

STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEB PADERBORN

STUDIE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION AUF DEM GRUPPENKLÄRWERK PADERBORN-SANDE



ABSCHLUSSBERICHT

Essen, im JUNI 2013

INHALTSVERZEICHNIS

1	Vorbemerkungen	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Angaben zum Gruppenklärwerk	2
1.2.1	Kurzbeschreibung Abwasserreinigung	2
1.2.2	Kurzbeschreibung Filteranlage	5
1.2.3	Kurzbeschreibung Bemessungswerte	6
1.3	Verwendete Unterlagen	7
2	Grundlagenfeststellung & Abwasseranalyse	8
2.1	Grundlagenfeststellung	8
2.1.1	Beschreibung Einzugsgebiet	8
2.1.2	Abwassermengen	10
2.1.2.1	Täglicher Abwasserabfluss	10
2.1.2.2	Spitzenabfluss	12
2.1.3	Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage	13
2.1.4	Einwohnerwerte	15
2.1.5	Sonstige Betriebsparameter	17
2.1.5.1	Schlammindex	17
2.1.5.2	TS-Gehalt	18
2.1.6	Ablaufwerte	19
2.1.6.1	Chemischer und biochemischer Sauerstoffbedarf	19
2.1.6.2	Stickstoff	20
2.1.6.3	Phosphor	22
2.1.6.4	Perfluorierte Tenside (PFT)	23
2.1.7	Prognose zukünftiger Belastungen	24
2.2	Analyse Sondermessprogramm	26
3	Elimination von Mikroschadstoffen in grosstechnischen Anlagen	30
3.1	Anforderungen, Grenzwerte und Leitparameter	30
3.1.1	Beurteilung anhand der Trinkwasserrelevanz	30
3.1.2	Beurteilung anhand der Gewässerrelevanz	31
3.1.3	Beurteilung anhand der aktuellen Rechtsprechung	31
3.1.4	Zusammenfassung	32
3.2	Übersicht zur Elimination von Mikroschadstoffen	33
3.2.1	Eliminationsleistungen der kommunalen Abwasserreinigung	33
3.2.2	Mögliche Verfahrenstechniken	34
3.3	Elimination Mikroschadstoffe mit Aktivkohleverfahren	35

3.3.1	Grundlagen Adsorption	35
3.3.2	Verfahrensmöglichkeiten Aktivkohleadsorption	37
3.3.3	Aktivkohleadsorption mittels Pulveraktivkohle (PAK)	39
3.3.3.1	Allgemeines	39
3.3.3.2	Adsorptionsstufe, mit Kontakt- und Sedimentationsbecken sowie anschließendem Filter	39
3.3.3.3	Adsorptionsstufe mit Kontaktbecken und anschließender Filtration bzw. direkter PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters	42
3.3.4	Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle (GAK)	44
3.3.4.1	Allgemein	44
3.3.4.2	Beschreibung	44
3.4	Elimination von Mikroschadstoffe mit Ozon	46
3.4.1	Grundlagen Ozonierung	46
3.4.2	Verfahrensmöglichkeiten Ozonierung	46
3.5	Aktuelle Projekte und Forschungsvorhaben	48
4	Grundlagen weitergehende Reinigungsstufe	49
4.1	Bemessungsparamter	49
4.2	Mögliche Erweiterungsfläche	51
5	Varianten GWK Paderborn-Sande	52
5.1	Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	52
5.1.1	Verfahrensmerkmale	52
5.1.2	Vordimensionierung	53
5.1.3	Bewertung	54
5.2	Variante 2: GAK-Filtration	55
5.2.1	Verfahrensmerkmale	55
5.2.2	Vordimensionierung	57
5.2.3	Bewertung	58
5.3	Variante 3: Ozonierung	59
5.3.1	Verfahrensmerkmale	59
5.3.2	Vordimensionierung	60
5.3.3	Bewertung	61
6	Vergleich & Empfehlung	62
6.1	Wirtschaftlicher Variantenvergleich	62
6.1.1	Investitionskosten	62
6.1.2	Betriebskosten	64
6.1.3	Kostenvergleichsrechnung	66
6.1.4	Sensitivitätsanalyse	67
6.2	Technischer Variantenvergleich	69

6.3	Zusammenfassung und EMPFEHLUNG	70
6.3.1	Zusammenfassung	70
6.3.2	Empfehlung	71
7	Literatur	72

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1:	Schematisierter Lageplan des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande	3
Abbildung 1.2:	Fließbild des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande	3
Abbildung 2.1:	Ganglinie Abwasserabflüsse GWK Paderborn-Sande	10
Abbildung 2.2:	Summenhäufigkeit Trockenwetterabfluss GWK Paderborn-Sande	11
Abbildung 2.3:	Ganglinie Spitzenabfluss GWK Paderborn-Sande	12
Abbildung 2.4:	Summenhäufigkeit Spitzenabfluss GWK Paderborn-Sande	12
Abbildung 2.5:	Summenhäufigkeit CSB-Fracht Zulauf GWK Paderborn-Sande.	14
Abbildung 2.6:	Summenhäufigkeit BSB/TKN-Verhältnis Zulauf Belebung	14
Abbildung 2.7:	Summenhäufigkeit Einwohnerwerte GWK Paderborn-Sande.	15
Abbildung 2.8:	Schlammindex und Abwassertemperatur gemäß Betriebstagebuch	17
Abbildung 2.9:	TS-Gehalt gemäß Betriebstagebuch	18
Abbildung 2.10:	CSB- und BSB ₅ -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage	19
Abbildung 2.11:	N _{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage	20
Abbildung 2.12:	NH-N ₄ -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage	21
Abbildung 2.13:	P _{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage	22
Abbildung 2.14:	PFT-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage	23
Abbildung 3.1:	Entfernung von Mikroverunreinigungen in heutigen Kläranlagen [8]	33
Abbildung 3.2:	Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination	34
Abbildung 3.3:	Adsorptionsvorgänge	35
Abbildung 3.4:	Adsorptionsisotherme [nach 3]	36
Abbildung 3.5:	Verfahrensmöglichkeiten durch Aktivkohleadsorption	38
Abbildung 3.6:	Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Sedimentation und Filtration	40
Abbildung 3.7:	Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch direkte Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters	42
Abbildung 3.8:	Mikroschadstoffelimination mittels GAK-Adsorption durch nachgeschaltete Filtration	44
Abbildung 3.9:	Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung	47
Abbildung 4.1:	Bemessungswassermenge	49
Abbildung 4.2:	Gesamtelimination Arzneimittel (hier Diclofenac)	50

Abbildung 4.3:	Erweiterungsfläche (blau markiert)	51
Abbildung 5.1:	Lageplan Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken	54
Abbildung 5.2:	Fließbilder Varianten 2a und 2b (GAK Filtration)	56
Abbildung 5.3:	Lageplan Variante 2b: Neubau GAK-Filtration	57
Abbildung 5.4:	Lageplan Variante 3: Ozonierung	61
Abbildung 6.1:	Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)	63
Abbildung 6.2:	Vergleich Betriebskosten (netto, gerundet)	65
Abbildung 6.3:	Einfluss Standzeit auf Kosten GAK	68

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.1:	Historie GWK Paderborn Sande, STEB 2009	2
Tabelle 1.2:	Bauwerke des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande	4
Tabelle 1.3:	Flockungsfiltration des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande	5
Tabelle 1.4:	Auslegungswerte gemäß Änderungsentwurf von 1994	6
Tabelle 1.5:	Auslegungswerte gemäß Anlagenoptimierung 2008	6
Tabelle 1.6:	Überwachungswerte GWK gemäß Erlaubnisbescheid vom 23.10.2009	6
Tabelle 2.1:	Einwohnerzahlen EZG GWK für 2011	8
Tabelle 2.2:	Kenndaten relevanter Indirekteinleiter	9
Tabelle 2.3:	Abwasserabflüsse zum GWK Paderborn 2008-2011	11
Tabelle 2.4:	Frachten Zulauf GWK Paderborn 2008-2011	13
Tabelle 2.5:	Frachten Zulauf BB Paderborn 2008-2011	13
Tabelle 2.6:	EW-Entwicklung für Prognosebelastung des GWK	24
Tabelle 2.7:	KA Belastung für Prognosezustand 2041	25
Tabelle 2.8:	Zusammenfassung Sondermessprogramm (2012) auf dem GWK (1/2)	27
Tabelle 2.9:	Zusammenfassung Sondermessprogramm (2012) auf dem GWK (2/2)	28
Tabelle 2.10:	Einordnung der Ergebnisse SMP 2012 anhand von Referenzwerten	29
Tabelle 3.1:	Qualitätskriterien und Zielwerten für Mikroschadstoffe des LANUV	32
Tabelle 3.2:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in das Kontaktbecken [4], [5], [8].	41
Tabelle 3.3:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters [4], [5], [8].	43
Tabelle 3.4:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei GAK-Filtration [4], [5], [8].	45
Tabelle 3.5:	Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei Ozonierung [4], [5], [8].	47
Tabelle 3.6:	Aktuelle Projekte und Forschungsvorhaben NRW (Stand 12/2012)	48
Tabelle 5.1:	Vordimensionierung Variante 1	53
Tabelle 5.2:	Vordimensionierung Variante 2a und 2 b	57
Tabelle 5.3:	Vordimensionierung Variante 3	60
Tabelle 6.1:	Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)	62

Tabelle 6.2:	Vergleich Betriebskosten (netto)	65
Tabelle 6.3:	Vergleich Kostenvergleichsrechnung (gerundet)	66
Tabelle 6.4:	Sensitivitätsanalyse, Veränderung Jahreskosten (gerundet).	67
Tabelle 6.5:	Technischer Variantenvergleich	69

ANHANGVERZEICHNIS

- Anhang A : KOSTENANNAHME**
Anhang B : KLÄRTECHNISCHE BERECHNUNGEN
Anhang C : PRÜFBERICHTE ANALYTIK
Anhang D : ZEICHNUNGEN

ZEICHNUNGEN

Plan-Nr.	Bezeichnung	Maßstab
2702 / 01 E 01	Lageplan, Variante 1, Pulveraktivkohledosierung	1:250
2702 / 01 E 02	Lageplan, Variante 2b, GAK-Filtration	1:250
2702 / 01 E 03	Lageplan, Variante 3, Ozonierung	1:250
2702 / 02 E 01	Ozonreaktor, Variante 3, Ozonierung	1:100

1 VORBEMERKUNGEN

1.1 VERANLASSUNG

Kommunales Abwasser enthält neben Feststoffen, Sauerstoff zehrenden Verbindungen und Nährstoffen eine große Anzahl organischer Spurenstoffe (Mikroschadstoffe). Laut Deutscher Bundestag „subsumiert der Begriff anthropogene Spurenstoffe verschiedene Stoffe mit Umweltrelevanz, die ... neben den bereits bekannten prioritären Schadstoffen verstärkt als Mikroverunreinigungen in Kläranlagen und Fließgewässern nachgewiesen wurden. Es handelt sich hierbei vor allem um Humanarzneimittel- und Kosmetikrückstände, Waschmittelinhaltsstoffe, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln und Dünger sowie Nanopartikel aller Art. Anthropogene Spurenstoffe gelangen vor allem über Abwässer in die Umwelt [...]“ [13].

Mikroverunreinigungen können dabei bereits in sehr niedrigen Konzentrationen (ng/L bis µg/L) nachteilige Wirkungen auf die aquatischen Ökosysteme haben und / oder die Gewinnung von Trinkwasser aus dem Rohwasser negativ beeinflussen.

Bei der Planung und dem Betrieb kommunaler Abwasserbehandlungsanlagen besteht bis zum derzeitigen Zeitpunkt (Stand 05/2013) jedoch noch keine verbindliche Vorgabe zur gezielten Elimination definierter organischer Mikroschadstoffe.

