432.863 €/a) mit einer intermittierenden Denitrifikation in den druckluftbegasteten Belebungsbecken (Variante 1b) zu erwarten. Die Variante 1b weist gegenüber dem IST-Zustand mit 229.852 €/a die höchste Reduzierung der Jahreskosten aller Varianten auf.

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der Investitions- und Kapitalkosten und Reduzierung der laufenden Kosten sowie die Jahreskostenreduzierung im Vergleich zum Ist-Zustand

Variante Vorklärung und Umstellung Belebungs	V 1a Intermittierende Denitrifikation mit Druckluftbegasung in beiden Beckengruppen		V 1b Intermittierende Denitrifikation in der druckluftbegasteten Belebungs (+0,60 m)		V 2a Vorgeschaltete Denitrifikation in einem Becken der sauerstoffbegasteten Belebungs		V 2b Vorgeschaltete Denitrifikation und Nitrifikation in der druckluftbegasteten Belebungs (+0,60 m)	
Investitionskosten (netto)	2.870.500 €	116%	2.736.500 €	111%	2.475.500 €	100%	2.889.500 €	117%
Kapitalkosten	219.639 €	117%	203.011 €	108%	188.516 €	100%	214.681 €	114%
Reduzierung laufende Kosten	-415.572 €	106%	-432.863 €	110%	-393.418 €	100%	-421.951 €	107%
Jahreskostenreduzierung (netto)	-195.933 €	100%	-229.852 €	117%	-204.901 €	105%	-207.270 €	106%

Die Investitions- und Kapitalkosten können durch eine Förderung der Maßnahme weiter gesenkt werden. Zurzeit fördert das MKULNV NRW die Erstausrüstung von Kläranlagen mit einem BHKW mit bis zu 30 % der Kosten. Bei Investitionskosten für ein BHKW in Höhe von 452.500 € ist eine Förderung in Höhe von 135.750 € möglich.

5.2 Gegenüberstellung der Kosten der Varianten einer Ozonanlage

In Tabelle 5-2 sind die Kosten der erforderlichen Optimierung der Nachklärung und die der Varianten zur Integration einer Ozonanlage in den Klärprozess der Kläranlage Duisburg Hochfeld gegenübergestellt. Die Auslegung der Ozonanlage auf den maximalen Trockenwetterabfluss führt aufgrund eines kleineren Zulaufpumpwerks zur Ozonanlage zu den niedrigsten Kapitalkosten. Die höchsten Kapitalkosten weist die Variante N2 mit einer biologischen Nachbehandlung im Wirbelbett auf. Die Unterschiede bei den Kapitalkosten hinsichtlich einer Auslegung auf Q_t oder Q_m sowie den drei betrachteten Nachbehandlungsverfahren sind jedoch gering.

Die laufenden Kosten werden im Wesentlichen durch die Energiekosten für die Ozonerzeugung beeinflusst. Dadurch verringern sich bei einer Auslegung auf Q_t und der Annahme, dass nur die Jahres-

schmutzwassermenge behandelt wird, die laufenden Kosten um ca. 11.000 €/a gegenüber der Behandlung der Jahresabwassermenge. Die Wahl der biologischen Nachbehandlung hat für die Kläranlage Duisburg Hochfeld nur untergeordneten Einfluss auf die laufenden Kosten.

Die Jahreskosten setzen sich ca. zu 2/3 aus Kapital- und zu 1/3 aus den laufenden Kosten zusammen. Die niedrigsten Jahreskosten ergeben sich bei einer Auslegung der Ozonanlage auf Q_t und Behandlung der Jahresschmutzwassermenge. Bezogen auf die behandelte Wassermenge sind die spezifischen Behandlungskosten bei einer Auslegung auf Q_t mit 0,084 €/m³ jedoch am höchsten.

Tabelle 5-2: Gegenüberstellung der Investitions- und Kapitalkosten und der laufenden Kosten sowie die Jahreskostenreduzierung für die Spurenstoffelimination

Varianten der Behandlungswassermenge und Nachbehandlung	Nachklärung, Ozonanlage (Qm), Nachbehandlung (Variante N1)		Nachklärung, Ozonanlage (Qt), Nachbehandlung (Variante N1)		Nachklärung, Ozonanlage (Qm), Nachbehandlung (Variante N2)		Nachklärung, Ozonanlage (Qm), Nachbehandlung (Variante N3)	
	€	%	€	%	€	%	€	%
Investitionskosten (netto)	3.719.000 €	102%	3.629.000 €	100%	3.799.000 €	105%	3.779.000 €	104%
Kapitalkosten	269.638 €	67%	262.754 €	68%	276.340 €	67%	274.664 €	67%
mit 70 % Förderung der Erst-Investition	136.820 €		133.150 €		140.664 €		139.703 €	
laufende Kosten	134.798 €	33%	123.406 €	32%	137.055 €	33%	135.548 €	33%
Jahreskosten (netto)	404.436 €	105%	386.161 €	100%	413.395 €	107%	410.212 €	106%
mit 70 % Förderung der Erst-Investition	271.618 €		256.556 €		277.719 €		275.251 €	
Spezifische Jahreskosten (JAM) 5.400.000	0,075 €/m ³		0,072 €/m ³		0,077 €/m ³		0,076 €/m ³	
mit 70 % Förderung der Erst-Investition	0,050 €/m ³		0,048 €/m ³		0,051 €/m ³		0,051 €/m ³	
Spezifische Jahreskosten (JSM) 4.600.000	0,088 €/m ³		0,084 €/m ³		0,090 €/m ³		0,089 €/m ³	
mit 70 % Förderung der Erst-Investition	0,059 €/m ³		0,056 €/m ³		0,060 €/m ³		0,060 €/m ³	

Bei der Ermittlung der spezifischen Kosten wurde zum einen als Bezugsgröße die zu behandelnde Jahresabwassermenge in Höhe von ca. 5,4 Mio. m³/a und zum anderen die Jahresschmutzwassermenge in Höhe von 4,6 Mio. m³/a angesetzt, die einen Rückschluss auf eine Anpassung der Abwassergebühren und einen Vergleich mit anderen Anlagen ermöglicht.

Es ergeben sich für die Varianten Kosten für die zusätzliche Verfahrensstufe in Höhe von 0,072 bis 0,077 € je m³ bezogen auf die Jahresabwassermenge bzw. 0,084 bis 0,090 € je m³ bezogen auf die Jahresschmutzwassermenge.

Zum Vergleich sind in Abbildung 5-1 veröffentlichte Kosten für Anlagen zur Spurenstoffelimination zusammengestellt und daraus abgeleitete Kostenfunktionen für Ozon- und PAK-Anlagen dargestellt [21]. Aus der angegebenen Kostenfunktion ergeben sich für den im Intensivmonitoring ermittelten Wert von 75970 EW spezifische Jahreskosten in Höhe von 0,047 €/m³. Aufgrund der erforderlichen Optimierung der Nachklärung zur Integration einer Ozonanlage liegen die spez. Kosten in dieser Studie über den Wert aus der Kostenfunktion.

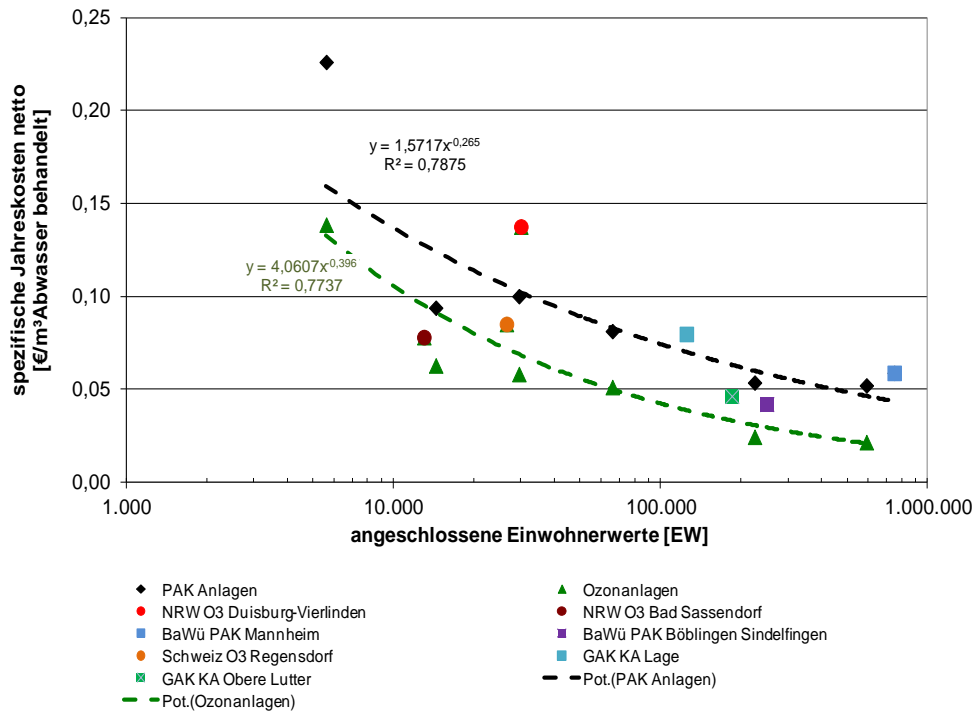


Abbildung 5-1: Spezifische Jahreskosten (Abwasserbezogen) für die PAK-Dosierung (Kostenfunktion in Anlehnung an das Verfahren Steinhäule-Ulm) und Ozonung in Abhängigkeit der angeschlossenen Einwohnerwerte [21]

Durch die finanzielle Förderung der Investitionen des Landes NRW in Höhe von derzeit 70 % der Herstellungskosten für die Erstinvestition können, je nach Umfang der Investitionsmaßnahmen der einzelnen Varianten, die Jahreskosten gegenüber einer alleinigen Kostenübernahme durch den Anlagenbetreiber reduziert werden. Mit Förderung der Investitionskosten liegen die Jahreskosten je nach Variante zwischen 256.556 €/a und 277.719 €/a.

Demgegenüber steht eine Jahreskostenreduzierung aus der Verfahrensumstellung der Belebung und Integration einer Vorklärung je nach Variante zwischen -195.933 €/a bis -229.852 €/a, sodass bei einer ganzheitlichen Betrachtung für die Kläranlage Duisburg Hochfeld die Kosten der Spurenstoffelimination durch weitergehende Maßnahmen im Klärprozess weitestgehend kompensiert werden können.

5.3 Technische Verfahrensempfehlung

Nachfolgend wird getrennt für die Umstellung der Belebung und zur Integration einer Ozonanlage eine Bewertung der Varianten vorgenommen.

Als Grundvoraussetzung unabhängig von den Varianten sind folgende Aspekte zu beachten:

- Die Verfahrensumstellung in der biologischen Stufe und die Nutzung von zwei Beckenstrassen der sauerstoffbegasteten Belebung für die Spurenstoffelimination setzt die Integration einer Vorklärung in den Klärprozess voraus.
- Für die Ozonung des Kläranlagenablauf ist eine möglichst geringe Feststofffracht / organische Hintergrundbelastung und somit eine optimierte Nachklärung erforderlich. Ferner ist für die Um-

nutzung von Belebungsbeckenvolumen zur Spurenstoffelimination eine Optimierung der Nachklärung angebracht.

- Zur Reduzierung der laufenden Kosten wird eine Abkehr der Reinsauerstoffbegasung zur biologischen Abwasserbehandlung vorgesehen.
- Die konkurrierende Zielsetzung der Spurenstoffelimination einerseits und die Verringerung des Energiebedarfs der Abwasserbehandlung andererseits werden durch eine ganzheitliche Betrachtung berücksichtigt.
- Für eine verbesserte Energieeigenversorgung und Deckung des Energiebedarfs der Ozonanlage wurde eine Erhöhung der Faulgasmenge durch energiereichen Primärschlamm und Nutzung des Faulgases in einem BHKW angenommen.

Umstellung der Belebung

Auf Basis der Kostenschätzung sowie betrieblicher und baulicher Aspekte wurden die unterschiedlichen Varianten zur Umstellung der Belebung der Kläranlage Duisburg Hochfeld in Tabelle 5-3 bewertet. Von großer Bedeutung sind die Kapitalkosten und die laufenden Kosten, die insgesamt zu 70 % gewichtet wurden und die betrieblich/baulichen Aspekte, die mit 30 % gewichtet wurden.

Hinsichtlich der Kosten wurde die erzielbare Senkung der laufenden Kosten deutlich stärker gewertet als die Kapitalkosten, da diese insbesondere durch die Energiekosten beeinflusst werden und eine weitere Steigerung der Energiekosten wahrscheinlich ist.

Die niedrigsten Kapitalkosten bzw. die höchste Senkung der laufenden Kosten gegenüber dem IST-Zustand wurde jeweils mit 15 Punkten bewertet. Die Kosten zwischen dem niedrigsten und höchsten Betrag wurden punktmäßig linear bewertet.

Die betrieblichen und baulichen Aspekte der Varianten wurden wie folgt bewertet:

- Nutzung des vorhandenen Beckenvolumens im Standardbetrieb und erforderlicher Trockensubstanzgehalt in der Belebung
- späte insgesamt verfügbares Beckenvolumen und Anpassungsmöglichkeit an unterschiedliche Betriebszustände
- Betriebs- und Wartungsaufwand für die im Standardbetrieb genutzte Becken und Maschinenteknik, wie zusätzliche Gebläse, Rührwerke, Rezirkulationspumpen und Anzahl der Betriebspunkte
- Umsetzung der Verfahrensumstellung im laufenden Betrieb

Für die Bewertung wurden ebenfalls Punkte vergeben und eine qualitative Bewertung in die Tabelle aufgeführt. Die maximale Punktzahl je Kategorie beträgt 15 Punkte. Aus technischer Sicht ist das im Standardbetrieb nutzbare Beckenvolumen und der Betriebs- und Wartungsaufwand besonders bedeutend. Diese Kategorien wurden mit 10 % gewichtet. Die anderen Kategorien wurden jeweils mit 5 % gewichtet.