Resultierend aus den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie an den Zustand europäischer Oberflächengewässer sowie der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) könnte in Zukunft jedoch eine gezielte Elimination vom Gesetzgeber gefordert werden.

Vor diesem Hintergrund beauftragte der Stadtentwässerungsbetrieb (STEB) Paderborn Dahlem Beratende Ingenieure, mit einer Studie zur Spurenstoffelimination auf dem Gruppenklärwerk (GKW) Paderborn-Sande.

Diese Studie wird hiermit vorgelegt.

1.2 ANGABEN ZUM GRUPPENKLÄRWERK

1.2.1 Kurzbeschreibung Abwasserreinigung

Das Gruppenklärwerk umfasst die folgenden Stufen:

- Mechanische Reinigungsstufe mit Feinrechen, belüftetem Sandfang und Vorklä-
 rung
- Biologische Reinigungsstufe mit Umlaufbecken zur simultanen Denitrifikation und
 Phosphor-Simultanfällung
- Chemische Reinigungsstufe mit Flockungsfiltration zur Rest-Phosphor-Elimination
 und Suspensaentnahme
- Prozesswasserbehandlung zu Reinigung von internen Abwasserströmen aus der
 Schlammbehandlung

Basierend auf der Neufassung des genehmigten Entwurfes von 2009 lässt sich folgende
 Planungshistorie zusammenfassen.

Tabelle 1.1: Historie GWK Paderborn Sande, STEB 2009

Zeitraum	Beschreibung
1981	mech.-biol. KA (2 VKB, 4 BB, 4 NKB, 2FB); <u>400.000 EW</u>
1989	1. Erweiterung (2 BB, 1 NKB) auf <u>470.000 EW</u>
1993	Errichtung Flockungsfiltration mit 16 Filterkammern
1999	2. Erweiterung (4 BB, 1 NKB, Filterausgleichsbehälter, Grünsalz- und Methanoldosierung) auf <u>593.000 EW</u>
2005	2. Erweiterung (Filtratwasserausgleich) auf <u>593.000 EW</u>
2008	Verfahrensoptimierung mit Kaskadierung der Belebungsbecken und separate Filtratwasserbehandlung (SBR in einem BB), Bemessung auf <u>332.000 / 536.000 EW</u>

Die nachfolgende Abbildung 1.2 zeigt den Lageplan und Abbildung 1.2 die Fließwege des
 Gruppenklärwerks Paderborn. Die Darstellung wurde zur Vereinfachung stark schemati-
 siert.

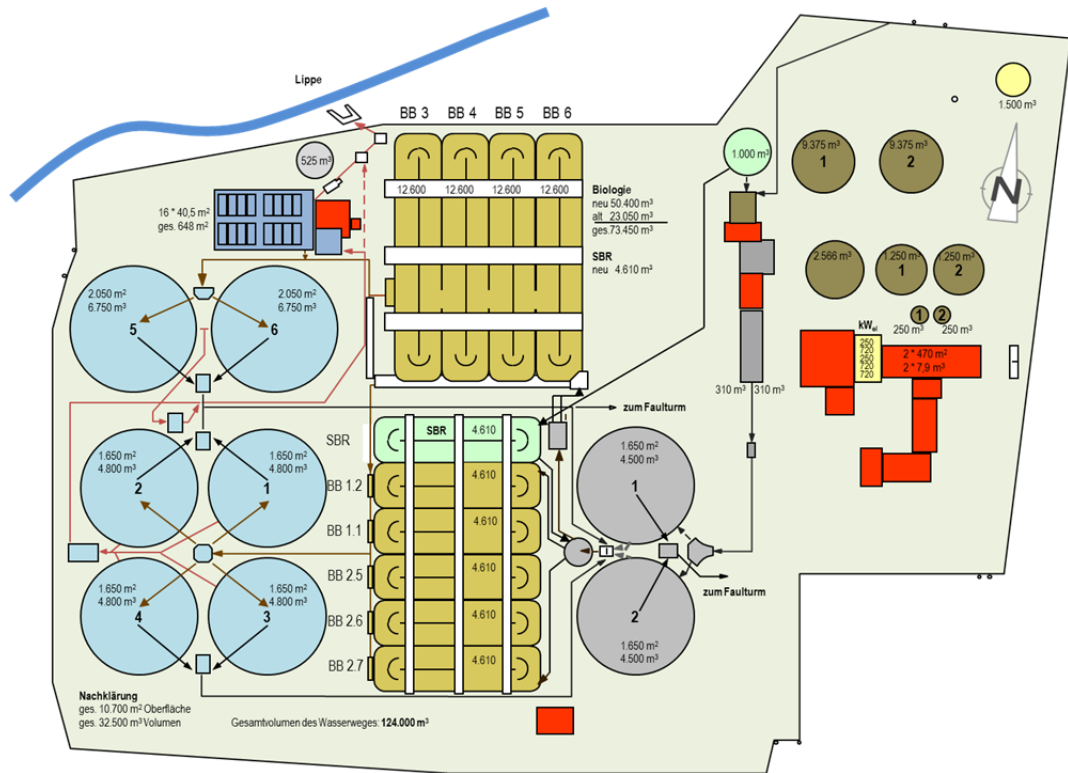


Abbildung 1.1: Schematisierter Lageplan des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande

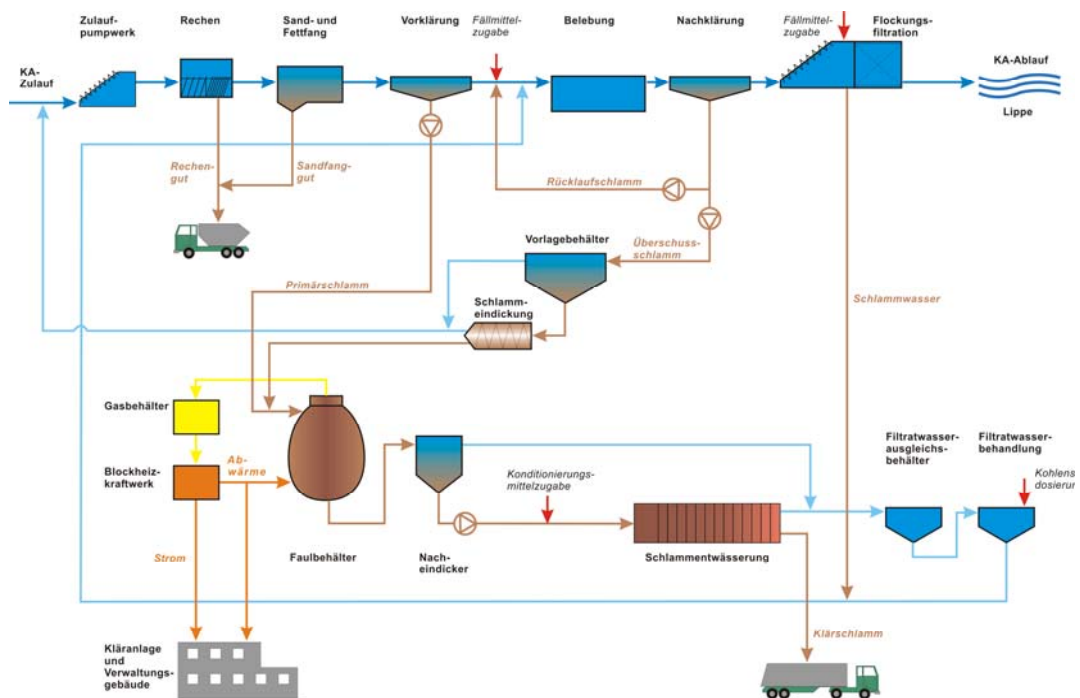


Abbildung 1.2: Fließbild des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande

Das Klärwerk besteht im Wesentlichen aus den folgenden Bauwerken:

Tabelle 1.2: Bauwerke des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande

Anlagenteil	Beschreibung
Zulaufhebwerk	4 Schneckenpumpen, 2 DN 1800 Förderleistung 1.800/2.700 m³/h 2 DN 2000 Förderleistung 3.000 m³/h
Rechenanlage	3 Feinrechen, Breite 1.500 mm, Stabweite 6 mm
Sandfang- und Fettfang	1 zweikammriger belüfteter Sandfang mit Fettfang und Sandwäscher $V = 2 \times 310 \text{ m}^3 = 620 \text{ m}^3$
Vorklärbecken	2 Rundbecken, $V = 2 \times 4.500 \text{ m}^3 = 9.000 \text{ m}^3$
Verteilerbauwerk	Bauwerk mit 8 Abgängen zur Verteilung auf die Belebungsbecken
Belebungsbecken	5 Umlaufbecken á 4.610 m³ in zwei Beckengruppen 4 Umlaufbecken á 12.600 m³ $V_{\text{ges.}} = 73.450 \text{ m}^3$
Nachklärbecken	4 Rundbecken, $\varnothing = 45,8 \text{ m}$, $h_m = 2,9 \text{ m}$, $V = 4.785 \text{ m}^3$ 2 Rundbecken, $\varnothing = 51,1 \text{ m}$, $h_m = 3,3 \text{ m}$, $V = 6.765 \text{ m}^3$ $V_{\text{ges.}} = 32.670 \text{ m}^3$, $A_{\text{ges.}} = 4 \times 1.650 + 2 \times 2.050 = 10.700 \text{ m}^2$
Filtratwasserbehandlung	1 Umlaufbecken der alten Belebung im SBR Betrieb $V_{\text{ges.}} = 4.610 \text{ m}^3$
Externe C-Quelle	1 Lagerbehälter mit $V = 30 \text{ m}^3$, Dosieranlage
Vorlagebehälter	1 Schlammvorlagebehälter, $\varnothing = 26,0 \text{ m}$, $V = 2.500 \text{ m}^3$
Faulbehälter	2 Spannbetonbehälter, $V = 2 \times 9.375 \text{ m}^3 = 18.750 \text{ m}^3$
Gasbehälter	1 Trockengasbehälter, $V = 1.500 \text{ m}^3$
Nacheindicker	2 Rundbehälter, $\varnothing = 20 \text{ m}$, $V_{\text{ges.}} = 2 \times 1.250 \text{ m}^3 = 2.500 \text{ m}^3$
Schlammwässerung	2 Zentrifugen
Filtratbehälter	1 Ausgleichsbehälter zur Zwischenspeicherung der Filtratwässer, Rundbehälter $\varnothing = 18,60 \text{ m}$, $V = 1.000 \text{ m}^3$

1.2.2 Kurzbeschreibung Filteranlage

Aufgrund einer möglichen Einbindung des bestehenden Flockungsfilters in Verfahren der weitergehenden Abwasserreinigung findet eine gesonderte Kurzbeschreibung der Filterstufe statt.

Der Flockungsfiltration fließt der Ablauf der Nachklärbecken zu. Die Beschickung erfolgt über ein Schneckenhebewerk.

Über die Zulaufrinne wird das Wasser den Filtern zugeleitet. Die Filter werden abwärts durchströmt.

Die Filterbetttiefe des abwärts durchströmten Raumfilters beträgt bei 40,5 m² Filterfläche 1,95 m. Der Filterüberstau beträgt maximal 2,3 m (Notüberlauf bei 2,4 m).

Das gefilterte Wasser fließt über die Ablaufleitung dem Filtratspeicher zu, von wo aus der Ablauf über den Mess- und Kontrollschacht zum Auslaufbauwerk fließt.

Die Filter werden mittels 3 Spülwasserpumpen und 3 Spülgebläsen rückgespült.

Die Spülwasserpumpen ziehen das Spülwasser aus dem Filtratspeicher, welcher mit dem Ablauf der Filter beschickt wird.

Tabelle 1.3: Flockungsfiltration des Gruppenklärwerks Paderborn-Sande

Anlagenteil	Beschreibung
Flockungsfiltration	16 Filtereinheiten, Mehrschichtfilter, Fällungsflockung, $A = 16 \times 40,5 \text{ m}^2 = 648 \text{ m}^2$

1.2.3 Kurzbeschreibung Bemessungswerte

Das Gruppenklärwerk ist auf folgende Werte ausgelegt:

Tabelle 1.4: Auslegungswerte gemäß Änderungsentwurf von 1994

	Entwurf 1994				
	Zulauf KA	Zulauf BB	Zulauf KA	Zulauf BB	EW
	kg/d	kg/d	g/EW	g/EW	-
CSB		42.880	120	80	536.000
BSB	32.130	21.440	60	40	536.000
N_{ges}	4.707	4.280	11	10	428.000
P_{ges}	1.100	685	2,6	1,6	428.000

Die dem Entwurf von 1994 zugrunde liegenden Wassermengen lagen bei $Q_{d,T} = 93.550 \text{ m}^3/\text{d}$; $Q_M = 8.256 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie $Q_T = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Durch die verfahrenstechnische Umstellung der Belebungsstufe des GWK Paderborn und die daraus hervorgehende Verringerung des aktiven Belebungsbeckenvolumens von 78.060 m^3 auf 51.630 m^3 sowie der maximal möglichen Sauerstoffzufuhr, verminderte sich der maximale Anschlusswert. Dieser Betriebsweise liegen Bemessungsparameter entsprechend der nachfolgenden Tabelle zugrunde:

Tabelle 1.5: Auslegungswerte gemäß Anlagenoptimierung 2008

	Optimierung 2008				
	Zulauf KA	Zulauf BB	Zulauf KA	Zulauf BB	EW
	kg/d	kg/d	g/EW	g/EW	-
CSB	39.840	26.586	120	80	332.000
BSB	19.920	13.293	60	40	332.000
N_{ges}	2.915	2.654	11	10	265.000
P_{ges}	665	425	2,5	1,6	266.000

Die Bemessungswassermenge wurde hierbei mit $Q_{d,T} = 73.433 \text{ m}^3/\text{d}$ angesetzt.

Tabelle 1.6: Überwachungswerte GWK gemäß Erlaubnisbescheid vom 23.10.2009

Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) [mg/l]	Biochemischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen (BSB ₅) [mg/l]	Ammoniumstickstoff (NH ₄ -N) [mg/l]	Gesamtstickstoff, anorganisch (NH ₄ -N + NO ₃ -N) [mg/l]	Gesamt-Phosphor (P _{ges}) [mg/l]
60	15	3	13	0,8

Der CSB-Ablaufwert wurde gemäß §4 Abs 5 AbwAG vom 23.05.2012 auf einen Wert von 40 mg/l heruntererklärt.

1.3 VERWENDETE UNTERLAGEN

Folgende Entwurfsunterlagen für die bestehenden Anlagen, Bestandspläne und sonstige planerisch relevante Dokumentationen wurden für die Erarbeitung der vorliegenden Studie verwendet:

- Genehmigungsentwurf zur Erweiterung des GWK Paderborn-Sande, Ingenieurbüro Dr. Dahlem, Essen, Februar 1990
- Änderung des genehmigten Entwurfes zur Genehmigung nach § 58 LWG-NRW für die Erweiterung des GWK Paderborn-Sande, Ingenieurbüro Dr. Dahlem, Essen, Mai 1994
- Erlaubnisbescheid Bezirksregierung Detmold vom 23.10.2009
- Abgabeerklärung gemäß § 6 AbwAG, Veranlagungsjahr 2013
- Betriebstagebücher des GWKs Paderborn-Sande von 2008 bis 2011
- Energetische Feinanalyse John Becker Ingenieure 2009
- Diverse Verfahrensfließbilder und Übersichten
- Originaldaten bisheriger Sondermessprogramme
- Angaben der wichtigsten Indirekteinleiter und deren Abwasserfrachten, STEB Paderborn 2012
- Bestandspläne inkl. M+E-Technik (Abwasser) des GWKs Paderborn Sande (digital)
- Unterlagen über Baugrund sowie Grundwasserstände
- Dienst- und Betriebsanweisung
- Potenzielle Erweiterungsflächen sowie Grundstücksgrenzen
- Verfahrenstechnische Anlagedaten
- Einwohner- und Industrieentwicklung der Stadt Paderborn, statistisches Amt Stadt Paderborn, 2012

2 GRUNDLAGENFESTSTELLUNG & ABWASSERANALYSE

2.1 GRUNDLAGENFESTSTELLUNG

Im Rahmen der Grundlagenfeststellung wurden die Betriebsdaten der Jahre 2008 - 2011 ausgewertet.

2.1.1 Beschreibung Einzugsgebiet

Die Stadt Paderborn liegt im Einflussbereich des Lippe-Oberlaufs sowie dessen wichtigster Nebenflüsse Pader und Alme. Die Topologie des Einzugsgebietes des Gruppenklärwerkes Paderborn-Sande ist weitestgehend eben.

Im GWK Paderborn-Sande erfolgt die Behandlung des Abwassers von ca. 151.000 Einwohnern (Stand 2011). Das zugehörige Einzugsgebiet (EZG) erstreckt sich dabei über die Ortsteile Kernstadt, Neuhaus, Elsen, Sande, Marienloh, Wewer, Benhausen und Neuenbeken. Für den Ortsteils Dahl wurde in der Vergangenheit aufgrund seiner geographischen Lage das Abwasser in einer separaten Kläranlage der STEB Paderborn behandelt. Ab Mitte 2013 erfolgt ein Umschluss des Ortsteils Dahl an das Kanalnetz des GWK womit gleichzeitig die KA Dahl abgeschaltet wird.

Nachfolgend sind in Tabelle 2.1 die Einwohnerzahlen (EZ) der einzelnen Ortsteile für das Jahr 2011 aufgeführt.

Tabelle 2.1: Einwohnerzahlen EZG GWK für 2011

Ortsteil	Jahr
	2011
Kernstadt	80.723
Neuhaus	25.433
Elsen	16.043
Sande	5.929
Marienloh	2.972
Wewer	6.914
Benhausen	2.378
Neuenbeken	2.297
n. gemeldet	8.500
Gesamt EZG GWK bis Mitte 2013	151.189
Dahl	2.739
Gesamt EZG GWK ab Mitte 2013	153.928

Zusätzlich behandelt das GWK der STEB das Abwasser mehrerer größerer Industriebetriebe im EZG, da diese in Form von Indirekteinleitern an das Kanalnetz der STEB angeschlossen sind. Je nach Art der Betriebe kommt es zu ausgeprägten Kampagnenproduktionen, welche durch schwankende Abwassermenge und -zusammensetzung den Reinigungsprozess im GWK zu beeinflussen. In Tabelle 2.2 sind einige Kenndaten der relevanten Indirekteinleiter aufgeführt.

Tabelle 2.2: Kenndaten relevanter Indirekteinleiter

Indirekteinleiter	Abwassermenge Q		Frachten			
	Jahreswasser- menge	mittleres tägl. Q	85%-til CSB- Fracht	EGW ₁₂₀	85%-til TKN- Fracht	EGW ₁₁
Einheit	[m³/a]	[m³/d]	[kg/d]	[-]	[kg/d]	[-]
Zulauf GWK	18.459.460		27.643	230.359	2.636	239.621
Paderborner Brauerei	238.412	1.626	5.876	48.967	145	13.182
Westfleisch	306.403	954	3.735	31.125	389	35.364
Stute Kühlhaus	868.540	3.069	633	5.275	k.A.	-
Penn Elastic	250.126	k.A.	330	2.747	k.A.	-

Wie die Aufstellung in Tabelle 2.2 zeigt, unterscheiden sich bei den Indirekteinleitern jeweils die einzelnen Frachtgrößen u.a. stark bis mäßig voneinander. Exemplarisch wird hierbei die Paderborner Brauerei genannt.

Bei dieser liegen die einwohnerspezifischen Gleichwerte (EGW) für CSB bei ca. 50.000 und für TKN hingegen bei ca. 13.000. Obwohl die Firma Stute mit ca. 870.000 m³/a mehr als 50 % der Abwassermenge der Indirekteinleiter (ca. 1,5 Mio. m³/a) ausmacht, spielen die daraus resultierenden CSB-Frachten dieses Indirekteinleiters eine untergeordnete Rolle.

Dies resultiert aus der am Standort bereits vorgenommenen Vorbehandlung des einzuleitenden Abwasseranteils bei der bereits ein großer Abbau an Kohlenstoff vor Einleitung in das Kanalnetz vollzogen wird.

Bei Gesamtbilanzierung der angeschlossenen Einwohnerwerte (EW) mit 153.928 EZ sowie folgenden Ansatz

$$EW_x = EZ + EGW$$

wurde festgestellt, dass eine Bilanzierung der Stickstofffrachten (EW₁₁) gegenüber den CSB-Frachten (EW₁₂₀) schlüssiger erscheint.

Ursache ist hierbei die Verfälschung der relativen CSB-Frachten aufgrund der teilweise vorhandenen Vorbehandlungsanlagen sowie stark schwankender CSB-Frachten der Indirekteinleiter.

2.1.2 Abwassermengen

2.1.2.1 Täglicher Abwasserabfluss

Die Ganglinie der Tagesabwassermenge Q_d im Zulauf von Januar 2008 bis Dezember 2011 ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die Trockenwetterzuflüsse wurden ermittelt, indem Regentage ($>0,3$ mm Niederschlag) und jeweils ein Tag Regennachlauf ausgeschlossen wurden. Die Mittel-, Maximal- und 85%-Werte des Trockenwetterzuflusses sind in Tabelle 2.3 aufgeführt.

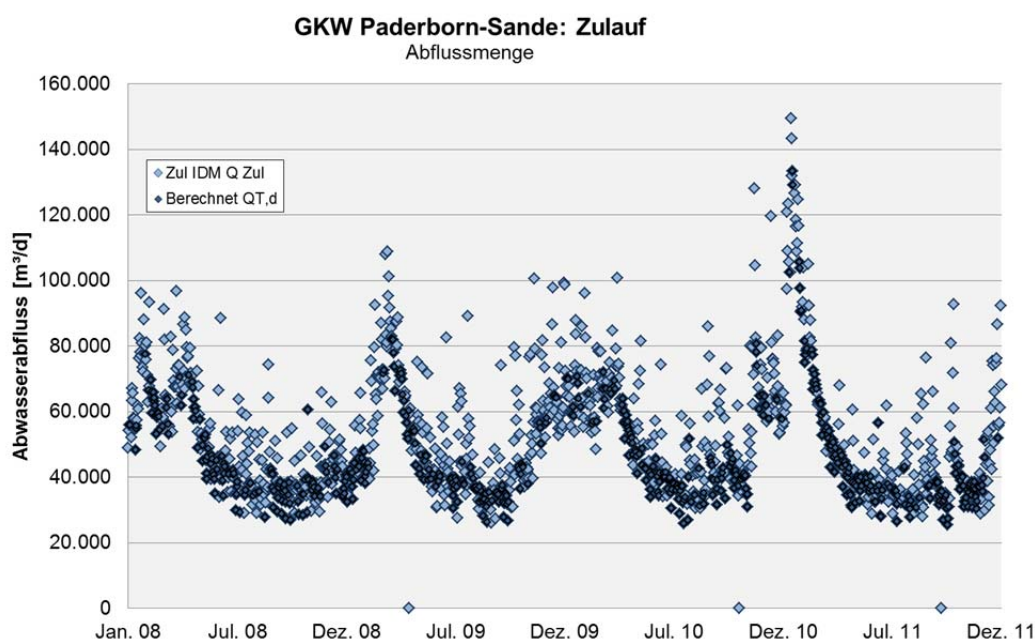


Abbildung 2.1: Ganglinie Abwasserabflüsse GWK Paderborn-Sande

Die Tagesabwassermengen im Zufluss zum GWK Paderborn schwanken sehr stark. Aufgrund der überwiegenden Entwässerung des Einzugsgebietes im Trennsystem (ca. 90%), wäre hier eine wesentlich flachere Ganglinie zu erwarten.