In Tabelle 5-3 sind die Varianten zur Umstellung der Belebung relativ zueinander bewertet. Je höher die Punktzahl, desto „besser“ ist die Bewertung der Variante.

Tabelle 5-3: Bewertung der Variante zur Verfahrensumstellung der Belebung

Variante	Wichtung [%]	V 1a Intermittierende Denitrifikation mit Druckluftbegasung in beiden Beckengruppen		V 1b Intermittierende Denitrifikation in der druckluftbegasteten Belebung (+0,60 m)		V 2a Vorgeschaltete Denitrifikation in einem Becken der sauerstoffbegasteten Belebung		V 2b Vorgeschaltete Denitrifikation und Nitrifikation in der druckluftbegasteten Belebung (+0,60 m)					
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung				
Investitionskosten		2.870.500 €		2.736.500 €		2.475.500 €		2.889.500 €					
Kapitalkosten	20%	219.639 €	12,9	2,6	203.011 €	13,9	2,8	188.516 €	15,0	3,0	214.681 €	13,2	2,6
Senkung der laufenden Kosten	50%	-415.572 €	14,4	7,2	-432.863 €	15,0	7,5	-393.418 €	13,6	6,8	-421.951 €	14,6	7,3
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	70%	9,8		10,3		9,8		9,9					
Nutzung vorh. Beckenvolumen im Standardbetrieb (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 Pkt))	10%	sehr gut	15,0	1,5	befriedigend	5,0	0,5	sehr gut	15,0	1,5	gut	10,0	1,0
Beckenvolumen insgesamt und Anpassung an Betriebszustände (Schulnoten 1 (15 PKT) bis 3 (5 Pkt))	5%	gut	10,0	0,5	sehr gut	15,0	0,8	gut	10,0	0,5	sehr gut	15,0	0,8
Betriebs- und Wartungsaufwand/ Betriebspunkte (sehr gering (15 Pkt) bis mittel (5 Pkt))	10%	mittel	5,0	0,5	sehr gering	15,0	1,5	mittel	5,0	0,5	gering	10,0	1,0
Umsetzung der Verfahrensumstellung (sehr einfach (15 Pkt) bis komplex (5 Pkt))	5%	einfach	10,0	0,5	komplex	5,0	0,3	sehr einfach	15,0	0,8	komplex	5,0	0,3
Wertungspunkte Technik (gerundet)	30%	3,0		3,0		3,3		3,0					
Gesamtpunkte (gerundet)	100%	12,8		13,3		13,1		12,9					

Aus monetärer Sicht ist die **Variante 1b** - intermittierender Denitrifikation in der druckluftbegasteten Belebung und Anhebung des Wasserstands um 0,60 m - die vorteilhafteste. Aus technischer Sicht ist hervorzuheben, dass durch die zusätzliche Reserve durch die nicht mehr standardmäßig betriebenen sauerstoffbegasteten Belebungsbecken insgesamt das Beckenvolumen höher ist als bei den Varianten 1a und 2a ohne Aufstau des druckluftbegasteten Belebungsbeckens. Das Nutzvolumen im Standardbetrieb ist vergleichsweise gering und wird zurzeit nur mit 5 Punkten bewertet. Durch die Optimierung der Nachklärung und Nachweis der Separationsleistung mittels CFD-Simulation kann ggf. der erreichbare Trockensubstanzgehalt in der Belebung noch deutlich gesteigert werden, sodass das vorhandene Beckenvolumen ausreichend Reserven im Standardbetrieb aufweist und folglich diese Kategorie später noch höher bewertet werden könnte. Die Umsetzung insbesondere der Anhebung des Wasserspiegels in der Belebung im laufenden Betrieb ist in Variante 1b komplex. Aus technischer Sicht stellt daher Variante 1b nicht die beste Variante dar. Unter Berücksichtigung der monetären und technischen Aspekte wird Variante 1b am höchsten bewertet.

Aus technischer Sicht hat die **Variante 2a** – vorgeschaltete Denitrifikation in einer Straße der sauerstoffbegasteten Belebung und Nitrifikation in der druckluftbegasteten Belebung - die höchste Bewertung erzielt. In dieser Variante wird insbesondere das relativ flache Becken der sauerstoffbegasteten Belebung sehr gut durch die Nutzung als Denitrifikationsbecken in den Klärprozess eingebunden. Die Umsetzung der Variante im laufenden Betrieb ist sehr einfach, da der Wasserweg und die Einstauhöhen nicht verändert werden. Durch die Rezirkulation und Rührwerke entsteht jedoch ein höherer Betriebsaufwand im Vergleich zur intermittierenden Denitrifikation der Varianten 1b. Diese spiegeln sich auch in den laufenden Kosten wider, sodass diese Variante aus monetärer Sicht vergleichsweise niedrig bewertet wurde.

Auf Grundlage der Bewertung können **Variante 1b** oder **Variante 2a** zur Umsetzung empfohlen werden. Eine abschließende Wahl der Variante zur Umsetzung kann durch eine CFD-Simulation der optimierten Nachklärung gestützt werden.

Integration einer Ozonanlage

Aufgrund der örtlichen Rahmenbedingungen auf der Kläranlage Duisburg-Hochfeld wurde sich im Vorfeld der Studie auf eine Ozonung der Kläranlagenablaufs festgelegt und die Behandelbarkeit mit Ozon durch das Spurenstoffscreening und den Ozonzehrungsversuchen (vgl. Kapitel 2) bestätigt. Gründe für die Wahl der Ozonung sind:

- Es ist bereits eine Rein-Sauerstoff-Versorgung vorhanden, die zur Ozonerzeugung genutzt werden kann.
- Ein nicht mehr benötigtes abgedecktes Becken der vorhanden sauerstoffbegasten Belebung bietet günstige Voraussetzung zur Nutzung als Ozonreaktionsbecken.
- Es ist kein Flockungsfilter vorhanden, der für eine Behandlung mit PAK oder GAK genutzt werden könnte.
- Die beengten Platzverhältnisse der Kläranlage erlauben keine flächenbeanspruchenden Neubauten

Aufgrund der geringen Tiefe des für die Ozonung nutzbaren, vorhanden Beckens und der erforderlichen Hebung des Abwasser vor der Ozonung ergab sich ferner eine verfahrenstechnische Festlegung auf einen Ozoneintrag mittels Pumpe-Injektorsystem.

Für die Integration der Spurenstoffelimination ergeben sich Diskussionspunkte im Hinblick auf die Bemessungswassermenge und der erforderliche Nachbehandlung.

Für die Ozonanlage auf der Kläranlage Duisburg Hochfeld steht ausreichend Beckenvolumen für die Behandlung bis zum maximalen Mischwasserzufluss der Kläranlage zur Verfügung. Zusätzliche Kosten entstehen insbesondere durch ein leistungsfähigeres Zulaufpumpwerk. Die Ozonerzeugungskapazität und die damit verbundenen Anlagentechnik zum Ozoneintrag wurden auf den maximalen Trockenwetterzufluss ausgelegt. Bei Mischwetterzufluss verringert sich durch Verdünnung die organische Belastung, sodass sich insgesamt die erforderliche maximale Ozonmenge nicht erhöht. In Anbetracht der geringen Mehrkosten wird eine Auslegung der Ozonanlage (Zulaufpumpwerk) auf den Mischwasserzufluss empfohlen.

Hinsichtlich der Nachbehandlung wurden drei Varianten detailliert betrachtet. Die Wahl und Erfordernis der biologischen Nachbehandlung nach einer Ozonung ist zurzeit noch nicht eindeutig geklärt. In der Praxis zeigte sowohl eine biologische Nachbehandlung im Wirbelbett als auch ein Schönungsteich einen positiven Effekt auf die Ökotoxizität des Ablaufs einer Ozonung [18]. Auf der Kläranlage Hochfeld ist eine vergleichsweise lange Nachreaktionszeit im vorhandenen Beckenvolumen gegeben. Es wird daher empfohlen, das Beckenvolumen als „Nachreaktionsbecken“ zu nutzen und die Ökotoxizität im Ablauf im Rahmen einer Inbetriebnahmephase zu untersuchen und optional eine biologische Nachbehandlung in der Planung und Vergabe zu berücksichtigen.

Köln, den 29.04.2014

Dr.-Ing. Heinrich Herbst

Christian Maus, M.Sc.

Literaturverzeichnis

[1]	Abegglen, C., (2009): „Spurenstoffe eliminieren: Kläranlagentechnik“, In: EAWAG News 67d/Juni 2009, S. 25-27
[2]	ATV-DVWK-A 131 (2000): ATV-DVWK-Arbeitsblatt 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, Hennef
[3]	ATV-DVWK-A 198 (2003): ATV-DVWK-Arbeitsblatt 198, Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen, St. Augustin
[4]	Bahr, C.; Ernst, M.; Jekel, M.; Heinzmann, B.; Luck, F.; Ried, A., (2007): „PILOTOX – Pilotuntersuchungen zur kombinierten oxidativ-biologischen Behandlung von Klärwerksabläufen für die Entfernung von organischen Spuren. Und Wirkstoffen und zur Desinfektion“, Schriftenreihe Kompetenzzentrum Wasser Berlin, 1.2004 ff., Band 5. Hrsg.: B. Weigert.
[5]	Beier, S.; Palmowski, L.; Veltmann, K.; Pinnekamp, J., (2010): Energieverbrauch von Verfahren zur weitestgehenden Abwasserreinigung. DWA-Seminar „Energieoptimierung auf Kläranlagen“ am 1. Juli 2010, Osnabrück
[6]	Bez.-Reg. Düsseldorf (1997): Erlaubnisbescheid Bezirksregierung Düsseldorf, Aktenzeichen 54.16.31 – 115/97 vom 11.12.1997
[7]	Bez.-Reg. Düsseldorf (2013): Erlaubnisbescheid Bezirksregierung Düsseldorf, Aktenzeichen WR-1002001441 vom 04.09.2013
[8]	Fahlenkamp, H.; Nöthe, T.; Nowotny, N.; Launer, M., (2008): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen Phase 3“, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW, Düsseldorf
[9]	Grontmij AEW Plan GmbH (2008): Kläranlage Duisburg-Hochfeld – Intensivmessprogramm 2008, im Auftrag der Wirtschaftsbetriebe Duisburg
[10]	Grontmij AEW Plan GmbH (2009): Kläranlage Duisburg-Hochfeld, Außerbetriebnahme einer Belebungsstraße Genehmigungsentwurf nach § 58 (2) LWG
[11]	Grontmij AEW Plan GmbH (2009): Numerische Simulation der Strömung und des Absetzverhaltens von Belebtschlamm in den Nachklärbecken der Kläranlage Duisburg-Hochfeld
[12]	Grontmij AEW Plan GmbH (2009): Kläranlage Duisburg-Hochfeld – Wirtschaftlichkeitsuntersuchung – Konzept Vorklärung
[13]	Herbst, H.; Ante, S., (2010): „Energiebedarf von Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung“, Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum des 28. Bochumer Workshops, Bd. 61, S. 113-126, Hrsg.: Gesellschaft zur Förderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum e.V., ISSN 0178-0980
[14]	LUA NRW (2004): Merkblatt Nr. 13, Bemessung kommunaler Kläranlagen – Hinweise für die Bemessung von Belebungsanlagen mit dem Programm ARA-BER, 2. überarbeitete Auflage, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen
[15]	PFI (2012): Kläranlage Duisburg Hochfeld, Energetische Feinanalyse, Oktober 2012
[16]	Pinnekamp, J.; Merkel, W., et. al (2008): Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtungen“, Hrsg.: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. MUNLV (2008), Bearbeiter: Tacke;

	Herbst; Köster; Beier; Bergmann, Mälzer
[17]	Schumacher, J., (2006): „Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe“, Dissertation an der Fakultät III – Prozesswissenschaft
[18]	Arge Spurenstoffe NRW (2013): Elimination von Arzneimittlrückständen und organischen Spurenstoffen: Entwicklung und Konzeptionen und innovativen kostengünstigen Reinigungsverfahren, Teilprojekt 6: Elimination von Arzneimittlrückständen in kommunalen Kläranlagen, Abschlussbericht zur Phase 2, Vergabenummer 08-058-/1, gefördert durch MKULNV NRW
[19]	Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Hrsg. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz, Umwelt-Wissen Nr. 1214:
[20]	DWA (2012): Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinie) 8. überarbeitete Auflage, Hrsg. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef, ISBN 978-3-941897-55-7
[21]	Herbst, H. Alt, K., Mertsch, V. (2013): Kosten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen, In: Pinnekamp, J. (Hrsg.) 46. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 13.3 – 15.3.2013, Aachen

Anlage 1 Analytikergebnisse

Anlage 1.1: Ergebnisse des Screenings des Ablaufs der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Anlage 1.2: Ergebnisse des Monitorings des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Anlage 1.1: Ergebnisse des Screenings des Ablaufs der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Industriechemikalien						
4,5-Methyl-Benzotriazol	[ng/L]	10	3.700	3.200		10.000
1H-Benzotriazol	[ng/L]	10	7.600	13.000		10.000
Pestizide						
Diuron	[ng/L]	10	130	200		1.800
Isoproturon	[ng/L]	10	44	46		
Mecoprop-P	[ng/L]	10	< 10	14		
Terbutryn	[ng/L]	10	87	100		65
Arzneimittelwirkstoffe						
Antipyrin/Phenazon	[ng/L]	10	510	600		
Azithromycin	[ng/L]	10	180	440		
Bezafibrat	[ng/L]	10	200	380		100
Bisoprolol	[ng/L]	10	270	350		100
Carbamazepin	[ng/L]	10	1.900	2.000		500
Cefuroxim	[ng/L]	10	95	540		
Ciprofloxacin	[ng/L]	10	54	92		
Citalopram	[ng/L]	10	110	340		
Clarithromycin	[ng/L]	10	160	390		20