Eine mögliche Ursache für die periodisch erhöhten Zuflüsse könnten Kampagnenproduktionen der angeschlossenen Industriebetriebe sein. Hier sind insbesondere die Firmen Stute und Westfleisch mit saisonalen Produktionsunterschieden zu nennen.

Die ermittelte Ganglinie (Abbildung 2.1) der Trockenwetterzuflüsse unterscheidet sich nur unwesentlich von der Ganglinie der Gesamtabwassermengen, die Maximalwerte liegen weiterhin bei etwa 130.000 m³/d.

Tabelle 2.3: Abwasserabflüsse zum GWK Paderborn 2008-2011

Parameter	Tages- mittelwert	Standard- abweichung	85 %- Wert	Maximal- Wert
	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]	[m ³ /d]
Gesamtabfluss	51.574	18.351	69.960	149.471
Trockenwetterabfluss	45.544	14.244	61.322	133.480

Abbildung 2.2 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der Tagesabwassermenge bei Trockenwetter für die Jahre 2008 - 2011.

Der 85%til des Trockenwetterabflusses im Betrachtungszeitraum liegt ca. 15 % unterhalb des Bemessungsabflusses von $Q_{d,T} = 73.433 \text{ m}^3/\text{d}$ des Optimierungsentwurfes 2008.

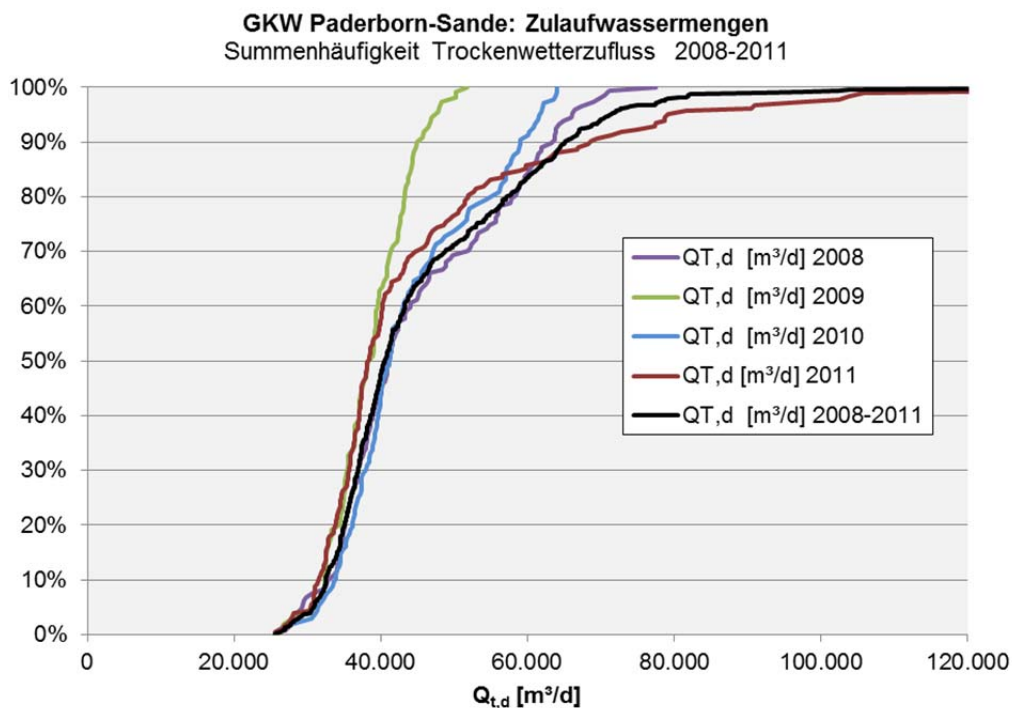


Abbildung 2.2: Summenhäufigkeit Trockenwetterabfluss GWK Paderborn-Sande

Die Summenhäufigkeitslinien weisen einen ähnlichen Verlauf auf. Lediglich im Jahr 2009 liegt die Linie im Bereich der hohen Trockenwetterabflüsse unterhalb des Durchschnittes der Vergleichsjahre.

2.1.2.2 Spitzenabfluss

Wie in Abbildung 2.3 dargestellt ist, gibt es deutliche saisonale Spitzenabflüsse.

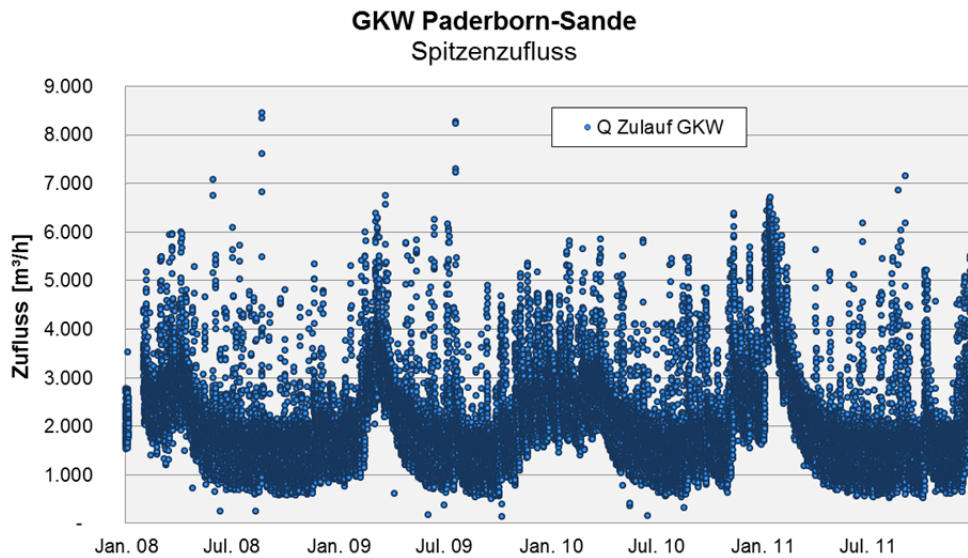


Abbildung 2.3: Ganglinie Spitzenabfluss GWK Paderborn-Sande

Aus Abbildung 2.4 ist zu erkennen, dass insbesondere die flache Steigung oberhalb des 85%til auf ausgeprägte Starkregenereignisse hinweist wobei der Trockenwetterzufluss von 3.000 m³/h die Zulaufwassermengen weitestgehend abdeckt.

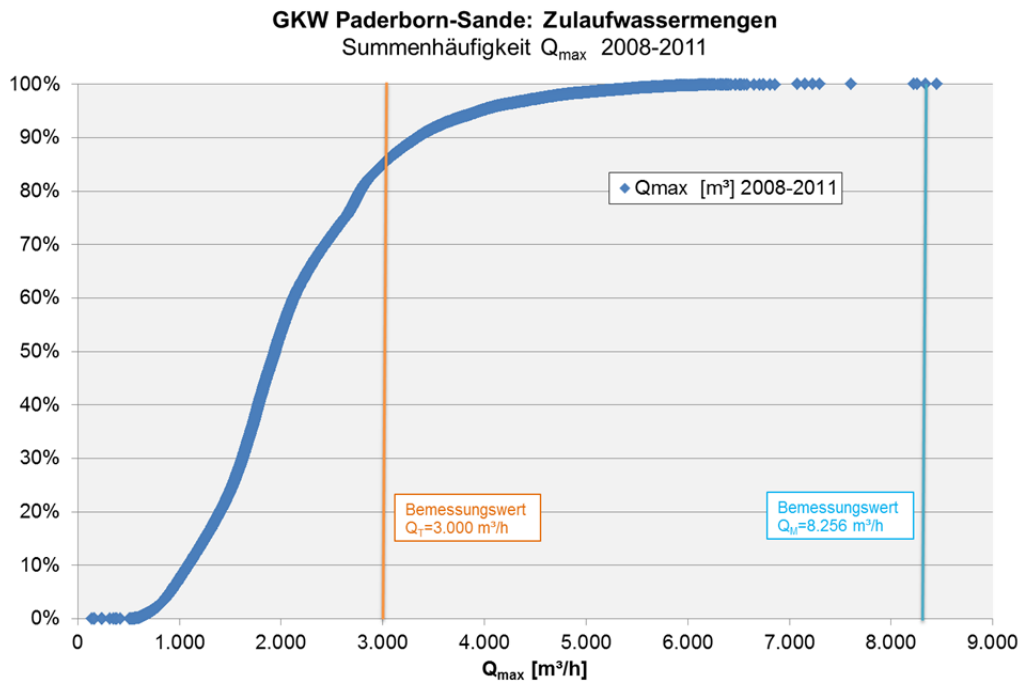


Abbildung 2.4: Summenhäufigkeit Spitzenabfluss GWK Paderborn-Sande

2.1.3 Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage

Im Betriebstagebuch werden die Zulaufkonzentrationen des chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB der homogenisierten und der sedimentierten Probe und des Gesamt-Kjeldahl-Stickstoffs (TKN als Summe von Ammonium-Stickstoff und organischen Stickstoff) aufgezeichnet.

Die Parameter CSB_{sed} und CSB_{hom} werden alle zwei Tage, der Parameter TKN etwa wöchentlich aus durchflussproportionalen 24 h-Mischproben bestimmt.

Tabelle 2.4: Frachten Zulauf GWK Paderborn 2008-2011

Parameter	Tagesmittelwert	Standardabweichung	85 %-Wert	Maximalwert
	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]
CSB_{hom}	23.106	5.422	28.315	44.176
TKN	2.396	380	2.760	3713

Tabelle 2.4 zeigt auf, dass die Frachten im Zulauf der Kläranlage deutlich unter den Bemessungswerten von $CSB = 39.840 \text{ kg/d}$ ($\Delta=29\%$) sowie $N_{ges} = 2.915 \text{ kg/d}$ ($\Delta=5\%$) liegen. Hier ist ein ausgeprägter Unterschied bei der zugeführten Kohlenstofffracht zu beobachten.

Wie aus Tabelle 2.5 ersichtlich wird, bestehen bei den Zulaufwerten der biologischen Stufe ebenfalls noch deutliche Kapazitäten im Vergleich mit den Bemessungswerten des Optimierungsentwurfes 2008 von $CSB = 26.586 \text{ kg/d}$ ($\Delta=45\%$), $BSB = 13.293 \text{ kg/d}$ ($\Delta=61\%$) sowie $TKN = 2.654 \text{ kg/d}$ ($\Delta=20\%$).

Tabelle 2.5: Frachten Zulauf BB Paderborn 2008-2011

Parameter	Tagesmittelwert	Standardabweichung	85 %-Wert	Maximalwert
	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]
BSB	3.663	1.620	5.158	12.117
CSB_{hom}	10.860	3.895	14.584	30.516
TKN	1.715	501	2.110	5.057
NH_4-N	1.080	286	1.349	2.288
P_{ges}	253	68	307	877

Die Summenhäufigkeitslinien in Abbildung 2.5 weisen einen ähnlichen Verlauf auf und lassen daher auf eine weitest gehende Homogenität im Einzugsgebiet im Betrachtungszeitraum schließen.

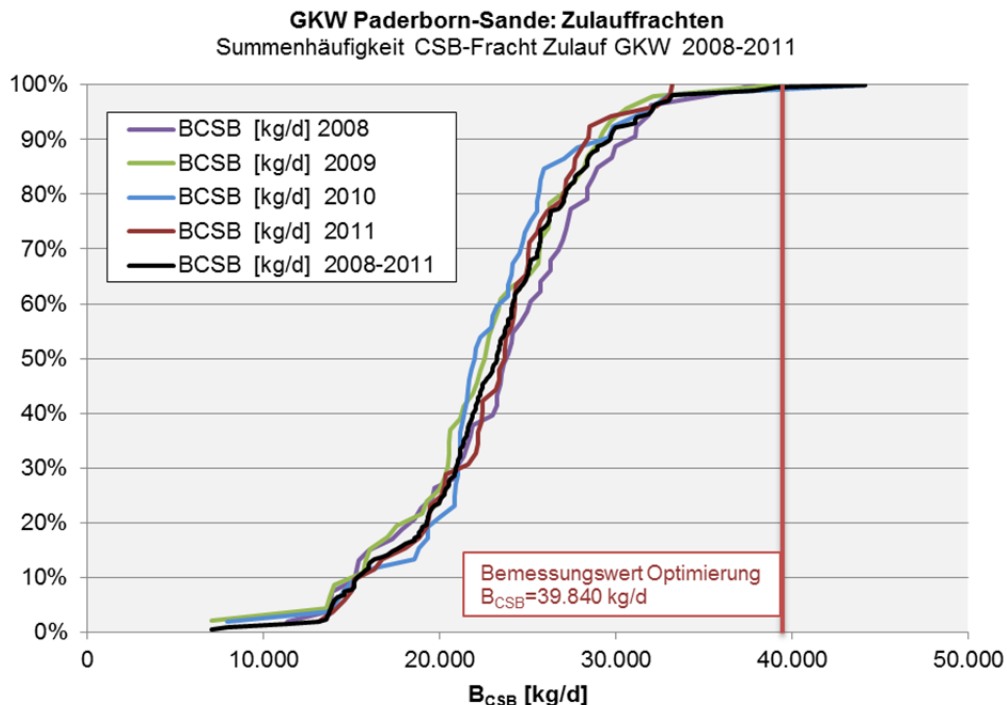


Abbildung 2.5: Summenhäufigkeit CSB-Fracht Zulauf GWK Paderborn-Sande.

Aus nachfolgender Abbildung 2.6 wird deutlich, dass das erforderlich C/N Verhältnis von 2,5 im Zulauf der Belebung oft unterschritten wird und im Mittel bei 2,1 liegt.

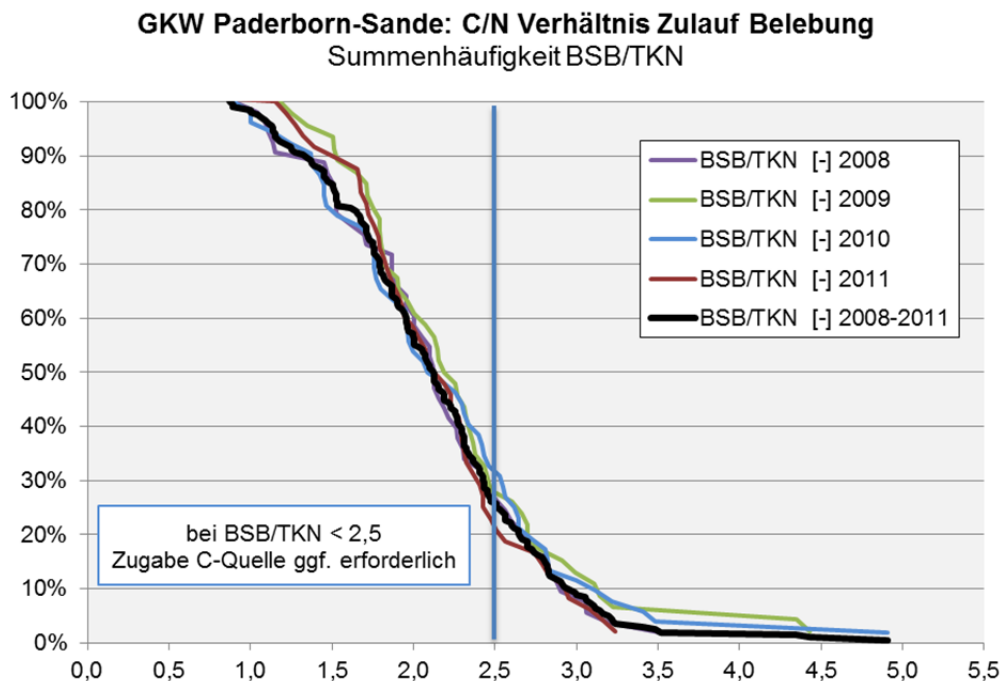


Abbildung 2.6: Summenhäufigkeit BSB/TKN-Verhältnis Zulauf Belebung

2.1.4 Einwohnerwerte

Zur Einordnung der Kläranlage in die Größenklassen nach Abwasserverordnung und zur Festlegung der Ausbaugröße ist nach ATV-DVWK-A 198 die an 85% der Trockenwettertage im Zulauf zur Kläranlage erreichte oder unterschrittene BSB₅ – Fracht ($B_{d,BSB,Z}$) ohne interne Rückflüsse zugrunde zu legen. Aufgrund der höheren Probedichte wird für das GWK-Paderborn Sande gemäß Abbildung 2.7 auf die Summenhäufigkeitsverteilung für die Einwohnergleichwerte auf Grundlage der CSB-Frachten (120 g/EW*d) sowie der TKN-Frachten (11 g/EW*d) zurückgegriffen. Weiterhin wurden EW-basierend auf abgeminderten spezifischen Frachten gemäß DWA A-131 im Ablauf der Vorklärung dargestellt.

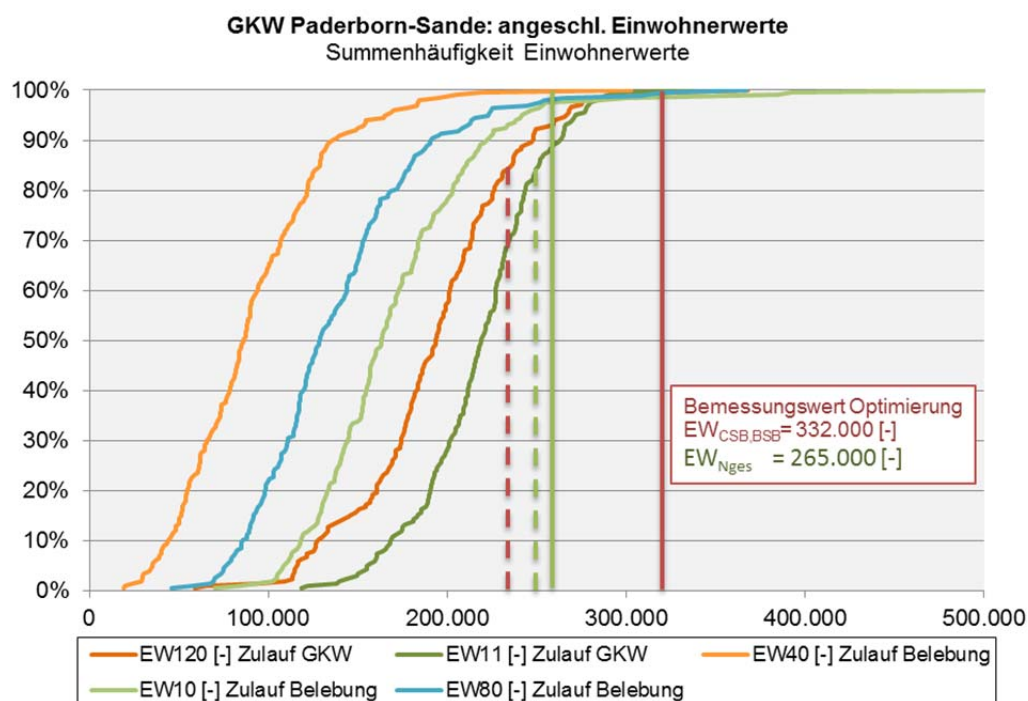


Abbildung 2.7: Summenhäufigkeit Einwohnerwerte GKW Paderborn-Sande.

Insgesamt bestätigt die Auswertung der Betriebstagebücher und des Sondermessprogramms die Erkenntnisse aus der Auswertung der Einwohner- und Indirekteinleiterstatistik bezüglich einer derzeitigen Zulaufbelastung unterhalb der Ausbaugröße.

Die ermittelten Einwohnerwerte (gestrichelt in Abbildung 2.7) im Zulauf des GWK Paderborn aus der Auswertung der Betriebstagebücher (BTB) liegen bei etwa 235.000 EW_{120} (rot) bis 250.000 EW_{11} (grün).

Eine mögliche Ursache für die geringeren CSB-Werte ist ein Vorabbau aufgrund längerer Aufenthaltszeiten im Kanalnetz und den Pumpstationen.

Der heutige Auslastungsgrad der Kläranlage bezogen auf die Ausbaugröße gemäß Anlagenoptimierung 2008 beträgt für die CSB-Belastung demnach:

$$\text{Auslastungsgrad} = \frac{\text{tatsächliche Belastung}}{\text{Ausbaugröße}} = \frac{235.000 \text{ EW}_{120}}{332.000 \text{ EW}_{120}} = \text{ca. } 70 \%$$

In Bezug auf die Stickstofffrachten stellt sich folgender Auslastungsgrad dar:

$$\text{Auslastungsgrad} = \frac{\text{tatsächliche Belastung}}{\text{Ausbaugröße}} = \frac{250.000 \text{ EW}_{11}}{265.000 \text{ EW}_{11}} = \text{ca. } 95 \%$$

Die unterschiedliche Auslastung wird durch die Erfordernis einer temporären Kohlenstoffdosierung bestätigt.

2.1.5 Sonstige Betriebsparameter

2.1.5.1 Schlammindex

Der Schlammindex als Parameter zur Bewertung der Absetzeigenschaften des Belebtschlammes hat einen entscheidenden Einfluss auf die Bemessung der Belebungsstufe, insbesondere auf die Bemessung der Nachklärbecken. Dabei wird der Raum in ml angegeben, den 1 g Trockenstoff nach 30-minütiger Absetzzeit einnimmt.

Wie aus Abbildung 2.8 ersichtlich, betrug der mittlere Schlammindex von 2008 bis 2011 162 ± 29 ml/g.

Die deutlichsten Schwankungsspitzen der letzten Jahre sind temperaturbedingt und treten in den kalten Winter- und Frühjahrsmonaten auf.