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Diclofenac	[ng/L]	10	3.500	3.500		100
Erythromycin als Dehydratoerythromycin	[ng/L]	10	650	1.200		20
Furosemid	[ng/L]	100	7.500	4.900		
Ibuprofen	[ng/L]	20	< 20	< 20		10
Ifosamid	[ng/L]	10	55	51		
Ketoprofen	[ng/L]	10	70	44		
Megastrol	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Metoprolol	[ng/L]	10	2.900	3.200		7.300
N4-Acetyl-Sulfadiazin	[ng/L]	10	< 10	< 10		
N4-Acetyl-Sulfamerazin	[ng/L]	10	480	110		
N4-Acetyl-Sulfamethazin	[ng/L]	10	< 10	< 10		
N4-Acetyl-Sulfamethoxazol	[ng/L]	10	50	< 10		
Norfloxacin	[ng/L]	30	< 30	< 30		
Ofloxacin	[ng/L]	10	19	26		1.800
Oxazepam	[ng/L]	10	550	910		
Paracetamol	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Propyphenazon	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Roxithromycin	[ng/L]	10	470	620		
Simvastatin	[ng/L]	100	< 100	< 100		
Sulfadiazin	[ng/L]	10	37	74		100
Sulfadimethoxin	[ng/L]	10	25	23		10.000

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Sulfamethazin	[ng/L]	10	120	48		
Sulfamethoxazol	[ng/L]	10	270	350		150
Sulfapyridin	[ng/L]	10	77	680		
Tamoxifen	[ng/L]	50	< 50	< 50		
Tramadol	[ng/L]	10	1.100	1.100		
Trimethoprim	[ng/L]	10	210	270		100
Venlafaxin	[ng/L]	10	320	380		
Psychopharmaka						
Benperidol	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Chlorprothixen	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Clozapin	[ng/L]	10	120	88		
Haloperidol	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Melperon	[ng/L]	10	< 10	68		
Olanzapin	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Perazin	[ng/L]	10	< 10	13		
Pipamperon	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Risperidon	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Zuclopenthixol	[ng/L]	10	< 10	30		
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizoesäure	[ng/L]	10	10.500	17.400		100*
Iodixanol	[ng/L]	10	< 10	< 10		100*

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Iohexol	[ng/L]	10	< 10	400		100*
Iomeprol	[ng/L]	10	5.800	6.400		100*
Iopamidol	[ng/L]	10	360	2.200		100*
Iopromid	[ng/L]	10	5.900	4.500		100*
Ioversol	[ng/L]	10	< 10	< 10		100*
Polyfluorierte Verbindungen						
PFBA Perfluoro-n-butanoic acid	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFBS Potassium perfluoro-1-butanesulfonate	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFDA Perfluoro-n-decanoic acid	[ng/L]	10	< 10	25		100
PFHpA Perfluoro-n-heptanoic acid	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFHxA Perfluoro-n-hexanoic acid	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFHxS Sodium perfluoro-1-hexanesulfonate	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFNA Perfluoro-n-nonanoic acid	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFOA Perfluoro-n-octanoic acid	[ng/L]	10	11	12		100
PFOS Sodium perfluoro-1-octanesulfonate	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
PFPeA Perfluoro-n-pentanoic acid	[ng/L]	10	< 10	< 10		100
Basisparameter						
Bromid	[µg/L]	10	150	110		
DOC	[mg/L]	1	9,6	14		
SAK ₂₅₄	[1/m]		17,6	1		
SAK ₄₃₆	[1/m]		17,3	1		

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Moschusduftstoffe						
Cashmeran	[ng/L]	10	82	81		
Phantholid	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Celestolid	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Traseolid	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Galaxolide	[ng/L]	30	780	660		7.000
Tonalid	[ng/L]	30	620	520		3.500
Moschus Ambrette	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Moschus Xylol	[ng/L]	10	< 10	< 10		10.000
Moschus Keton	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Moschus Tibeten	[ng/L]	10	< 10	< 10		
Hormone						
Bisphenol A	[ng/L]	10	110	280		100
17- α Estradiol	[ng/L]	1	< 1	< 1		0,4
Estron	[ng/L]	1	< 1	< 1		
17- β Estradiol	[ng/L]	1	< 1	6,9		0,4
17- α Ethinylestradiol	[ng/L]	1	< 1	< 1		0,035
Phenole						
Diethylhexylphthalat (DEHP)	[μ g/L]	0,1	0,53	0,55		1,3
Octylphenol	[μ g/L]	0,1	< 0,1	< 0,1		0,3
Nonylphenol	[μ g/L]	0,1	< 0,1	< 0,1		0,01

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Komplexbildner						
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	[µg/L]	2	190	70		240
Nitrilotriessigsäure (NTA)	[µg/L]	2	2,9	4,5		80
Lineare Aylsulfonate (LAS)						
C ₁₈ LAS	[µg/L]	10	< 10	< 10		
Süßstoffe						
Acesulfam K	[µg/L]	10**	< 10	< 10		
Schwermetalle						
Quecksilber	[µg/L]	0,02	< 0,02	< 0,02		0,05
Cadmium	[µg/L]	0,01	0,021	< 0,01		0,08 - 0,25
Chrom	[µg/L]	0,1	0,41	0,37		
Nickel	[µg/L]	5	5,4	5,9		20
Blei	[µg/L]	1	< 1,0	< 1,0		7,2
Zink	[µg/L]	4	160	160		
Lithium	[µg/L]	2	7,2	7,9		
Zinn	[µg/L]	0,1	0,14	0,16		3,5
Antimon	[µg/L]	0,1	0,46	0,47		20
Vanadium	[µg/L]	0,1	0,74	0,71		2,4
Selen	[µg/L]	1	< 1,0	< 1,0		2,5
Arsen	[µg/L]	0,1	0,33	0,29		
Kupfer	[µg/L]	2	13	4,1		

Probennummer			M131120/03	M131129/01		
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf		
Probenahmedatum			19.-20.11.2013	28.-29.11.2013		
	Einheit	BG				UQN nach D4-Liste
Mangan	[µg/L]	0,1	0,54	46		
Rb	[µg/L]	5	17	16		
Mo	[µg/L]	5	8,6	< 5		
Be,Sc,Ti,V,Co,Ga,Ge,Y,Zr,Nb,Ru,Rh,Pd,Ag,Cd,In,Te,,Cs,La,Ce,Pr,Nd,Sm,Eu,Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Lu,Hf,Ta,W,Re,Os,Ir,Pt,Au,Tl,Bi,Th,U	[µg/L]	5	< 5	< 5		

* Präventiver Vorsorgewert (Orientierungswert, der auf einer Konvention beruht und fachlich nicht abgeleitet ist)

** Aufgrund von starken Matrixstörungen erneute Messung von Acesulfam K im Rahmen des Monitorings

Anlage 1.2: Ergebnisse des Monitorings des Kläranlagenablaufs der Kläranlage Duisburg-Hochfeld

IUTA-Nummer			M 140217/05	M 140218/05	M 140219/22	M 140220/13	M 140221/21
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf
Probenahmedatum			16.-17.02.2014	17.-18.02.2014	18.-19.02.2014	19.-20.02.2014	20.-21.02.2014
	Einheit	BG					
Industriechemikalien							
4,5-Methyl-Benzotriazol	[ng/L]	10	1.600	2.300	4.000	3.400	5.900
1H-Benzotriazol	[ng/L]	10	3.700	4.800	7.400	6.000	7.200
Pestizide							
Diuron	[ng/L]	10	47	60	41	56	42
Mecoprop-P	[ng/L]	10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Terbutryn	[ng/L]	10	20	21	17	19	21
Arzneimittelwirkstoffe							
Carbamazepin	[ng/L]	10	1.100	1.200	1.300	1.500	1.500
Diclofenac	[ng/L]	10	2.600	2.900	4.000	3.500	3.200
Erythromycin als Dehydratoerythromycin	[ng/L]	10	550	520	430	550	510
Metoprolol	[ng/L]	10	2.400	2.800	3.600	2.800	3.400
Roxithromycin	[ng/L]	10	450	410	330	360	400
Sulfamethoxazol	[ng/L]	10	300	430	350	260	330
Tramadol	[ng/L]	10	770	870	950	990	920
Röntgenkontrastmittel							
Amidotrizoesäure	[ng/L]	10	3.200	4.300	10.000	13.000	13.000
Iohexol	[ng/L]	10	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100

IUTA-Nummer			M 140217/05	M 140218/05	M 140219/22	M 140220/13	M 140221/21
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf
Probenahmedatum			16.-17.02.2014	17.-18.02.2014	18.-19.02.2014	19.-20.02.2014	20.-21.02.2014
	Einheit	BG					
lomeprol	[ng/L]	10	3.500	4.700	9.500	1.400	9.800
lopamidol	[ng/L]	10	3500	4.900	9800	15.000	9400
lopromid	[ng/L]	10	2.000	3.400	5.400	7.500	9.500
loversol	[ng/L]	10	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100
Hormone							
Bisphenol A	[ng/L]	10	170	250	410	220	230
17- α Estradiol	[ng/L]	1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Estron	[ng/L]	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
17- β Estradiol	[ng/L]	1	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
17- α Ethinylestradiol	[ng/L]	1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Süßstoffe							
Acesulfam K	[μ g/L]	0,4	1,8	1,4	0,85	0,62	0,73
Flammschutzmittel							
Triethylphosphat	[μ g/L]	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Tripropylphosphat	[μ g/L]	0,01	0,026	0,028	0,023	0,020	0,020
Tributylphosphat	[μ g/L]	0,01	0,10	0,094	0,090	0,074	0,091
Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP)	[μ g/L]	0,05	0,21	0,28	0,25	0,24	0,23
Tris(2-chlorpropyl)phosphat (TCPP)	[μ g/L]	0,01	1,1	1,9	2,1	2,2	2,0
Tris-Dichlorisopropylphosphat	[μ g/L]	0,1	0,25	0,31	0,27	0,33	0,32
Schwermetalle							
Mangan	[μ g/L]	0,1	0,84	0,56	0,79	0,7	0,97

IUTA-Nummer			M 140217/05	M 140218/05	M 140219/22	M 140220/13	M 140221/21
Probenbezeichnung			KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf	KA-Ablauf
Probenahmedatum			16.-17.02.2014	17.-18.02.2014	18.-19.02.2014	19.-20.02.2014	20.-21.02.2014
	Einheit	BG					
Basisparameter							
Bromid	[µg/L]	10	70	90	100	100	90
DOC	[mg/L]	1	5,4	6,3	8,4	8,3	8,2
SAK ₂₅₄	[1/m]		11,2	13,5	15,7	15,3	16,8
SAK ₄₃₆	[1/m]		1,1	1,3	1,8	1,5	2,8
Wirkungsgezogene Analytik							
A-YES	EEQ [ng/L]	0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16	< 0,16

Anlage 2 Klärtechnische Berechnungen (design2treat®)

Ist-Zustand: ohne Vorklärung, vorgeschaltete Denitrifikation

Variante 1a/b: mit Vorklärung, intermittierende Denitrifikation

Variante 1c: mit Vorklärung, intermittierende Denitrifikation, ohne Bio-P

Variante 1d: mit Vorklärung, intermittierender Denitrifikation, ohne Bio-P
→ entspricht **Variante 2c** mit vorgeschalteter Denitrifikation

Variante 2a/b: mit Vorklärung, vorgeschaltete Denitrifikation

Kläranlage:
 Kommentar:
 nitrifikation, TS_BB 4,17 g/L

Kläranlage Duisburg-Hochfeld
Ist-Zustand: ohne Vorklärung, mit vorgeschalteter De-

ATV A 131, Bemessungsfrachten aus § 58 LWG Antrag

Warnung ! Denitrifikationsvolumen ist kleiner 20 %

*** = vom Anwender eingegeben
 ~~ = entspricht dem Vorgabewert
 n.a. = nicht anwendbar

Zufluss Nr. 1 zur Kläranlage

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Einwohnerwerte	76.133	[E]
Faktor	100,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Trockenwetterzufluß Qt	1.350	[m³/h]
Mischwasserzufluß Qm	2.700	[m³/h]
Tageszufluß Qd	23.000	[m³/d]
Qm / Qt	2,00	[-]

Konzentrationen

BSB5	199	[mg/l]
TS0	224	[mg/l]
NH4-N	25	[mg/l]
N org.	8	[mg/l]
KN	33	[mg/l]
NO3-N	0	[mg/l]
P ges.	6	[mg/l]
C_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0	[mg/l]
S_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_Z	0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0	[mg/l]
S_inert_AN	0	[mg/l]

Frachten

BSB5***	4.568	[kg/d]
TS0***	5.154	[kg/d]
NH4-N***	575	[kg/d]
N org.***	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N***	0	[kg/d]
P ges.***	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z***	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Einwohnerspezifische Werte

BSB5	60,0	[g/(E*d)]
------	------	-----------

TS0	67,7	[g/(E*d)]
NH4-N	7,6	[g/(E*d)]
N org.	2,5	[g/(E*d)]
KN	10,1	[g/(E*d)]
NO3-N	0,0	[g/(E*d)]
P ges.	1,8	[g/(E*d)]
C_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_inert_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_anorg_TS_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_inert_AN	0,0	[g/(E*d)]

Rückbelastungen

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Anteil KN am ÜS = rX	0,50	[-]
KN Rückbelastung aus rX	97,1	[kg/d]
Faktor	0,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Alle Frachten = Null		

Vorbehandlungsstufe

 Art der Vorreinigung keine Vorbehandlungsstufe
Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Rueckbelastungen Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Summe der Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

keine externe Kohlenstoffquelle eingesetzt

Frachten BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	4.568	[kg/d]
TS0	5.154	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]

S_inert_AN	0	[kg/d]
Konzentrationen BB_zu ohne Rückbelastung durch rX		
Qd	23.000,0	[m³/d]
Qt	1.350,0	[m³/h]
Qm	2.700,0	[m³/h]
BSB5	198,6	[mg/l]
TS0	224,1	[mg/l]
NH4-N	25,0	[mg/l]
N org.	8,3	[mg/l]
KN	33,3	[mg/l]
NO3-N	0,0	[mg/l]
P ges.	6,0	[mg/l]
C_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0,0	[mg/l]
S_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0,0	[mg/l]
S_inert_AN	0,0	[mg/l]

Ablaufwerte

Überwachungswerte		
Überwachungswert N anorg.	18,0	[mg/l]
Überwachungswert NH4-N	10,0	[mg/l]
Überwachungswert P ges.	1,0	[mg/l]

Bemessungswerte gem. Empfehlungen LANUV NRW berechnet		
Bemessungswert N org. im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N in der Spitze	10,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NO3-N im Mittel	10,0	[mg/l]

Belebungsbecken

Bemessungsansatz	ATV-DVWK-A131 (5/2000) BSB-Ansatz	
Anlagentyp	vorgeschaltete Denitrifikation	
BB Volumen mit BioP	13.484	[m³]
BB Volumen ohne BioP = V ges.	10.787	[m³]
Volumen Nitrifikation	9.112	[m³]
Volumen Denitrifikation	1.675	[m³]
V Deni / V ges.	0,155	[-]
VBB-Volumen pro Einwohner	141,7	[l/E]
Nitri-Volumen pro Einwohner	119,7	[l/E]
Deni-Volumen pro Einwohner	22,0	[l/E]
Bemessungstemperatur		
aerobes Schlammalter	12,0	[°C]
Schlammalter ges.	7,12	[d]
	8,43	[d]
Ablauf-Konz. TS Belebungsbecken		
mittlere TS-Konz. im Belebungsbecken	4,17	[kg/m³]
mittlere biol. TS-Konzentration	4,17	[kg/m³]
	n.a.	[kg/m³]

Schlammbelastung BTS (BSB)	0,102	[kg BSB / (kg TS*d)]
Schlammbelastung BTS (CSB)	0,000	[kg CSB / (kg TS*d)]
Denitrifikationsgeschwindigkeit	49,8	[g N / (kg TS*d)]
Vorgegebenes max. Rückführverhältnis	5,00	[-]
Berechnetes Rückführverhältnis	1,51	[-]
Atmungserhöhungsfaktor	n.a.	[-]
Säurekapazität im Ablauf	2,2	[mmol/l]
Schlammfraktionen		
XH	n.a.	[mg/l]
XH_BSB	n.a.	[mg/l]
XH_CSB_ext	n.a.	[mg/l]
XA	n.a.	[mg/l]
XI	n.a.	[mg/l]
XF	n.a.	[mg/l]
Überschussschlammproduktion :	5.338	[kg/d]
Überschussschlammfraktionen		
XH	n.a.	[kg/d]
XA	n.a.	[kg/d]
XI	n.a.	[kg/d]
XF	n.a.	[kg/d]
spez. Schlammproduktion Kohlenstoff	n.a.	[kg/d]
Schlamm aus P-Elimination	n.a.	[kg/d]
Denitrifikationskapazität A131 BSB	0,08	[-]
OV C-Wert BSB	1,03	[kg O2/kg BSB5]
OV N-Wert BSB	0,54	[kg O2/kg BSB5]
OV DN-Wert BSB	0,22	[kg O2/kg BSB5]
Denitrifikationskapazität A131 CSB	n.a.	[-]
OV C-Wert CSB	n.a.	[kg O2/kg CSB]
OV N-Wert CSB	n.a.	[kg O2/kg CSB]
OV DN-Wert CSB	n.a.	[kg O2/kg CSB]
Schwankungsfaktor HSG	1,90	[-]
SF Schlammalter A131	1,56	[-]
Vorschlag SF Schlammalter A131	1,55	[-]

Phosphor - Elimination

sen

Die Anlage wird auf biologische P-Elimination bemessen

P-Ink. HSG (Zellwachstum)	3,00	[%]
P-Ink. HSG (BioP)	3,00	[%]
P-Ink. A131 (BSB5)	1,25	[%]
P-Ink. A131 (CSB)	0,60	[%]
spez.TS aus Bio-P A131~~	3,00	[gTS/gP]
spez.TS aus Bio-P HSG~~	0,00	[gTS/gP]
Berechnungsmethode Bio-P	ATV	
Anteil Bio-P Becken	0,25	[-]
Volumen Bio-P Becken	2.697	[m³]
Fällung mit	Eisen(III) - Salz	
spez. Fällmitteldosis	1,80	[g Metall / g P]
spez. Fällungsprodukte	2,50	[g TS / g Metall]

spez. Alkalibedarf	0,06	[mol / g Metall]
spez. FM_Gehalt	0,000	[kg Metall/Liter FM]
Beta - Mol - Verhältnis~~	1,50	[mol/mol]
Fällmitteldosis	2,13	[g/m ³]
Fällmittelbedarf (nur Metall)	48,92	[kg Metall/d]
Fällmittelbedarf	0,00	[Liter FM/d]
Fällungsprodukte	122,31	[kg/d]

Phosphorbilanz

Zulauf		
P ges.	137,0	[kg/d]
Ablauf		
P ges.	16,1	[kg/d]
P inkorporiert (Zellwachstum)	45,7	[kg/d]
P inkorporiert (Bio-P)	57,1	[kg/d]
P gefällt	18,1	[kg/d]
Summe	137,0	[kg/d]

Stickstoffbilanzen

Zulauf		
NH4-N	575,0	[kg/d]
N org.	192,0	[kg/d]
NO3-N	0,0	[kg/d]
KN Rückbelastung aus rX	97,1	[kg/d]
Summe	864,1	[kg/d]
Ablauf		
NH4-N	46,0	[kg/d]
N org.	46,0	[kg/d]
NO3-N	230,0	[kg/d]
N2 durch BSB bzw. CSB	347,9	[kg/d]
N2 durch ext. C-Quelle	0,0	[kg/d]
KN inkorporiert	194,1	[kg/d]
Summe	864,1	[kg/d]

Belüfterbemessung Stoßfaktoren einzeln ansetzen (fC=X;fN=1 | fC=1;fN=Y)

O2 - Konzentration	2,00	[mg/l]
alpha - Wert	0,70	[-]
Stoßfaktor fC	1,20	[-]
Stoßfaktor fN	1,90	[-]
Luftdruck	101,30	[kPa]
Lastfall 1	Nitri/Deni bei 10°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	10,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	11,28	[mg/l]
OVC - Wert	1,00	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,54	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,22	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,21	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	600,38	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.525,38	[kg/d]
Lastfall 2	Nitri/Deni bei 20°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	20,00	[°C]

Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	9,08	[mg/l]
OVC - Wert	1,15	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,54	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,22	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,52	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	684,85	[kg/h]
Tagesbedarf O2	12.338,26	[kg/d]
Lastfall 3	Nitri/Deni bei Bemessungstemperatur	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	12,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	10,77	[mg/l]
OVC - Wert	1,03	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,54	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,22	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,27	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	616,81	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.879,58	[kg/d]
Keine Nachklärbecken berechnet		

Kinetische Parameter

$\mu_{max,A}$	0,520	[1/d]
KN	0,700	[mg N/l]
bA	0,050	[1/d]
bH	0,170	[1/d]
f T,A	1,103	[-]
f T,bA	1,090	[-]
f T,bH	1,073	[-]
YA	0,150	[kgTS/kgN]
YH	0,750	[kgTS/kgBSB5]
fD	0,750	[-]
fP	0,600	[-]
iB	0,120	[-]
il	0,010	[-]
iP	0,030	[-]
fl	0,200	[-]
fOV,S	0,560	[-]
fOV,e	0,200	[kgO2/(kgTS*d)]
f'	1,250	[-]
Eta BSB5	0,950	[-]
N ink./BSB5 (A131)	0,043	[-]
N ink./CSB (A131)	0,021	[-]
P ink./BSB5 (A131)	0,010	[-]
P ink./CSB (A131)	0,005	[-]

Kläranlage: Kommentar: Denitrifikation	Kläranlage Duisburg-Hochfeld Variante 1a/b: mit Vorklärung, mit intermittierender ATV A 131, Bemessungsfrachten aus § 58 LWG Antrag
--	--

Anmerkung : Unüblicher Wert für Zulauf Nr.1 TS0 je Einwohner [70]

*** = vom Anwender eingegeben
 ~~ = entspricht dem Vorgabewert
 n.a. = nicht anwendbar

Zufluss Nr. 1 zur Kläranlage

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Einwohnerwerte	76.133	[E]
Faktor	100,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Trockenwetterzufluß Qt	1.350	[m³/h]
Mischwasserzufluß Qm	2.700	[m³/h]
Tageszufluß Qd	23.000	[m³/d]
Qm / Qt	2,00	[-]

Konzentrationen

BSB5	199	[mg/l]
TS0	224	[mg/l]
NH4-N	25	[mg/l]
N org.	8	[mg/l]
KN	33	[mg/l]
NO3-N	0	[mg/l]
P ges.	6	[mg/l]
C_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0	[mg/l]
S_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_Z	0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0	[mg/l]
S_inert_AN	0	[mg/l]

Frachten

BSB5***	4.568	[kg/d]
TS0***	5.154	[kg/d]
NH4-N***	575	[kg/d]
N org.***	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N***	0	[kg/d]
P ges.***	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z***	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Einwohnerspezifische Werte

BSB5	60,0	[g/(E*d)]
------	------	-----------

TS0	67,7	[g/(E*d)]
NH4-N	7,6	[g/(E*d)]
N org.	2,5	[g/(E*d)]
KN	10,1	[g/(E*d)]
NO3-N	0,0	[g/(E*d)]
P ges.	1,8	[g/(E*d)]
C_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_inert_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_anorg_TS_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_inert_AN	0,0	[g/(E*d)]

Rückbelastungen

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Anteil KN am ÜS = rX	0,50	[-]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Faktor	0,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Alle Frachten = Null		

Vorbehandlungsstufe

Art der Vorreinigung	Vorklärung	
Volumen der Vorklärung	999	[m³]
mittlere Durchflußzeit bei Qt***	0,74	[h]

Zulauf Frachten Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	4.568	[kg/d]
TS0	5.154	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Rueckbelastungen Vorbehandlungsstufe

Alle Frachten = Null

Wirkungsgrad der Vorbehandlungsstufe

BSB5	22,58	[%]
TS0	45,48	[%]
NH4-N	0,00	[%]

N org.	22,58	[%]
KN	0,00	[%]
NO3-N	0,00	[%]
P ges.	12,82	[%]
C_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_inert_Z	45,48	[%]
S_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_Z	45,48	[%]
X_anorg_TS_Z	45,48	[%]
S_inert_AN	0,00	[%]

Ablauf der Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Rueckbelastungen Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Summe der Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

keine externe Kohlenstoffquelle eingesetzt

Frachten BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]

C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Konzentrationen BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000,0	[m³/d]
Qt	1.350,0	[m³/h]
Qm	2.700,0	[m³/h]
BSB5	153,8	[mg/l]
TS0	122,2	[mg/l]
NH4-N	25,0	[mg/l]
N org.	6,5	[mg/l]
KN	31,5	[mg/l]
NO3-N	0,0	[mg/l]
P ges.	5,2	[mg/l]
C_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0,0	[mg/l]
S_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0,0	[mg/l]
S_inert_AN	0,0	[mg/l]

Ablaufwerte

Überwachungswerte		
Überwachungswert N anorg.	18,0	[mg/l]
Überwachungswert NH4-N	10,0	[mg/l]
Überwachungswert P ges.	1,0	[mg/l]

Bemessungswerte gem. Empfehlungen LANUV NRW berechnet

Bemessungswert N org. im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N in der Spitze	10,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NO3-N im Mittel	10,0	[mg/l]

Belebungsbecken

Bemessungsansatz	ATV-DVWK-A131 (5/2000) BSB-Ansatz
Anlagentyp	intermittierende Denitrifikation

BB Volumen mit BioP	13.018	[m³]
BB Volumen ohne BioP = V ges.	10.414	[m³]
Volumen Nitrifikation	6.986	[m³]
Volumen Denitrifikation	3.429	[m³]
Taktverhältnis tDeni / tges	0,329	[-]
VBB-Volumen pro Einwohner	136,8	[l/E]
Nitri-Volumen pro Einwohner	91,8	[l/E]
Deni-Volumen pro Einwohner	45,0	[l/E]
Bemessungstemperatur	12,0	[°C]
aerobes Schlammalter	7,12	[d]

Schlammalter ges.	10,61	[d]
Ablauf-Konz. TS Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere TS-Konz. im Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere biol. TS-Konzentration	n.a.	[kg/m ³]
Schlammbelastung BTS (BSB)	0,099	[kg BSB /((kg TS*d))]
Schlammbelastung BTS (CSB)	0,000	[kg CSB /((kg TS*d))]
Denitrifikationsgeschwindigkeit	27,7	[g N /((kg TS*d))]
Atmungserhöhungsfaktor	n.a.	[-]
Säurekapazität im Ablauf	2,2	[mmol/l]
Schlammfraktionen		
XH	n.a.	[mg/l]
XH_BSB	n.a.	[mg/l]
XH_CSB_ext	n.a.	[mg/l]
XA	n.a.	[mg/l]
XI	n.a.	[mg/l]
XF	n.a.	[mg/l]
Überschussschlammproduktion :	3.370	[kg/d]
Überschussschlammfraktionen		
XH	n.a.	[kg/d]
XA	n.a.	[kg/d]
XI	n.a.	[kg/d]
XF	n.a.	[kg/d]
spez. Schlammproduktion Kohlenstoff	n.a.	[kg/d]
Schlamm aus P-Elimination	n.a.	[kg/d]
Denitrifikationskapazität A131 BSB	0,09	[-]
OV C-Wert BSB	1,08	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV N-Wert BSB	0,68	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV DN-Wert BSB	0,27	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
Denitrifikationskapazität A131 CSB	n.a.	[-]
OV C-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV N-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV DN-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
Schwankungsfaktor HSG	1,90	[-]
SF Schlammalter A131	1,56	[-]
Vorschlag SF Schlammalter A131	1,55	[-]