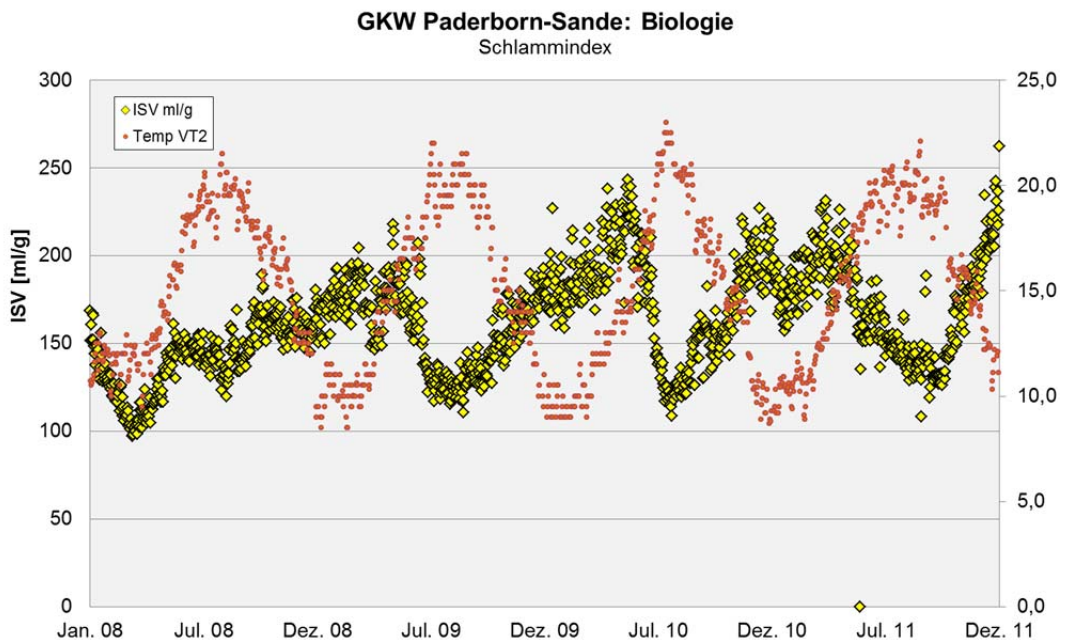


Abbildung 2.8: Schlammindex und Abwassertemperatur gemäß Betriebstagebuch

2.1.5.2 TS-Gehalt

Der Schlammgehalt im Belebungsbecken hat entscheidenden Einfluss auf die Schlammbelastung und somit auf die Abbauleistung der Belebungsstufe. Aus Abbildung 2.9 geht hervor, dass der TS-Gehalt in den Jahren 2008 bis 2011 im Mittel bei $2,6 \pm 0,3$ g/l lag.

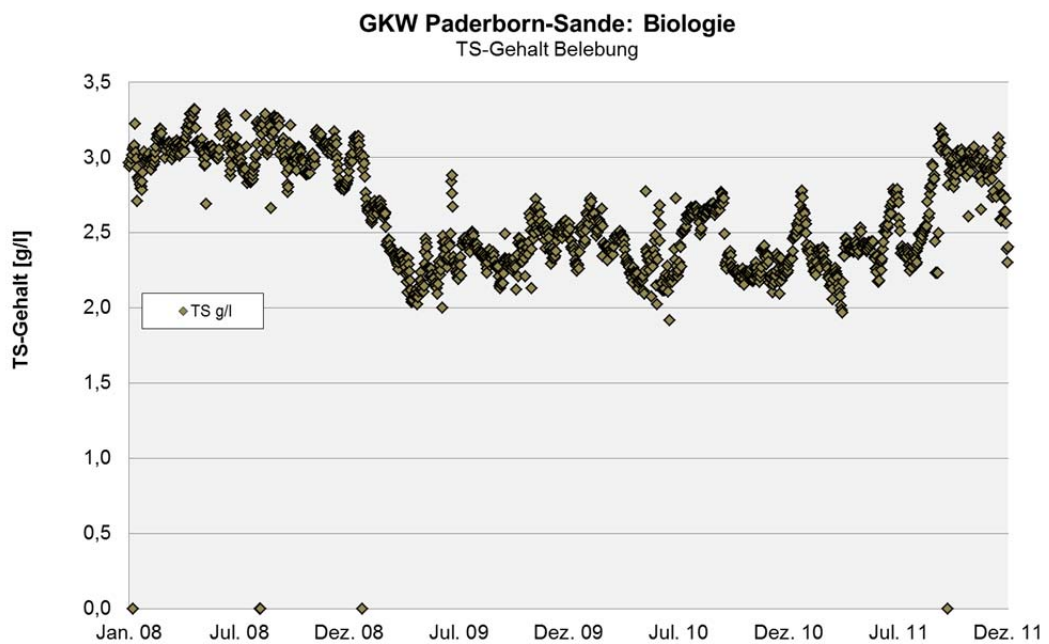


Abbildung 2.9: TS-Gehalt gemäß Betriebstagebuch

Die Anlage zeigt deutlich bessere TS-Gehalte in der Belebung, als dies gemäß A 131 zu erwarten wäre. Unter Berücksichtigung der empfohlenen Bemessungsparameter errechnet sich bei einem ISV von 162 ml/g ein maximaler TS-Gehalt in der Belebung von $TS_{BB} = 2,51$ g/l.

2.1.6 Ablaufwerte

Die Ablaufkonzentrationen von CSB, BSB₅, NH₄-N, NO₃-N, und P_{ges} werden aus durchflussproportionalen 24h-Mischproben bestimmt. Der CSB, NH₄-N, NO₃-N und P_{ges} werden täglich gemessen. Der anorganische Gesamtstickstoff wird als Summe aus NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N berechnet.

Die behördliche Überwachung ergab keine Grenzwertüberschreitung im betrachteten Zeitraum.

2.1.6.1 Chemischer und biochemischer Sauerstoffbedarf

Die Überwachungswerte von 60 mg/l CSB und 15 mg/l BSB₅ wurden in den letzten drei Jahren in den 24h-Mischproben stets deutlich unterschritten (Abbildung 2.10). Der mittlere Wert für CSB lag bei 15 mg/l, mit einer Standardabweichung von ± 4,95 mg/l.

Für die BSB₅ Ablaufkonzentrationen wurde ein Mittelwert von 1 mg/l ermittelt. Dieser Wert liegt unterhalb der Nachweisgrenze und spiegelt eine optimierte und vollständige biologische Kohlenstoffelimination wieder.

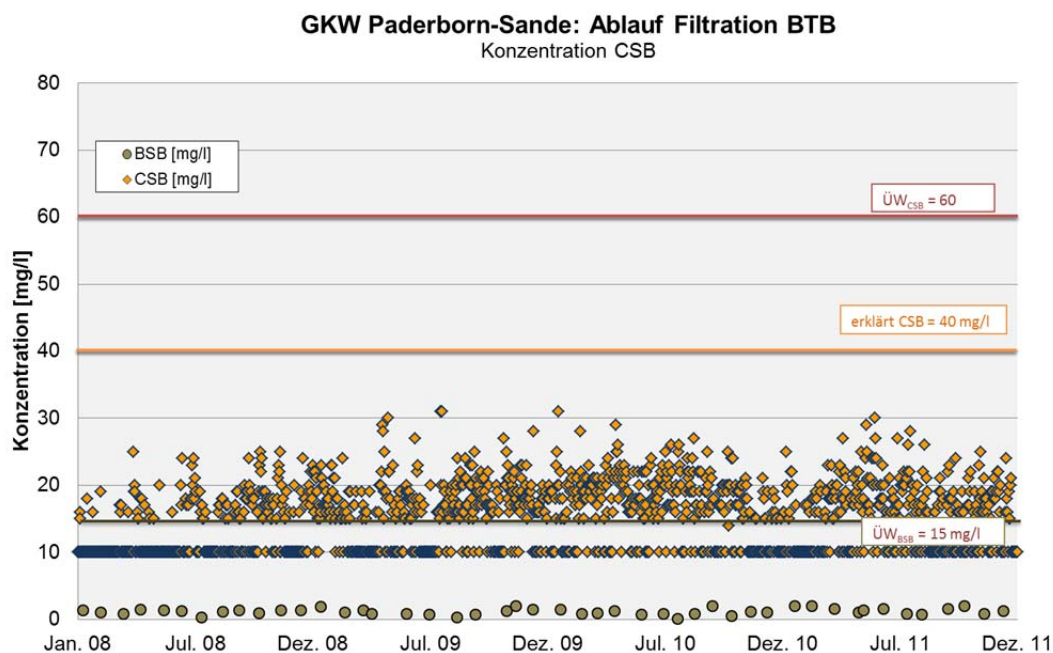


Abbildung 2.10: CSB- und BSB₅-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

2.1.6.2 Stickstoff

Wie aus Abbildung 2.11 zu erkennen ist, schwanken beim Gesamtstickstoff ($N_{\text{ges,anorg}} = \text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) die Ablaufwerte stark zwischen 2 und 12 mg/l.

Die Einhaltung im relevanten Zeitraum ist derzeit als sicher einzustufen. Der mittlere Ablaufwert der Jahre 2008 bis 2011 betrug 6,9 mg/l, mit einer Standardabweichung von $\pm 1,66$ mg/l.

Im untersuchten Zeitraum wurde zwar im gesamten Zeitraum keine deutliche Überschreitung des Überwachungswertes von 13 mg/l festgestellt.

Dennoch ist ein ausgeprägter jahreszeitlicher Verlauf zu erkennen. Da die höheren Werte allesamt in der kalten Jahreszeit auftraten, sind diese Werte unproblematisch. Darüber hinaus wird auch bei niedrigen Temperaturen der Grenzwert sicher eingehalten. Es ist zu beobachten, dass die Streubreite der Ablaufkonzentration seit 2009 geringer wird.

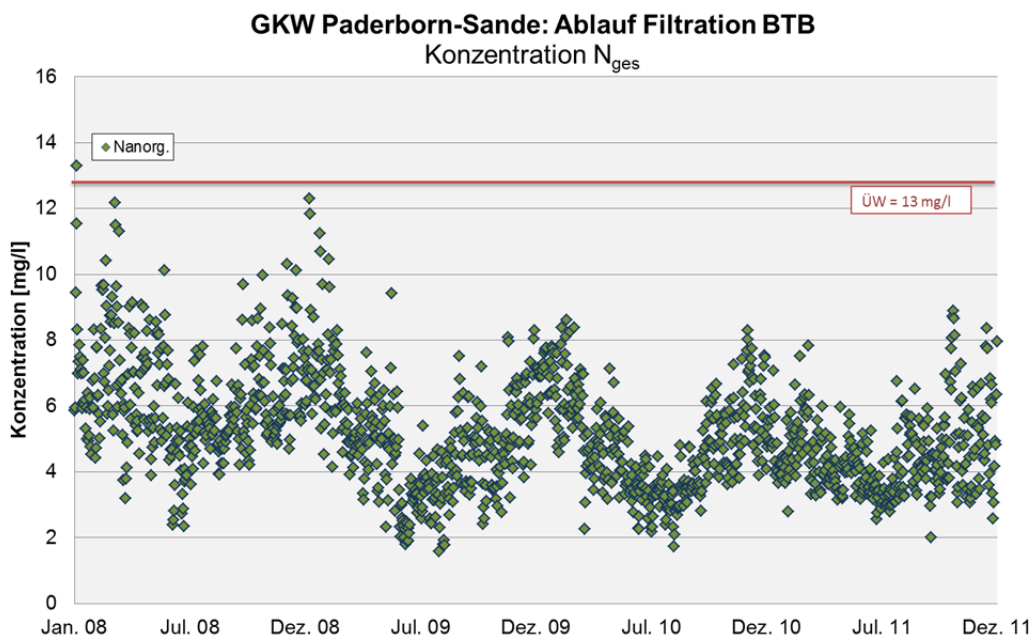


Abbildung 2.11: N_{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

Die Nitrifikation verläuft ausgezeichnet, sodass die Ablaufkonzentration des Ammoniumstickstoffs stets deutlich unter 2 mg/l liegt.

Der mittlere Ablaufwert der Jahre 2008 bis 2011 betrug 0,05 mg/l. Der maximale gemessene Wert liegt bei ca. 1 mg/l.

Dieser Wert spiegelt eine optimierte und vollständige Nitrifikation wieder.

Der Überwachungswert von 3 mg/l wird somit sicher eingehalten.