Phosphor - Elimination

sen	Die Anlage wird auf biologische P-Elimination bemessen	
P-Ink. HSG (Zellwachstum)	3,00	[%]
P-Ink. HSG (BioP)	3,00	[%]
P-Ink. A131 (BSB ₅)	1,25	[%]
P-Ink. A131 (CSB)	0,60	[%]
spez.TS aus Bio-P A131~~	3,00	[gTS/gP]
spez.TS aus Bio-P HSG~~	0,00	[gTS/gP]
Berechnungsmethode Bio-P	ATV	
Anteil Bio-P Becken	0,25	[-]
Volumen Bio-P Becken	2.604	[m ³]

Fällung mit	Eisen(III) - Salz	
spez. Fällmitteldosis	1,80	[g Metall / g P]
spez. Fällungsprodukte	2,50	[g TS / g Metall]
spez. Alkalibedarf	0,06	[mol / g Metall]
spez. FM_Gehalt	0,000	[kg Metall/Liter FM]
Beta - Mol - Verhältnis~~	1,50	[mol/mol]
Fällmitteldosis	2,79	[g/m ³]
Fällmittelbedarf (nur Metall)	64,18	[kg Metall/d]
Fällmittelbedarf	0,00	[Liter FM/d]
Fällungsprodukte	160,45	[kg/d]

Phosphorbilanz

Zulauf		
P ges.	119,4	[kg/d]
Ablauf		
P ges.	16,1	[kg/d]
P inkorporiert (Zellwachstum)	35,4	[kg/d]
P inkorporiert (Bio-P)	44,2	[kg/d]
P gefällt	23,8	[kg/d]
Summe	119,4	[kg/d]

Stickstoffbilanzen

Zulauf		
NH ₄ -N	575,0	[kg/d]
N org.	148,6	[kg/d]
NO ₃ -N	0,0	[kg/d]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]
Ablauf		
NH ₄ -N	46,0	[kg/d]
N org.	46,0	[kg/d]
NO ₃ -N	230,0	[kg/d]
N ₂ durch BSB bzw. CSB	326,5	[kg/d]
N ₂ durch ext. C-Quelle	0,0	[kg/d]
KN inkorporiert	150,3	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]

Belüfterbemessung Stoßfaktoren einzeln ansetzen (f_C=X;f_N=1 | f_C=1;f_N=Y)

O ₂ - Konzentration	2,00	[mg/l]
alpha - Wert	0,70	[-]
Stoßfaktor f _C	1,20	[-]
Stoßfaktor f _N	1,90	[-]
Luftdruck	101,30	[kPa]

Lastfall 1	Nitri/Deni bei 10°C	
Bemessungstemperatur O ₂ -Eintrag	10,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor f _N	
O ₂ -Sättigungskonz.	11,28	[mg/l]
OVC - Wert	1,05	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OVN - Wert	0,68	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OVDN - Wert	0,27	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OB - Wert	2,52	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
Stundenspitze O ₂ Bedarf	530,24	[kg/h]
Tagesbedarf O ₂	8.985,96	[kg/d]

Lastfall 2	Nitri/Deni bei 20°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	20,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	9,08	[mg/l]
OVC - Wert	1,19	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,84	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	597,22	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.387,21	[kg/d]
Lastfall 3	Nitri/Deni bei Bemessungstemperatur	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	12,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	10,77	[mg/l]
OVC - Wert	1,08	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,58	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	543,46	[kg/h]
Tagesbedarf O2	9.264,60	[kg/d]

Berechnung der Nachklärbecken
 Bemessung nach ATV-DVWK A 131 Fassung 2000

NKB-Gruppe 1	Horizontal durchströmte Becken	
NKB - Typ	3.000	[m ²]
Vorgabe Oberfläche	3.000	[m ²]
Oberfläche	0	[%]
Anteil am Zulauf	2.700	[m ³ /h]
NKB - Beschickung bei Qm	0,90	[m/h]
Oberflächenbeschickung qA	100	[l/kg]
Schlammvolumenindex ISV	309	[l/(m ² *h)]
Schlammvolumenbeschickung qsv	1,50	[h]
Eindickzeit te	0,75	[-]
RV bei Qm	0,75	[-]
mittleres RV bei Qm	0,70	[-]
Verhältnis TS_RS / TS_BS	8,01	[kg/m ³]
TS im RS	3,43	[g/l]
TS im Ablauf der Belebungsbecken	0,00	[kg/m ³]
Delta TS [(TS BB) - (TS NKB zu)]	3,43	[g/l]
TS im Zulauf der Nachklärbecken	3,00	[m]
Vorgabe 2/3 Tiefe	2,89	[m]
2/3 Tiefe	0,50	[m]
Klarwasserzone h1	1,20	[m]
Trennzone h2	0,49	[m]
Speicherzone h3	0,71	[m]
Eindick- und Räumzone h4		

Kläranlage:
 Kommentar:
 rifikation, ohne Bio-P

 Kläranlage Duisburg-Hochfeld
Variante 1c: mit Vorklärung, mit intermittierender Denit-
 ATV A 131, Bemessungsfrachten aus § 58 LWG Antrag

Anmerkung : Unüblicher Wert für Zulauf Nr.1 TS0 je Einwohner [70]

 *** = vom Anwender eingegeben
 ~~ = entspricht dem Vorgabewert
 n.a. = nicht anwendbar

Zufluss Nr. 1 zur Kläranlage

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Einwohnerwerte	76.133	[E]
Faktor	100,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Trockenwetterzufluß Qt	1.350	[m³/h]
Mischwasserzufluß Qm	2.700	[m³/h]
Tageszufluß Qd	23.000	[m³/d]
Qm / Qt	2,00	[-]

Konzentrationen

BSB5	199	[mg/l]
TS0	224	[mg/l]
NH4-N	25	[mg/l]
N org.	8	[mg/l]
KN	33	[mg/l]
NO3-N	0	[mg/l]
P ges.	6	[mg/l]
C_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0	[mg/l]
S_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_Z	0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0	[mg/l]
S_inert_AN	0	[mg/l]

Frachten

BSB5***	4.568	[kg/d]
TS0***	5.154	[kg/d]
NH4-N***	575	[kg/d]
N org.***	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N***	0	[kg/d]
P ges.***	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z***	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Einwohnerspezifische Werte

BSB5	60,0	[g/(E*d)]
------	------	-----------

TS0	67,7	[g/(E*d)]
NH4-N	7,6	[g/(E*d)]
N org.	2,5	[g/(E*d)]
KN	10,1	[g/(E*d)]
NO3-N	0,0	[g/(E*d)]
P ges.	1,8	[g/(E*d)]
C_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_inert_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_anorg_TS_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_inert_AN	0,0	[g/(E*d)]

Rückbelastungen

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Anteil KN am ÜS = rX	0,50	[-]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Faktor	0,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Alle Frachten = Null		

Vorbehandlungsstufe

Art der Vorreinigung	Vorklärung	
Volumen der Vorklärung	999	[m³]
mittlere Durchflußzeit bei Qt***	0,74	[h]

Zulauf Frachten Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	4.568	[kg/d]
TS0	5.154	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Rueckbelastungen Vorbehandlungsstufe

Alle Frachten = Null

Wirkungsgrad der Vorbehandlungsstufe

BSB5	22,58	[%]
TS0	45,48	[%]
NH4-N	0,00	[%]

N org.	22,58	[%]
KN	0,00	[%]
NO3-N	0,00	[%]
P ges.	12,82	[%]
C_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_inert_Z	45,48	[%]
S_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_Z	45,48	[%]
X_anorg_TS_Z	45,48	[%]
S_inert_AN	0,00	[%]

Ablauf der Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Rueckbelastungen Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Summe der Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

keine externe Kohlenstoffquelle eingesetzt

Frachten BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]

C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Konzentrationen BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000,0	[m³/d]
Qt	1.350,0	[m³/h]
Qm	2.700,0	[m³/h]
BSB5	153,8	[mg/l]
TS0	122,2	[mg/l]
NH4-N	25,0	[mg/l]
N org.	6,5	[mg/l]
KN	31,5	[mg/l]
NO3-N	0,0	[mg/l]
P ges.	5,2	[mg/l]
C_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0,0	[mg/l]
S_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0,0	[mg/l]
S_inert_AN	0,0	[mg/l]

Ablaufwerte

Überwachungswerte		
Überwachungswert N anorg.	18,0	[mg/l]
Überwachungswert NH4-N	10,0	[mg/l]
Überwachungswert P ges.	1,0	[mg/l]

Bemessungswerte gem. Empfehlungen LANUV NRW berechnet

Bemessungswert N org. im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N in der Spitze	10,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NO3-N im Mittel	10,0	[mg/l]

Belebungsbecken

Bemessungsansatz	ATV-DVWK-A131 (5/2000) BSB-Ansatz
Anlagentyp	intermittierende Denitrifikation

BB Volumen ohne BioP = V ges.	10.926	[m³]
Volumen Nitrifikation	7.329	[m³]
Volumen Denitrifikation	3.597	[m³]
Taktverhältnis tDeni / tges	0,329	[-]
VBB-Volumen pro Einwohner	143,5	[l/E]
Nitri-Volumen pro Einwohner	96,3	[l/E]
Deni-Volumen pro Einwohner	47,2	[l/E]
Bemessungstemperatur	12,0	[°C]
aerobes Schlammalter	7,12	[d]
Schlammalter ges.	10,61	[d]

Ablauf-Konz. TS Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere TS-Konz. im Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere biol. TS-Konzentration	n.a.	[kg/m ³]
Schlammbelastung BTS (BSB)	0,094	[kg BSB / (kg TS*d)]
Schlammbelastung BTS (CSB)	0,000	[kg CSB / (kg TS*d)]
Denitrifikationsgeschwindigkeit	26,4	[g N / (kg TS*d)]
Atmungserhöhungsfaktor	n.a.	[-]
Säurekapazität im Ablauf	1,8	[mmol/l]
Schlammfraktionen		
XH	n.a.	[mg/l]
XH_BSB	n.a.	[mg/l]
XH_CSB_ext	n.a.	[mg/l]
XA	n.a.	[mg/l]
XI	n.a.	[mg/l]
XF	n.a.	[mg/l]
Überschussschlammproduktion :	3.536	[kg/d]
Überschussschlammfraktionen		
XH	n.a.	[kg/d]
XA	n.a.	[kg/d]
XI	n.a.	[kg/d]
XF	n.a.	[kg/d]
spez. Schlammproduktion Kohlenstoff	n.a.	[kg/d]
Schlamm aus P-Elimination	n.a.	[kg/d]
Denitrifikationskapazität A131 BSB	0,09	[-]
OV C-Wert BSB	1,08	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV N-Wert BSB	0,68	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV DN-Wert BSB	0,27	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
Denitrifikationskapazität A131 CSB	n.a.	[-]
OV C-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV N-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV DN-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
Schwankungsfaktor HSG	1,90	[-]
SF Schlammalter A131	1,56	[-]
Vorschlag SF Schlammalter A131	1,55	[-]

Phosphor - Elimination

Fällung mit	Eisen(III) - Salz	
spez. Fällmitteldosis	1,80	[g Metall / g P]
spez. Fällungsprodukte	2,50	[g TS / g Metall]
spez. Alkalibedarf	0,06	[mol / g Metall]
spez. FM_Gehalt	0,000	[kg Metall/Liter FM]
Beta - Mol - Verhältnis~~	1,50	[mol/mol]
Fällmitteldosis	7,98	[g/m ³]
Fällmittelbedarf (nur Metall)	183,53	[kg Metall/d]
Fällmittelbedarf	0,00	[Liter FM/d]
Fällungsprodukte	458,83	[kg/d]

Phosphorbilanz

Zulauf

P ges.	119,4	[kg/d]
Ablauf		
P ges.	16,1	[kg/d]
P inkorporiert (Zellwachstum)	35,4	[kg/d]
P inkorporiert (Bio-P)	0,0	[kg/d]
P gefällt	68,0	[kg/d]
Summe	119,4	[kg/d]

Stickstoffbilanzen

Zulauf		
NH4-N	575,0	[kg/d]
N org.	148,6	[kg/d]
NO3-N	0,0	[kg/d]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]
Ablauf		
NH4-N	46,0	[kg/d]
N org.	46,0	[kg/d]
NO3-N	230,0	[kg/d]
N2 durch BSB bzw. CSB	326,5	[kg/d]
N2 durch ext. C-Quelle	0,0	[kg/d]
KN inkorporiert	150,3	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]

Belüfterbemessung Stoßfaktoren einzeln ansetzen (fC=X;fN=1 | fC=1;fN=Y)

O2 - Konzentration	2,00	[mg/l]
alpha - Wert	0,70	[-]
Stoßfaktor fC	1,20	[-]
Stoßfaktor fN	1,90	[-]
Luftdruck	101,30	[kPa]

Lastfall 1	Nitri/Deni bei 10°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	10,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	11,28	[mg/l]
OVC - Wert	1,05	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,52	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	530,24	[kg/h]
Tagesbedarf O2	8.985,96	[kg/d]

Lastfall 2	Nitri/Deni bei 20°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	20,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	9,08	[mg/l]
OVC - Wert	1,19	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,84	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	597,22	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.387,21	[kg/d]

Lastfall 3 Nitri/Deni bei Bemessungstemperatur

Bemessungstemperatur O2-Eintrag	12,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	10,77	[mg/l]
OVC - Wert	1,08	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,58	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	543,46	[kg/h]
Tagesbedarf O2	9.264,60	[kg/d]

Kläranlage: Kläranlage Duisburg-Hochfeld
 Kommentar: **Variante 1d:** mit Vorklärung, mit intermittierender Denitrifikation, ohne Bio-P → entspricht auch **Variante 2c**
 Ausgleichsbecken, Schwankungsfaktor HSG = 1,7
 HSG, Bemessungsfrachten aus § 58 LWG Antrag

Warnung ! Säurekapazität im Ablauf <2 mmol/l, es kann zu Störungen der Nitrifikation kommen
 Anmerkung : Unüblicher Wert für Zulauf Nr.1 TS0 je Einwohner [70]

*** = vom Anwender eingegeben
 ~~ = entspricht dem Vorgabewert
 n.a. = nicht anwendbar

Zufluss Nr. 1 zur Kläranlage

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Einwohnerwerte	76.133	[E]
Faktor	100,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Trockenwetterzufluß Qt	1.350	[m³/h]
Mischwasserzufluß Qm	2.700	[m³/h]
Tageszufluß Qd	23.000	[m³/d]
Qm / Qt	2,00	[-]

Konzentrationen

BSB5	199	[mg/l]
TS0	224	[mg/l]
NH4-N	25	[mg/l]
N org.	8	[mg/l]
KN	33	[mg/l]
NO3-N	0	[mg/l]
P ges.	6	[mg/l]
C_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0	[mg/l]
S_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_Z	0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0	[mg/l]
S_inert_AN	0	[mg/l]

Frachten

BSB5***	4.568	[kg/d]
TS0***	5.154	[kg/d]
NH4-N***	575	[kg/d]
N org.***	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N***	0	[kg/d]
P ges.***	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z***	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Einwohnerspezifische Werte

BSB5	60,0	[g/(E*d)]
TS0	67,7	[g/(E*d)]
NH4-N	7,6	[g/(E*d)]
N org.	2,5	[g/(E*d)]
KN	10,1	[g/(E*d)]
NO3-N	0,0	[g/(E*d)]
P ges.	1,8	[g/(E*d)]
C_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_inert_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_anorg_TS_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_inert_AN	0,0	[g/(E*d)]

Rückbelastungen

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Anteil KN am ÜS = rX	0,50	[-]
KN Rückbelastung aus rX	79,1	[kg/d]
Faktor	0,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Alle Frachten = Null		

Vorbehandlungsstufe

Art der Vorreinigung	Vorklärung	
Volumen der Vorklärung	999	[m³]
mittlere Durchflußzeit bei Qt***	0,74	[h]

Zulauffrachten Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	4.568	[kg/d]
TS0	5.154	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Rueckbelastungen Vorbehandlungsstufe

Alle Frachten = Null

Wirkungsgrad der Vorbehandlungsstufe

BSB5	22,58	[%]
------	-------	-----

TS0	45,48	[%]
NH4-N	0,00	[%]
N org.	22,58	[%]
KN	0,00	[%]
NO3-N	0,00	[%]
P ges.	12,82	[%]
C_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_inert_Z	45,48	[%]
S_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_Z	45,48	[%]
X_anorg_TS_Z	45,48	[%]
S_inert_AN	0,00	[%]

Ablauf der Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Rueckbelastungen Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Summe der Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

keine externe Kohlenstoffquelle eingesetzt

Frachten BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]

NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Konzentrationen BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000,0	[m³/d]
Qt	1.350,0	[m³/h]
Qm	2.700,0	[m³/h]
BSB5	153,8	[mg/l]
TS0	122,2	[mg/l]
NH4-N	25,0	[mg/l]
N org.	6,5	[mg/l]
KN	31,5	[mg/l]
NO3-N	0,0	[mg/l]
P ges.	5,2	[mg/l]
C_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0,0	[mg/l]
S_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0,0	[mg/l]
S_inert_AN	0,0	[mg/l]

Ablaufwerte

Überwachungswerte		
Überwachungswert N anorg.	18,0	[mg/l]
Überwachungswert NH4-N	10,0	[mg/l]
Überwachungswert P ges.	1,0	[mg/l]

Bemessungswerte gem. Empfehlungen LANUV NRW berechnet

Bemessungswert N org. im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N in der Spitze	10,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NO3-N im Mittel	10,0	[mg/l]

Belebungsbecken

Bemessungsansatz	HSG - Ansatz	
Anlagentyp	intermittierende Denitrifikation	
BB Volumen ohne BioP = V ges.	9.856	[m³]
Volumen Nitrifikation	7.402	[m³]
Volumen Denitrifikation	2.454	[m³]
Taktverhältnis tDeni / tges	0,249	[-]
VBB-Volumen pro Einwohner	129,5	[l/E]
Nitri-Volumen pro Einwohner	97,2	[l/E]
Deni-Volumen pro Einwohner	32,2	[l/E]
Bemessungstemperatur	12,0	[°C]

aerobes Schlammalter	7,17	[d]
Schlammalter ges.	9,54	[d]
Ablauf-Konz. TS Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere TS-Konz. im Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere biol. TS-Konzentration	3,03	[kg/m ³]
Schlammbelastung BTS (BSB)	0,104	[kg BSB / (kg TS*d)]
Schlammbelastung BTS (CSB)	0,000	[kg CSB / (kg TS*d)]
Denitrifikationsgeschwindigkeit	38,3	[g N / (kg TS*d)]
Atmungserhöhungsfaktor	1,39	[-]
Säurekapazität im Ablauf	1,9	[mmol/l]
Schlammfraktionen		
XH	1.055	[mg/l]
XH_BSB	1.055	[mg/l]
XH_CSB_ext	0	[mg/l]
XA	63	[mg/l]
XI	1.913	[mg/l]
XF	404	[mg/l]
Überschussschlammproduktion :	3.547	[kg/d]
Überschussschlammfraktionen		
XH	1.089	[kg/d]
XA	65	[kg/d]
XI	1.976	[kg/d]
XF	417	[kg/d]
spez. Schlammproduktion Kohlenstoff	n.a.	[kg/d]
Schlamm aus P-Elimination	n.a.	[kg/d]
Denitrifikationskapazität A131 BSB	n.a.	[-]
OV C-Wert BSB	n.a.	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV N-Wert BSB	n.a.	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV DN-Wert BSB	n.a.	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
Denitrifikationskapazität A131 CSB	n.a.	[-]
OV C-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV N-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV DN-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
Schwankungsfaktor HSG	1,70	[-]
SF Schlammalter A131	1,45	[-]
Vorschlag SF Schlammalter A131	1,55	[-]

Phosphor - Elimination

Fällung mit	Eisen(III) - Salz	
spez. Fällmitteldosis	1,80	[g Metall / g P]
spez. Fällungsprodukte	2,50	[g TS / g Metall]
spez. Alkalibedarf	0,06	[mol / g Metall]
spez. FM_Gehalt	0,000	[kg Metall/Liter FM]
Beta - Mol - Verhältnis~~	1,50	[mol/mol]
Fällmitteldosis	7,26	[g/m ³]
Fällmittelbedarf (nur Metall)	166,90	[kg Metall/d]
Fällmittelbedarf	0,00	[Liter FM/d]
Fällungsprodukte	417,24	[kg/d]

Phosphorbilanz

Zulauf		
P ges.	119,4	[kg/d]
Ablauf		
P ges. erreicht	23,0	[kg/d]
P inkorporiert (Zellwachstum)	34,6	[kg/d]
P inkorporiert (Bio-P)	0,0	[kg/d]
P gefällt	61,8	[kg/d]
Summe	119,4	[kg/d]

Stickstoffbilanzen

Zulauf		
NH4-N	575,0	[kg/d]
N org.	148,6	[kg/d]
NO3-N	0,0	[kg/d]
KN Rückbelastung aus rX	79,1	[kg/d]
Summe	802,8	[kg/d]
Ablauf		
NH4-N	46,0	[kg/d]
N org.	46,0	[kg/d]
NO3-N	230,0	[kg/d]
N2 durch BSB bzw. CSB	322,5	[kg/d]
N2 durch ext. C-Quelle	0,0	[kg/d]
KN inkorporiert	158,3	[kg/d]
Summe	802,8	[kg/d]

Belüfterbemessung Stoßfaktoren einzeln ansetzen (fC=X;fN=1 | fC=1;fN=Y)

O2 - Konzentration	2,00	[mg/l]
alpha - Wert	0,70	[-]
Stoßfaktor fC	1,20	[-]
Stoßfaktor fN	1,50	[-]
Luftdruck	101,30	[kPa]
Lastfall 1	Nitri/Deni bei 10°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	10,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	11,28	[mg/l]
OVC - Wert	1,05	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,45	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	n.a.	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,10	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	441,40	[kg/h]
Tagesbedarf O2	9.202,13	[kg/d]
Lastfall 2	Nitri/Deni bei 20°C	
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	20,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fC	
O2-Sättigungskonz.	9,08	[mg/l]
OVC - Wert	1,19	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,45	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	n.a.	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,42	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	508,84	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.666,28	[kg/d]

Lastfall 3	Nitri/Deni bei Bemessungstemperatur
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	12,00 [°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN
O2-Sättigungskonz.	10,77 [mg/l]
OVC - Wert	1,08 [kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,45 [kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	n.a. [kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,16 [kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	454,03 [kg/h]
Tagesbedarf O2	9.490,96 [kg/d]

Kläranlage:
 Kommentar:
 Denitrifikation

Kläranlage Duisburg-Hochfeld

Variante 2a/b: mit Vorklärung, mit vorgeschalteter De-

ATV A 131, Bemessungsfrachten aus § 58 LWG Antrag

Warnung ! Denitrifikationsvolumen ist kleiner 20 %

Anmerkung : Unüblicher Wert für Zulauf Nr.1 TS0 je Einwohner [70]

*** = vom Anwender eingegeben

~~ = entspricht dem Vorgabewert

n.a. = nicht anwendbar

Zufluss Nr. 1 zur Kläranlage

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Einwohnerwerte	76.133	[E]
Faktor	100,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Trockenwetterzufluß Qt	1.350	[m³/h]
Mischwasserzufluß Qm	2.700	[m³/h]
Tageszufluß Qd	23.000	[m³/d]
Qm / Qt	2,00	[-]

Konzentrationen

BSB5	199	[mg/l]
TS0	224	[mg/l]
NH4-N	25	[mg/l]
N org.	8	[mg/l]
KN	33	[mg/l]
NO3-N	0	[mg/l]
P ges.	6	[mg/l]
C_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0	[mg/l]
S_CSB_Z	0	[mg/l]
X_CSB_Z	0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0	[mg/l]
S_inert_AN	0	[mg/l]

Frachten

BSB5***	4.568	[kg/d]
TS0***	5.154	[kg/d]
NH4-N***	575	[kg/d]
N org.***	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N***	0	[kg/d]
P ges.***	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z***	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Einwohnerspezifische Werte

BSB5	60,0	[g/(E*d)]
TS0	67,7	[g/(E*d)]
NH4-N	7,6	[g/(E*d)]
N org.	2,5	[g/(E*d)]
KN	10,1	[g/(E*d)]
NO3-N	0,0	[g/(E*d)]
P ges.	1,8	[g/(E*d)]
C_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_inert_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_CSB_Z	0,0	[g/(E*d)]
X_anorg_TS_Z	0,0	[g/(E*d)]
S_inert_AN	0,0	[g/(E*d)]

Rückbelastungen

Faktoren und Bypässe sind in diesen Werten nicht mit eingerechnet

Anteil KN am ÜS = rX	0,50	[-]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Faktor	0,0	[%]
Bypass um VK	0,0	[%]
Alle Frachten = Null		

Vorbehandlungsstufe

Art der Vorreinigung	Vorklärung	
Volumen der Vorklärung	999	[m³]
mittlere Durchflußzeit bei Qt***	0,74	[h]

Zulauffrachten Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	4.568	[kg/d]
TS0	5.154	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	192	[kg/d]
KN	767	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	137	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Rueckbelastungen Vorbehandlungsstufe

Alle Frachten = Null

Wirkungsgrad der Vorbehandlungsstufe

BSB5	22,58	[%]
TS0	45,48	[%]

NH4-N	0,00	[%]
N org.	22,58	[%]
KN	0,00	[%]
NO3-N	0,00	[%]
P ges.	12,82	[%]
C_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_inert_Z	45,48	[%]
S_CSB_Z	0,00	[%]
X_CSB_Z	45,48	[%]
X_anorg_TS_Z	45,48	[%]
S_inert_AN	0,00	[%]

Ablauf der Vorbehandlungsstufe

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]
P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Faktoren und Bypässe sind in diese Frachten eingerechnet

Zufluss Nr. 1 Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Rueckbelastungen Bypass um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

Summe der Bypässe um die Vorbehandlungsstufe

Alle Zuflüsse und Frachten = Null

keine externe Kohlenstoffquelle eingesetzt

Frachten BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000	[m³/d]
Qt	1.350	[m³/h]
Qm	2.700	[m³/h]
BSB5	3.536	[kg/d]
TS0	2.810	[kg/d]
NH4-N	575	[kg/d]
N org.	149	[kg/d]
KN	724	[kg/d]
NO3-N	0	[kg/d]

P ges.	119	[kg/d]
C_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_inert_Z	0	[kg/d]
S_CSB_Z	0	[kg/d]
X_CSB_Z	0	[kg/d]
X_anorg_TS_Z	0	[kg/d]
S_inert_AN	0	[kg/d]

Konzentrationen BB_zu ohne Rückbelastung durch rX

Qd	23.000,0	[m³/d]
Qt	1.350,0	[m³/h]
Qm	2.700,0	[m³/h]
BSB5	153,8	[mg/l]
TS0	122,2	[mg/l]
NH4-N	25,0	[mg/l]
N org.	6,5	[mg/l]
KN	31,5	[mg/l]
NO3-N	0,0	[mg/l]
P ges.	5,2	[mg/l]
C_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_inert_Z	0,0	[mg/l]
S_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_CSB_Z	0,0	[mg/l]
X_anorg_TS_Z	0,0	[mg/l]
S_inert_AN	0,0	[mg/l]