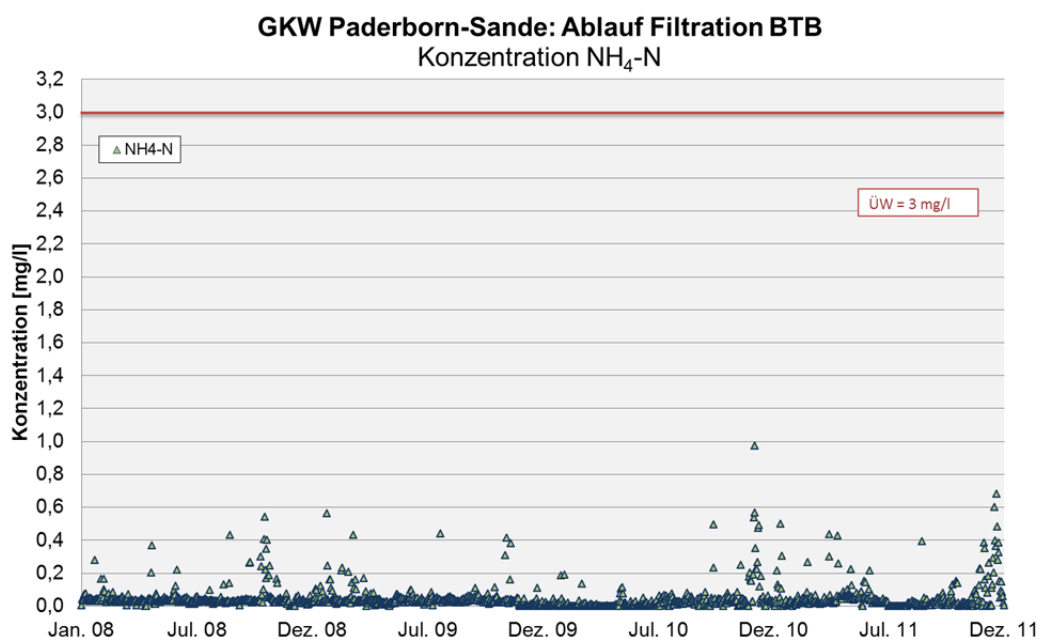


Abbildung 2.12: NH₄-N-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

2.1.6.3 Phosphor

Der Überwachungswert für Gesamtphosphor (P_{ges}) liegt bei 0,8 mg/l.

Wie in Abbildung 2.13 zu sehen ist wird dieser Wert bereits im Ablauf der Nachklärung eingehalten. Die mittlere Ablaufkonzentration im Ablauf der Kläranlage liegt unterhalb von 0,2 mg/l. Der maximal gemessene Wert der Laboranalytik lag mit 0,6 mg/l mit ausreichendem Sicherheitsabstand, unterhalb des Grenzwertes.

Die vom StUA gemessenen P_{ges} -Werte liegen deutlich unter dem Überwachungswert.

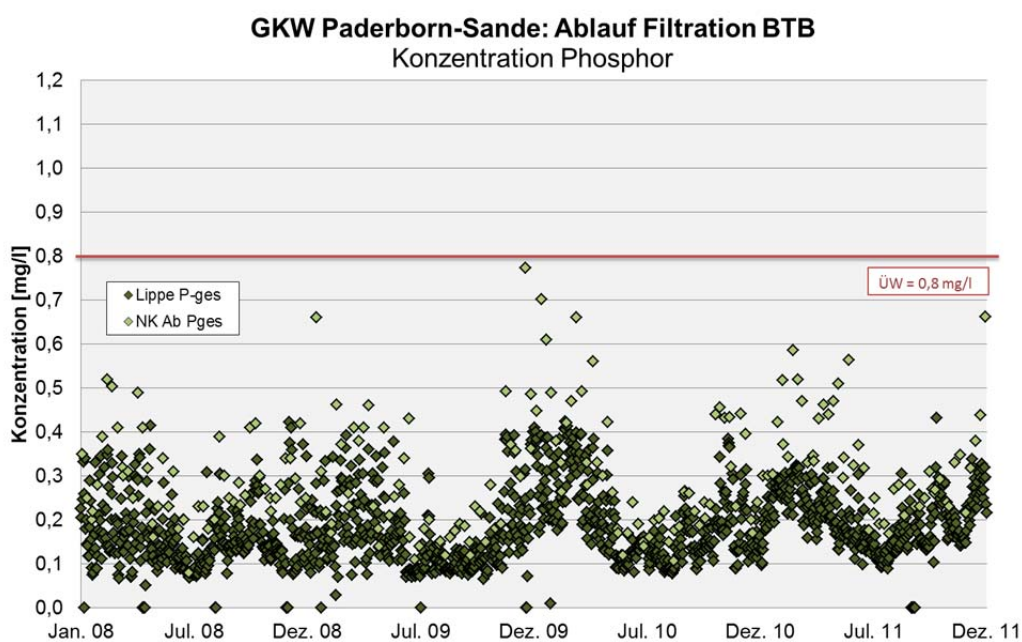


Abbildung 2.13: P_{ges} -Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

Insgesamt ist bei einem ordnungsgemäßen Betrieb der Flockungsfiltration von einer sicheren Einhaltung des Überwachungswertes für P_{ges} auszugehen.

2.1.6.4 Perfluorierte Tenside (PFT)

Seitens des STEB werden bereits seit einigen Jahren perfluorierte Tenside (PFT) im Ablauf des Gruppenklärwerkes gemessen bzw. durch veranlasste Messungen dokumentiert. Hierbei werden die bekanntesten Vertreter Perfluorooctansulfonat (PFOS) sowie Perfluorooctansäure (PFOA) untersucht, welche in Summe als PFT in Abbildung 2.14 dargestellt sind.

Der Richtwert für PFT liegt laut Umweltbundesamt bei 300 Nanogramm (= Milliardstel Gramm) / Liter Trinkwasser. Diese Menge wird als gesundheitlich unbedenklich eingestuft. Langfristig soll die Belastung jedoch auf 100 Nanogramm reduziert werden. Zurzeit gilt dieser Wert als Zielwert.

Wie in Abbildung 2.14 zu sehen ist, wird dieser Wert im Ablauf eingehalten. Die mittlere Ablaufkonzentration im Ablauf der Kläranlage liegt unterhalb von 93 mg/l. Der maximal gemessene Wert der Laboranalytik lag mit 930 ng/l oberhalb des Richtwertes.

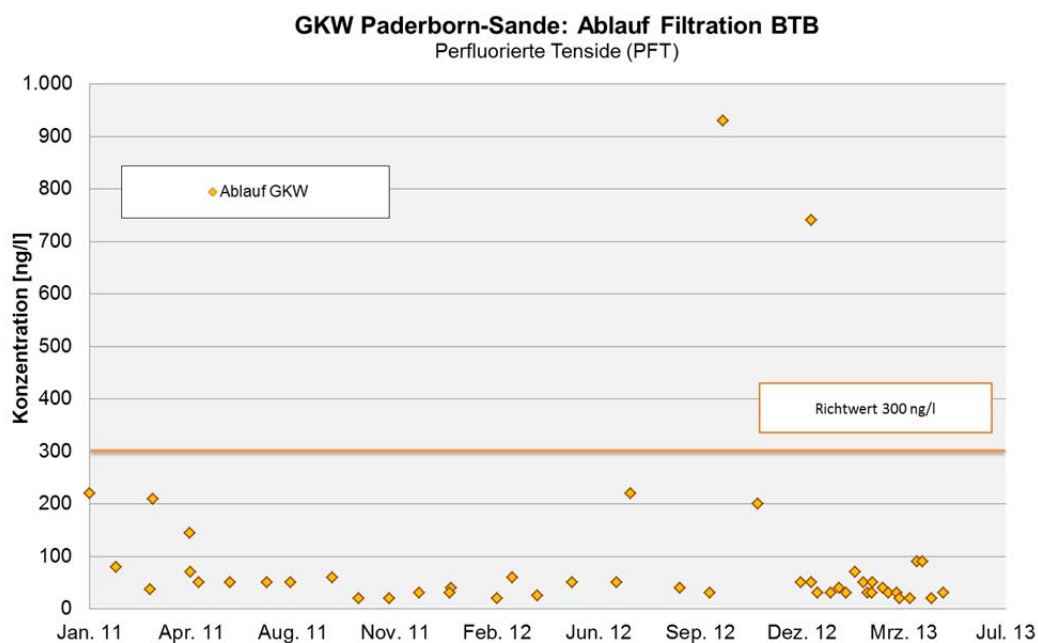


Abbildung 2.14: PFT-Konzentrationen im Ablauf der Kläranlage

Im Klärschlamm finden sich ebenfalls PFT-Rückstände, welche jedoch zeitlich nicht mit den gemessenen Werten im Ablauf des GKW korrespondieren.

2.1.7 Prognose zukünftiger Belastungen

Die Festlegung der bemessungsrelevanten Anschlussgröße erfolgt unter Berücksichtigung der Einwohner- und Industrieentwicklung sowie auf Grundlage der Angaben der Stadt Paderborn. Hierzu wurden DBI über die STEB Paderborn die Daten des statistischen Amtes der Stadt Paderborn mitgeteilt.

Basierend auf der Auswertung der Einwohnerzahlen der Jahre 2000 - 2011 im EZG konnte ein positiver Trend in Form eines gesamt durchschnittlichen jährlichen Zuwachses von 0,4 % festgestellt werden. Nach Aussagen der STEB bzw. des statistischen Amtes ist in den nächsten 19 Jahren weiterhin ein moderater Zuwachs zu erwarten. Nachfolgend ist die Entwicklung der Einwohnerzahlen in Tabelle 2.6 aufgeführt. Zusätzlich ist der Umschluss des Ortsteils Dahl an das Kanalnetz des GWK zu berücksichtigen.

Tabelle 2.6: EW-Entwicklung für Prognosebelastung des GWK

Quelle	Einwohnerangaben bis 2011 nach Angaben STEB			Bevölkerungsprognose Stadt PB (mittlere Variante, Stand 24.11.2009)		
	Einwohnerprognose bis 2030 auf Basis des jährlichen Zuwachses im Zeitraum 2000 - 2011					
Ortsteil	Jahr		Ø jährlicher Zuwachs ab 2011	Jahr 2030	Jahr	
	2000	2011			2011	2030
Kernstadt	77.039	80.723	0,4%	87.084		
Neuhaus	22.934	25.433	1,0%	30.726		
Elsen	15.312	16.043	0,3%	16.983		
Sande	5.125	5.929	0,0%	5.929		
Marienloh	2.963	2.972	0,0%	2.972		
Wewer	6.136	6.914	1,1%	8.511		
Benhausen	2.157	2.378	0,6%	2.664		
Neuenbeken	2.414	2.297	0,0%	2.297		
n. gemeldet	2.640	8.500	0,0%	8.500		
Gesamt EZG GWK bis Mitte 2013	11.500	151.189				
Dahl		2.739	0,2%	2.845		
Gesamt EZG GWK ab Mitte 2013		153.928		168.511 2.845	143.835	150.455

Da nach Angaben der STEB Paderborn in den nächsten 19 Jahren nicht mit weiteren zusätzlichen relevanten Indirekteinleitern zu rechnen ist, behalten die Bestandsdaten aus dem Jahr 2011 weiterhin ihre Gültigkeit und werden für weitere Betrachtungen gleichbleibend angenommen.

Basierend auf dem Ansatz aus Kapitel 2.1.1 $EW = EZ + EGW$ sind für das Jahr 2030 bei gleichbleibendem Industrieanteil folgende Belastungen in EW für das GWK zu berücksichtigen.