Ablaufwerte

Überwachungswerte		
Überwachungswert N anorg.	18,0	[mg/l]
Überwachungswert NH4-N	10,0	[mg/l]
Überwachungswert P ges.	1,0	[mg/l]

Bemessungswerte gem. Empfehlungen LANUV NRW berechnet

Bemessungswert N org. im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N in der Spitze	10,0	[mg/l]
Bemessungswert NH4-N im Mittel	2,0	[mg/l]
Bemessungswert NO3-N im Mittel	10,0	[mg/l]

Belebungsbecken

Bemessungsansatz	ATV-DVWK-A131 (5/2000) BSB-Ansatz
Anlagentyp	vorgeschaltete Denitrifikation

BB Volumen mit BioP	11.056	[m³]
BB Volumen ohne BioP = V ges.	8.845	[m³]
Volumen Nitrifikation	7.193	[m³]
Volumen Denitrifikation	1.652	[m³]
V Deni / V ges.	0,187	[-]
VBB-Volumen pro Einwohner	116,2	[l/E]
Nitri-Volumen pro Einwohner	94,5	[l/E]
Deni-Volumen pro Einwohner	21,7	[l/E]

Bemessungstemperatur	12,0	[°C]
----------------------	------	------

aerobes Schlammalter	7,12	[d]
Schlammalter ges.	8,75	[d]
Ablauf-Konz. TS Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere TS-Konz. im Belebungsbecken	3,43	[kg/m ³]
mittlere biol. TS-Konzentration	n.a.	[kg/m ³]
Schlammbelastung BTS (BSB)	0,116	[kg BSB / (kg TS*d)]
Schlammbelastung BTS (CSB)	0,000	[kg CSB / (kg TS*d)]
Denitrifikationsgeschwindigkeit	57,6	[g N / (kg TS*d)]
Vorgegebenes max. Rückführverhältnis	5,00	[-]
Berechnetes Rückführverhältnis	1,42	[-]
Atmungserhöhungsfaktor	n.a.	[-]
Säurekapazität im Ablauf	2,2	[mmol/l]
Schlammfraktionen		
XH	n.a.	[mg/l]
XH_BSB	n.a.	[mg/l]
XH_CSB_ext	n.a.	[mg/l]
XA	n.a.	[mg/l]
XI	n.a.	[mg/l]
XF	n.a.	[mg/l]
Überschussschlammproduktion :	3.471	[kg/d]
Überschussschlammfraktionen		
XH	n.a.	[kg/d]
XA	n.a.	[kg/d]
XI	n.a.	[kg/d]
XF	n.a.	[kg/d]
spez. Schlammproduktion Kohlenstoff	n.a.	[kg/d]
Schlamm aus P-Elimination	n.a.	[kg/d]
Denitrifikationskapazität A131 BSB	0,09	[-]
OV C-Wert BSB	1,04	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV N-Wert BSB	0,68	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OV DN-Wert BSB	0,27	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
Denitrifikationskapazität A131 CSB	n.a.	[-]
OV C-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV N-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
OV DN-Wert CSB	n.a.	[kg O ₂ /kg CSB]
Schwankungsfaktor HSG	1,90	[-]
SF Schlammalter A131	1,56	[-]
Vorschlag SF Schlammalter A131	1,55	[-]

Phosphor - Elimination

sen	Die Anlage wird auf biologische P-Elimination bemessen	
P-Ink. HSG (Zellwachstum)	3,00	[%]
P-Ink. HSG (BioP)	3,00	[%]
P-Ink. A131 (BSB ₅)	1,25	[%]
P-Ink. A131 (CSB)	0,60	[%]
spez. TS aus Bio-P A131~~	3,00	[gTS/gP]
spez. TS aus Bio-P HSG~~	0,00	[gTS/gP]
Berechnungsmethode Bio-P	ATV	

Anteil Bio-P Becken	0,25	[-]
Volumen Bio-P Becken	2.211	[m ³]
Fällung mit	Eisen(III) - Salz	
spez. Fällmitteldosis	1,80	[g Metall / g P]
spez. Fällungsprodukte	2,50	[g TS / g Metall]
spez. Alkalibedarf	0,06	[mol / g Metall]
spez. FM_Gehalt	0,000	[kg Metall/Liter FM]
Beta - Mol - Verhältnis	1,50	[mol/mol]
Fällmitteldosis	2,79	[g/m ³]
Fällmittelbedarf (nur Metall)	64,18	[kg Metall/d]
Fällmittelbedarf	0,00	[Liter FM/d]
Fällungsprodukte	160,45	[kg/d]
Phosphorbilanz		
Zulauf		
P ges.	119,4	[kg/d]
Ablauf		
P ges.	16,1	[kg/d]
P inkorporiert (Zellwachstum)	35,4	[kg/d]
P inkorporiert (Bio-P)	44,2	[kg/d]
P gefällt	23,8	[kg/d]
Summe	119,4	[kg/d]
Stickstoffbilanzen		
Zulauf		
NH ₄ -N	575,0	[kg/d]
N org.	148,6	[kg/d]
NO ₃ -N	0,0	[kg/d]
KN Rückbelastung aus rX	75,1	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]
Ablauf		
NH ₄ -N	46,0	[kg/d]
N org.	46,0	[kg/d]
NO ₃ -N	230,0	[kg/d]
N ₂ durch BSB bzw. CSB	326,5	[kg/d]
N ₂ durch ext. C-Quelle	0,0	[kg/d]
KN inkorporiert	150,3	[kg/d]
Summe	798,8	[kg/d]
Belüfterbemessung Stoßfaktoren einzeln ansetzen (f_C=X;f_N=1 f_C=1;f_N=Y)		
O ₂ - Konzentration	2,00	[mg/l]
alpha - Wert	0,70	[-]
Stoßfaktor f _C	1,20	[-]
Stoßfaktor f _N	1,90	[-]
Luftdruck	101,30	[kPa]
Lastfall 1	Nitri/Deni bei 10°C	
Bemessungstemperatur O ₂ -Eintrag	10,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor f _N	
O ₂ -Sättigungskonz.	11,28	[mg/l]
OVC - Wert	1,01	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OVN - Wert	0,68	[kg O ₂ /kg BSB ₅]
OVDN - Wert	0,27	[kg O ₂ /kg BSB ₅]

OB - Wert	2,47	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	519,43	[kg/h]
Tagesbedarf O2	8.726,62	[kg/d]
Lastfall 2		
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	20,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	9,08	[mg/l]
OVC - Wert	1,16	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,79	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	587,57	[kg/h]
Tagesbedarf O2	10.155,48	[kg/d]
Lastfall 3		
Bemessungstemperatur O2-Eintrag	12,00	[°C]
Maßgebend	Stoßfaktor fN	
O2-Sättigungskonz.	10,77	[mg/l]
OVC - Wert	1,04	[kg O2/kg BSB5]
OVN - Wert	0,68	[kg O2/kg BSB5]
OVDN - Wert	0,27	[kg O2/kg BSB5]
OB - Wert	2,53	[kg O2/kg BSB5]
Stundenspitze O2 Bedarf	532,70	[kg/h]
Tagesbedarf O2	9.006,45	[kg/d]

Berechnung der Nachklärbecken
 Bemessung nach ATV-DVWK A 131 Fassung 2000

NKB-Gruppe 1

NKB - Typ	Horizontal durchströmte Becken	
Vorgabe Oberfläche	3.000	[m ²]
Oberfläche	3.000	[m ²]
Anteil am Zulauf	0	[%]
NKB - Beschickung bei Qm	2.700	[m ³ /h]
Oberflächenbeschickung qA	0,90	[m/h]
Schlammvolumenindex ISV	100	[l/kg]
Schlammvolumenbeschickung qsv	309	[l/(m ² *h)]
Eindickzeit te	1,50	[h]
RV bei Qm	0,75	[-]
mittleres RV bei Qm	0,75	[-]
Verhältnis TS_RS / TS_BS	0,70	[-]
TS im RS	8,01	[kg/m ³]
TS im Ablauf der Belebungsbecken	3,43	[g/l]
Delta TS [(TS BB) - (TS NKB zu)]	0,00	[kg/m ³]
TS im Zulauf der Nachklärbecken	3,43	[g/l]
Vorgabe 2/3 Tiefe	3,00	[m]
2/3 Tiefe	2,89	[m]
Klarwasserzone h1	0,50	[m]
Trennzone h2	1,20	[m]
Speicherzone h3	0,49	[m]
Eindick- und Räumzone h4	0,71	[m]

Anlage 3 Investitionskosten -


Vorklärung, MÜSE, BHKW

Variante 1a Belebung


Variante 1b Belebung

Variante 2a Belebung

Variante 2b Belebung


		Projekt: Studie Hochfeld - Vorklärung, MÜSE, BHKW			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Vorklärung				
1.1.1	Mitteltisch herstellen	1,00	psch	22.000	22.000
1.1.2	Montageöffnung für Räumler incl. Abdeckung herstellen	1,00	psch	22.000	22.000
1.1.3	Betonabbruch und Reprofilierung für Trichter	1,00	psch	11.000	11.000
1.1.4	Verschluss von Öffnungen	1,00	psch	11.000	11.000
1.1.5	Profilbeton für Sohlansformung	1,00	psch	16.500	16.500
1.1.6	Erweiterung des Verteilerschachtes incl. neue Zuleitung DN 800 in den äußeren Ring	1,00	psch	27.500	27.500
1.2	Umbau Feinrechengebäude/Containerhalle für	1,00	psch	40.000	40.000
1.3	Sonstiges und Unverhergesehenes	1,00	psch	27.000	27.000
1.4	Baustelleneinrichtung	1,00	psch	23.000	23.000
Summe	Bereich 1				200.000
Bereich 2 Maschinenteknik					
2.1	Vorklärung				
2.1.1	Räumlerbrücke, halbarm	1,00	psch	132.000	132.000
2.1.2	Primärschlammumpen incl. 100 m Rohrleitung zu den Eindickern	1,00	psch	44.000	44.000
2.1.3	Rohrleitungsverschaltung an den Voreindickern	1,00	psch	16.500	16.500
2.2	Maschinelle Überschussschlammeindickung				
2.2.1	Bandeindicker mit Schlammförderung und Verrohrung	1,00	psch	80.000	80.000
2.2.2	Flockungsmittelstation	1,00	psch	45.000	45.000
2.3	BHKW				
2.3.1	BHKW mit Schalldämmgehäusen Notkühler und	135	kW	2.500	337.500
2.3.2	Siloxanreinigungsanlage	1,00	psch	35.000	35.000
2.3.3	Peripherie, Anbindung, Sonstiges	1,00	psch	80.000	80.000
2.4	Baustelleneinrichtung	1	psch	35.000	35.000
Summe	Bereich 2				805.000

Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Leistungsversorgung	1,00	psch	35.000	35.000
3.2	Anpassung PLS	1,00	psch	20.000	20.000
3.3	Messtechnik	1,00	psch	18.000	18.000
Summe	Bereich 3				73.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				200.000
Bereich 2	Maschinenteknik				805.000
Bereich 3	EMSR-Technik				73.000
	Summe gesamt netto				1.078.000
	Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)				194.000
	Summe gesamt netto				1.272.000
	Mehrwertsteuer 19 %				241.680
	Summe gesamt brutto				1.513.680


		Projekt: Studie Hochfeld - Belebungs Variante 1a			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Betonsanierung Wasserwechselzone	1.000	m ²	175	175.000
1.2	Sonstige Anpassungsarbeiten	1	psch	15.000	15.000
1.3	Baustelleneinrichtung	1	psch	15.000	15.000
Summe	Bereich 1				205.000
Bereich 2 Maschinenteknik					
2.1	Außerbetriebnahme und Reinigung (je Beckenstraße)	4	St	5.000	20.000
2.2	Druckluftbegaste Belebungs				
2.2.1	Demontage Bestandbelüfter und nicht erforderlicher Anlagentechnik (je Beckenstraße)	2	St	20.000	40.000
2.2.2	Luftunterverteilung zur Versorgung der Plattenmodule (DN 125)	550	lfm	230	126.500
2.2.3	Plattenbelüfter (2 m ² Belüfterfläche)	220	St	1.200	264.000
2.3	Sauerstoffbegaste Belebungs				
2.3.1	Demontage nicht erforderlicher Anlagentechnik	2	St	15.000	30.000
2.3.2	Plattenbelüfter (2 m ² Belüfterfläche)	130	St	1.200	156.000
2.3.3	Prozessluftversorgung und Verteilung inkl. Amaturen	1	psch	150.000	150.000
2.3.4	Anpassung Gebläsestation	1	psch	100.000	100.000
2.3.5	Absenkschieber für Zulaufaufteilung mit E-Antrieb	1	St	15.000	15.000
2.4	Sonstiges	1	psch	60.000	60.000
2.5	Baustelleneinrichtung	1	psch	58.000	58.000
Summe	Bereich 2				1.019.500
Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Leistungsversorgung	1,00	psch	50.000	50.000
3.2	Anpassung PLS	1,00	psch	30.000	30.000
3.3	Messtechnik	1,00	psch	50.000	50.000
Summe	Bereich 3				130.000


Anlagen

Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				205.000
Bereich 2	Maschinenteknik				1.019.500
Bereich 3	EMSR-Technik				130.000
	Summe gesamt netto				1.354.500
	Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)				244.000
	Summe gesamt netto				1.598.500
	Mehrwertsteuer 19 %				303.715
	Summe gesamt brutto				1.902.215

 Grontmij		Projekt: Studie Hochfeld - Belebungs Variante 1b			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Druckluftbegaste Belebungs				
1.1.1	Abdichtung Durchführung zum Medienkanal	9	St	1.000	9.000
1.1.2	bauliche Anpassung des Zu- und Ablaufbereichs der Rohrleitung ZHW - Druckluftbegaste Belebungs (vormals Rezi-Leitung)	1	psch	20.000	20.000
1.1.3	Provisorien zum Umbau der Beckenstraßen	1	psch	20.000	20.000
1.1.4	Betonsanierung Wasserwechselzone	1.000	m ²	175	175.000
1.1.5	Wanddurchbrüche zwischen Beckenkammern schließen	16	St	500	8.000
1.1.6	Wanddurchbrüche zwischen Beckenkammern erstellen	16	St	2.500	40.000
1.1.7	Anheben der Zulaufschieber und Betonaufröhung Zulauföffnung	2	St	5.000	10.000
1.1.8	Edelstahlablaufwehr	2	St	10.000	20.000
1.2	Sauerstoffbegaste Belebungs				
1.2.1	Wanddurchbrüche für Rezi-Pumpwerk	6	St	2.500	15.000
1.2.2	bautechnische Anpassung des Ablaufgerinnes für den Einbau der Rezi-Pumpen	1	psch	10.000	10.000
1.3	sonstige Anpassungsarbeiten	1	psch	35.000	35.000
1.4	Baustelleneinrichtung	1	psch	29.000	29.000
Summe	Bereich 1				391.000
Bereich 2 Maschinentechnik					
2.1	Außerbetriebnahme und Reinigung (je Beckenstraße)	4	St	5.000	20.000
2.2	Druckluftbegaste Belebungs				
2.2.1	Demontage Belüfter und nicht mehr erforderlicher Anlagentechnik (je Straße)	2	St	20.000	40.000
2.2.2	Luftunterverteilung zur Versorgung der Plattenmodule (DN 125)	550	lfm	230	126.500
2.2.3	Plattenbelüfter (2 m ² Belüfterfläche)	240	St	1.200	288.000
2.3	Sauerstoffbegaste Belebungs				
2.3.1	Schieber für Zulaufaufteilung mit E-Antrieb	1,00	St	15.000	15.000
2.3.2	Rezipumpen für sauerstoffbegaste Belebungs mit Amaturen, Anschlüsse, Absperrschieber mit E-Antrieb und Rohrleitung	1	psch	130.000	130.000
2.4	Sonstiges	1	psch	60.000	60.000
2.5	Baustelleneinrichtung	1	psch	41.000	41.000
Summe	Bereich 2				720.500

Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Leistungsversorgung	1,00	psch	50.000	50.000
3.2	Anpassung PLS	1,00	psch	30.000	30.000
3.3	Messtechnik	1,00	psch	50.000	50.000
Summe	Bereich 3				130.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				391.000
Bereich 2	Maschinentechnik				720.500
Bereich 3	EMSR-Technik				130.000
	Summe gesamt netto				1.241.500
	Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)				223.000
	Summe gesamt netto				1.464.500
	Mehrwertsteuer 19 %				278.255
	Summe gesamt brutto				1.742.755

		Projekt: Studie Hochfeld - Belebung Variante 2a			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Betonsanierung Wasserwechselzone	1.000	m ²	175	175.000
1.2	Sonstige Anpassungsarbeiten	1	psch	15.000	15.000
1.3	Baustelleneinrichtung	1	psch	15.000	15.000
Summe	Bereich 1				205.000
Bereich 2 Maschinenteknik					
2.1	Außerbetriebnahme und Reinigung (je Beckenstraße)	4	St	5.000	20.000
2.2	Druckluftbegaste Belebung				
2.2.1	Demontage Bestandbelüfter und nicht erforderlicher Anlagentechnik (je Beckenstraße)	2	St	20.000	40.000
2.2.2	Luftunterverteilung zur Versorgung der Plattenmodule (DN 125)	550	lfm	230	126.500
2.2.3	Plattenbelüfter (2 m ² Belüfterfläche)	250	St	1.200	300.000
2.2.4	Rührwerk Deni-Kammer	2	St	12.000	24.000
2.3	Sauerstoffbegaste Belebung				
2.3.1	Demontage nicht erforderlicher Anlagentechnik	1	St	15.000	15.000
2.3.1	Rührwerk Deni-Kammer	5	St	12.000	60.000
2.4	Sonstiges	1	psch	60.000	60.000
2.5	Baustelleneinrichtung	1	psch	39.000	39.000
Summe	Bereich 2				684.500
Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Leistungsversorgung	1,00	psch	50.000	50.000
3.2	Anpassung PLS	1,00	psch	30.000	30.000
3.3	Messtechnik	1,00	psch	50.000	50.000
Summe	Bereich 3				130.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				205.000
Bereich 2	Maschinenteknik				684.500
Bereich 3	EMSR-Technik				130.000
Summe gesamt netto					1.019.500
Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)					184.000
Summe gesamt netto					1.203.500
Mehrwertsteuer 19 %					228.665
Summe gesamt brutto					1.432.165


		Projekt: Studie Hochfeld - Belebung Variante 2b			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Druckluftbegaste Belebung				
1.1.1	Abdichtung Durchführung zum Medienkanal	9	St	1.000	9.000
1.1.2	bauliche Anpassung des Zu- und Ablaufbereichs der Rohrleitung ZHW - Druckluftbegaste Belebung (vormals Rezi-Leitung)	1	psch	20.000	20.000
1.1.3	Provisorien zum Umbau der Beckenstraßen	1	psch	20.000	20.000
1.1.4	Betonsanierung Wasserwechselzone	1.000	m ²	175	175.000
1.1.5	Wanddurchbrüche zwischen Beckenkammern schließen	16	St	500	8.000
1.1.6	Wanddurchbrüche zwischen Beckenkammern erstellen	20	St	2.500	50.000
1.1.7	Anheben der Zulaufschieber und Betonaufrhöhung Zulauföffnung	2	St	5.000	10.000
1.1.8	Edelstahlablaufwehr	2	St	10.000	20.000
1.2	Sauerstoffbegaste Belebung				
1.2.1	Wanddurchbrüche für Rezi-Pumpwerk	6	St	2.500	15.000
1.2.2	bautechnische Anpassung des Ablaufgerinnes für den Einbau der Rezi-Pumpen	1	psch	10.000	10.000
1.3	sonstige Anpassungsarbeiten	1	psch	35.000	35.000
1.4	Baustelleneinrichtung	1	psch	30.000	30.000
Summe	Bereich 1				402.000
Bereich 2 Maschinentchnik					
2.1	Außerbetriebnahme und Reinigung (je Beckenstraße)	4	St	5.000	20.000
2.2	Druckluftbegaste Belebung				
2.2.1	Demontage Belüfter und nicht mehr erforderlicher Anlagentechnik (je Straße)	2	St	20.000	40.000
2.2.2	Luftunterverteilung zur Versorgung der Plattenmodule (DN 125)	550	lfm	230	126.500
2.2.3	Plattenbelüfter (2 m ² Belüfterfläche)	240	St	1.200	288.000
	Rezipumpen mit Amaturen, Anschlüsse,	4	St	22.000	88.000
	Rührwerk Deni-Kammer	2	St	12.000	24.000
2.3	Sauerstoffbegaste Belebung				
2.3.1	Schieber für Zulaufaufteilung mit E-Antrieb	1,00	St	15.000	15.000
2.3.2	Rezipumpen mit Amaturen, Anschlüsse, Absperrschieber mit E-Antrieb und Rohrleitung	1	psch	130.000	130.000
2.4	Sonstiges	1	psch	60.000	60.000
2.5	Baustelleneinrichtung	1	psch	47.000	47.000
Summe	Bereich 2				838.500


Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Leistungsversorgung	1,00	psch	50.000	50.000
3.2	Anpassung PLS	1,00	psch	30.000	30.000
3.3	Messtechnik	1,00	psch	50.000	50.000
Summe	Bereich 3				130.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				402.000
Bereich 2	Maschinentechnik				838.500
Bereich 3	EMSR-Technik				130.000
Summe gesamt netto					1.370.500
Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)					247.000
Summe gesamt netto					1.617.500
Mehrwertsteuer 19 %					307.325
Summe gesamt brutto					1.924.825

Anlage 4 Investitionskosten -

Optimierung der Nachklärung

Spurenstoffelimination mit Ozon

		Projekt: Studie Hochfeld - Nachklärung			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Erhöhung der Konsolen im Nachklärbecken	3	psch	10.000	30.000
1.2	Neubau Ablaufrinne und Tauchwand bzw. vorhandene Rinne anheben	175	lfm	960	168.000
1.4	Sonstige Anpassungsarbeiten	1	psch	20.000	20.000
1.5	Baustelleneinrichtung	1	psch	17.000	17.000
Summe	Bereich 1				235.000
Bereich 2 Maschinentechnik					
2.1.	Anpassung Saug- und Schwimmschlammräumer	3	St	30.000	90.000
2.2	Optimierung Einlaufbauwerk mit hydrograv adapt	3	St	235.000	705.000
2.3	Sonstiges	1	psch	25.000	25.000
2.4	Baustelleneinrichtung	1	psch	49.000	49.000
Summe	Bereich 2				869.000
Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Schlamm Spiegel- und Schlammprofilmessung	3	St	14.000	42.000
3.2	Anpassung PLS	1	psch	5.000	5.000
Summe	Bereich 3				47.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				235.000
Bereich 2	Maschinentechnik				869.000
Bereich 3	EMSR-Technik				42.000
Summe gesamt netto					1.146.000
Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)					100.000
Summe gesamt netto					1.246.000
Mehrwertsteuer 19 %					236.740
Summe gesamt brutto					1.482.740

		Projekt: Studie Hochfeld - Spurenstoffelimination			
		Datum: 07.02.2014			
Pos.	Leistung	Menge	Einheit	EP [EUR]	GP [EUR]
Bereich 1 Bautechnik					
1.1	Beschickungspumpwerk Ozonanlage (umbauter Raum)	150	m³	400	60.000
1.2	Rohrleitungen				
1.2.1	Beschickungspumpwerk - Ozonanlage 2 x DN400	75	m	3.000	225.000
1.2.2	Ablauf Ozonanlage - vorhandener Schacht NKB 3 DN800	70	m	3.000	210.000
1.2.3	Sonstige Rohrleitungen (Injektorteilstromleitung, Sauerstoffversorgung)	1	psch	20.000	20.000
1.3	MID-Schacht	1	psch	20.000	20.000
1.4	Schacht für Hauptstrommischer	1	psch	20.000	20.000
1.5	Betriebsraum Ozonanlage, NS-Raum (umbauter Raum)	400	m³	400	160.000
1.6	Demontage nicht erforderlicher Anlagentechnik	2	St	15.000	30.000
1.7	Abtrennung des Zu- und Ablaufs der Becken von vorhandener Abwasserbehandlung und Einbindung der neuen Leitungen	1	psch	15.000	15.000
1.8	Verschließen von Wanddurchbrüchen zum Kontaktreaktor	1	psch	4.000	4.000
1.9	ozonbeständige Abdeckung vorhandener Öffnungen im Kontaktreaktor	8	Stk	2.000	16.000
1.10	Sonstiges (Kabeltrassen, Gitterroste, Wege, etc.)	1	psch	40.000	40.000
1.11	Baustelleneinrichtung	1	psch	66.000	66.000
Summe	Bereich 1				886.000
Bereich 2 Maschinen- und Verfahrenstechnik					
2.1	Ozonerzeugung und Eintrag		psch		610.000
2.1.1	Ozon Generator, Nennleistung 4.725 g O3/h, Ozonkonzentration im Produktgas 10 wt%	2			
2.1.2	Ozoneintragssystem: Pumpe/Injektor System inkl. Pumpe, Injektor, Ventilen und Armaturen, Hauptstrommischer, Gasverteilung auf beide Straßen	2			
2.1.3	Restozonvernichter inkl. Gebläse und Demister	2			
2.1.4	Kühlwasserversorgung	2			

2.1.5	Messgeräte: Umgebungsluftmonitor Ozon und Sauerstoff, c(O ₃) im Produktgas, c(O ₃) gelöst, c(O ₃) im Abgas	2			
2.2	Umrüstung Ablaufschacht am NKB 1 zum Trennbauwerk, Einbau Klappenwehr	1	psch	10.000	10.000
2.3	Beschickungspumpen mit Amaturen	1	psch	180.000	180.000
2.4	Abwasserplattenwärmetauscher	2	Stk	20.000	40.000
2.5	Heizungs-, Sanitär- und Lüftungstechnik	1	psch	7.000	7.000
2.6	Sonstiges	1	psch	40.000	40.000
2.7	Baustelleneinrichtung	1	psch	53.000	53.000
Summe	Bereich 2				940.000
Bereich 3 EMSR-Technik					
3.1	Elektrische Ausrüstung	1,00	psch	130.000,00	130.000
3.2	Messtechnik sofern nicht in 2.1 (DOC, MID, etc.)	1,00	psch	70.000,00	70.000
3.3	Automation	1,00	psch	70.000,00	70.000
Summe	Bereich 3				270.000
Zusammenstellung nach Bereichen					
Bereich 1	Bautechnik				886.000
Bereich 2	Maschinen- und Verfahrenstechnik				940.000
Bereich 3	EMSR-Technik				270.000
Summe gesamt netto					2.096.000
Nebenkosten (Ingenieurhonorare, Gutachten)					377.000
Summe gesamt netto					2.473.000
Mehrwertsteuer 19 %					469.870
Summe gesamt brutto					2.942.870
Bereich 2 Maschinen- und Verfahrenstechnik (Optionale Nachbehandlung)					
Option					
Option 2.6	Variante N2: Schwebebett mit Umwälzrührwerk inkl. Montageöffnung	2	psch	40.000	80.000
Option 2.7	Variante N3: biologische Nachbehandlung mit Festbett, inkl. Montageöffnung	2	psch	30.000	60.000
Alternativ bei Auslegung auf Qt					
Alternativ 1.1	Beschickungspumpwerk Ozonanlage (umbauter Raum)	100	m ³	400	40.000
Alternativ 2.3	Beschickungspumpen mit Amaturen	1	psch	110.000	110.000