Tabelle 2.7: KA Belastung für Prognosezustand 2041

Belastungsanteil	Einheit	Jahr	
		2011	2030
Einwohner im EZG	[EZ]	153.928	150.455 *
Indirekteinleiteranteil	[EGW ₁₁]	85.693	85.693
Resultierende Gesamtbelastung	[EW₁₁]	239.621 **	236.148

* Angabe des statistischen Amtes der Stadt Paderborn, „mittlere Variante“, Stand 24.11.2009

** resultierend aus Auswertung Betriebstagebuch

Im Hinblick auf die Auslegung einer Stufe zur Elimination von Mikroschadstoffen wird der Bevölkerungsanstieg als nicht bemessungsrelevant betrachtet, da hier der Spitzenzufluss relevant ist. Dieser ist jedoch im Wesentlichen abhängig von Steuerung und Betrieb der Kanalnetzbewirtschaftung, welche vor diesem Hintergrund als gleichbleibend angenommen wird.

2.2 ANALYSE SONDERMESSPROGRAMM

Im Rahmen eines Sondermessprogramms wurde der Ablauf der Nachklärbecken/ Zulauf der Flockungsfiltration beprobt. Dies dient zur Bewertung der vorliegenden Mikroschadstoffe nach der biologischen Reinigung sowie zur Abschätzung weiterer Eliminationspotenziale durch zusätzliche Reinigungsschritte.

Hierzu wurden bereits vorliegende Messreihen der STEB des Jahres 2010 verwendet sowie ein neues Messprogramm zur Erhebung von aktuellen Messwerten im Jahr 2012 durchgeführt.

Die im Messprogramm 2012 untersuchten Parameter berücksichtigen ausgewählte Leitparameter, die nach derzeitigem Stand eine besondere Relevanz für die Spurenstoffelimination besitzen. Das Messprogramm wurde in Abstimmung mit der zuständigen Behörde (Bez. Regierung Detmold) aufgestellt.

Die Auswahl der Leitparameter erfolgte unter Berücksichtigung von gesetzlichen Grundlagen, dem Stand der Forschung sowie wirtschaftlichen Abwägungen. Hierbei wurde auf Basis einer Auswertung zahlreicher Studien seitens Dahlem B.I., eine Häufigkeitsliste von untersuchten Stoffen innerhalb aktueller Studien aufgestellt und die derzeitige Lage der rechtlichen Gesetzmäßigkeiten analysiert.

Zusätzlich wurden Entwürfe zur Aktualisierung und Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen an die europaweiten Vorgaben durch die Umsetzung der WRRL analysiert. Nach umfassender Analyse der vorliegenden gesetzlichen Grundlagen, dem Stand der Forschung und den politischen Rahmenbedingungen konnten aus diesen Unterlagen die Relevanz bzw. der Handlungsbedarf für die diskutierten und zu überprüfenden Stoffe abgeleitet werden.

Als Leitparameter konnten demnach 40 Einzelstoffe aus den Stoffgruppen

- Arzneimittel -Rückstände
- Nonylphenole/ Industriechemikalien
- Röntgenkontrastmittel
- Pflanzenschutzmittel- Rückstände
- Phthalate/ Weichmacher
- Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren
- Estrogene

definiert werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die analysierten Einzelstoffe mit deren zusammengefassten Ergebnissen des Sondermessprogrammes 2012 (SMP 2012) aufgeführt.

Tabelle 2.8: Zusammenfassung Sondermessprogramm (2012) auf dem GWK (1/2)

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Konzentrationen
Arzneimittel- Rückstände		
Diclofenac	µg/l	1,2
weitere Arzneimittelstoffe bei Diclofenactest	µg/l	0,3 - 0,7
Carbamazepin	µg/l	1
Sulfamethoxazol	µg/l	0,22
Metoprolol	µg/l	1,5
Nonylphenole/ Industriechemikalien		
Nonylphenol	µg/l	<0,1
4-Nonylphenol Isomere	µg/l	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	<0,1
4-tert.-Octylphenol	µg/l	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	<0,1
Bisphenol A	µg/l	<0,1
4-tert.-Butylphenol	µg/l	<1
Octylphenol	µg/l	<0,1
4-n-Octylphenol	µg/l	<0,1
Hexachlorbutadien	µg/l	<0,1
Röntgenkontrastmittel		
Iomeprol	µg/l	5,1
Iopromid bei Iomeproltest	µg/l	1,3
Iohexol bei Iomeproltest	µg/l	2,1
Ioxithalminsäure bei Iomeproltest	µg/l	2,4
Iopamidol	µg/l	7,7
Amidotrizoesäure	µg/l	4,9
Pflanzenschutzmittel- Rückstände		
Diuron	µg/l	<0,05
Isoproturon	µg/l	<0,05
Terbutryn	µg/l	<0,05
Phthalate/ Weichmacher		
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	<0,1
Di-isononylphthalat	µg/l	<1,0

Tabelle 2.9: Zusammenfassung Sondermessprogramm (2012) auf dem GWK (2/2)

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Konzentrationen
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren		
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	<0,1
Perfluorpentansäure (PFPA)	µg/l	<0,1
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	<0,1
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	<0,1
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	<0,1
Perfluorononansäure (PFNoA)	µg/l	<0,1
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	<0,1
Perfluorundecansäure (PFUnA)	µg/l	<0,1
Perfluordodecansäure (PFDoA)	µg/l	<0,1
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l	<0,1
Tridecafluorhexan-1-sulfonsäure (PFHxS)	µg/l	<0,1
Perfluoroctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	<0,1
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	µg/l	<0,1
Estrogene		
17 beta-Estradiol	µg/l	<0,1
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	<0,1

Um den spezifischen Handlungsbedarf für Stoffgruppen/ Einzelstoffe abschätzen und die Notwendigkeit einer weiteren Reinigungsstufe für das GWK Paderborn-Sande belegen zu können, ist eine Verifikation der gemessenen Werte erforderlich. Diese erfolgt durch eine Einordnung der gemessenen Werte anhand von Referenzwerten in Tabelle 2.10.

Die Referenzwerte beziehen sich auf Kläranlagenabläufe ohne Einfluss einer Stufe zur Elimination von Spurenstoffen.

Hierbei wurden Kläranlagen, in denen bereits ein Testbetrieb mit einer Reinigungsstufe zur Spurenstoffelimination erfolgte oder Studien zum Bedarf einer Spurenstoffelimination durchgeführt wurden.

In der nachfolgenden Tabelle erfolgt damit eine Gegenüberstellung ausgewählter Messwerte des GWKs Paderborn-Sande mit den beschriebenen Referenzwerten.

Tabelle 2.10: Einordnung der Ergebnisse SMP 2012 anhand von Referenzwerten

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Ergebnisse SMP 2012	Referenzwerte
Arzneimittel- Rückstände			
Diclofenac	µg/l	1,2	0,65 – 1,3
weitere Arzneimittelstoffe bei Diclofenactest	µg/l	0,3 - 0,7	n.v.
Carbamazepin	µg/l	1	0,2 – 1,8
Sulfamethoxazol	µg/l	0,22	0,17 – 0,64
Metoprolol	µg/l	1,5	0,16 – 1,2
Nonylphenole/ Industriechemikalien	µg/l	n.n.	n.v.
Röntgenkontrastmittel			
Iomeprol	µg/l	5,1	0,22 – 1,9
Iopromid bei Iomeproltest	µg/l	1,3	0,04 – 1,3
Iohexol bei Iomeproltest	µg/l	2,1	n.v.
Ioxithalminsäure bei Iomeproltest	µg/l	2,4	n.v.
Iopamidol	µg/l	7,7	0,07 -110
Amidotrizoesäure	µg/l	4,9	0,09 – 11,5
Pflanzenschutzmittel- Rückstände	µg/l	n.n.	0,05 – 0,37
Phthalate/ Weichmacher	µg/l	n.n.	n.v.
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren	µg/l	n.n.	< 0,3
Estrogene	µg/l	n.n.	n.v.

Legende zur Einordnung der Messwerte gegenüber Referenzwerten.

- Grün: unauffälliger Messwert, keine Bedenken; Wert liegt im Bereich der Vergleichswerte bzw. darunter
- Orange: leicht erhöhter Messwert, dennoch keine Bedenken; Wert liegt im Bereich von ca. 50 % oberhalb des Vergleichswertes
- Rot: auffällig hoher Messwert, gesonderte Betrachtung erforderlich; Wert liegt > 50 % der Literaturvergleichswerte
- n.n.: „nicht nachweisbar“ Wert nicht einordbar, kein Referenzwert vorhanden bzw. Bestimmungsgröße nicht klein genug

Aus Tabelle 2.10 lässt sich entnehmen, dass die Konzentrationen des Arzneimittels Metoprolol im Zulauf zur Filtration auf dem Gruppenklärwerk oberhalb der Referenzwerte liegen. Insbesondere das Röntgenkontrastmittel Iomeprol liegt mit einer Konzentration von 5,1 µg/l um ca.170 % über den Referenzwerten der Vergleichskläranlagen.

Wie in Kapitel 2.1.6.4 dargestellt, werden regelmäßig Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren (PFT) im Ablauf der Kläranlage gemessen, welche sich jedoch nicht im Ergebnis des Messprogrammes widerspiegeln.

3 ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN IN GROSSTECHNISCHEN ANLAGEN

3.1 ANFORDERUNGEN, GRENZWERTE UND LEITPARAMETER

Zur Bewertung der rechtlichen Relevanz der vorliegenden Ergebnisse des Messprogramms zur Spurenstoffelimination auf dem GWK, ist der Abgleich mit rechtlichen Rahmenbedingungen erforderlich, die im Rahmen einer Spurenstoffelimination derzeit bzw. zukünftig einzuhalten sind. Erst damit lassen sich Zielvorstellungen und geforderte Reinigungsgrade ableiten, die es ggf. durch eine zukünftige Stufe zur Elimination von Mikroschadstoffen zu erreichen gilt.

Grundsätzlich bestehen derzeit keine konkreten Grenzwerte oder Leitparameter für die Einleitung von Mikroschadstoffen aus Kläranlagen.

Zur weiteren Beurteilung der ermittelten Messergebnisse, vor dem Hintergrund der bestehenden Rechtsprechung, wurden daher folgende Ansatzpunkte untersucht.

3.1.1 Beurteilung anhand der Trinkwasserrelevanz

In Bezug auf die Trinkwasserrelevanz bestehen folgende Anforderungen:

- Auflagen des Umwelt Bundesamtes (UBA) für den Trinkwasserbezug durch GOW- Werte (Gesundheitlicher Orientierungswert): Angaben u.a. auch Zielwert für die Elimination von Mikroschadstoffen.
- Angaben aus Entwürfen für zukünftige Verordnungen wie u.a. Zielwerte zum Schutz von Oberflächengewässern für die Trinkwasseraufbereitung

Im Rahmen des Bewertungskonzeptes „Reine Ruhr“ des Landes NRW (MKULNV 2012) wird derzeit u.a. die Bewertung von anthropogenen Stoffen im Einzugsgebiet von Trinkwassergewinnungsanlagen durch sogenannte pauschale Vorsorge-Werte erprobt. Hier nach „wird in NRW grundsätzlich ein pauschaler Vorsorge-Wert [...] von 0,1 µg/l angestrebt und ein Wert von 10 µg/l [...] in den Fällen toleriert, in denen kein Hinweis auf eine unerschwellige Relevanz vorliegt“. [14].

Bei Bewirtschaftungsfragen soll laut Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA) aus dem Jahr 2011 für Arzneimittel und Röntgenkontrastmittel ebenfalls der allgemeine Vorsorgewert (VW_a) von 0,1 µg/l eingehalten werden. Die Einhaltung des VW_a soll sicherstellen, dass bereits im Rohwasser, einschließlich vorübergehend akzeptabler Überschreitungen, die Trinkwasserversorger auch hinsichtlich Humanarzneimittel den Umfang der Trinkwasseraufbereitung weiterhin gering halten oder ganz auf Aufbereitungsmaßnahmen zur Entfernung von Humanarzneimitteln verzichten können.

Aus den dargestellten Anforderungen bzw. Auflagen entstehen für das GWK Paderborn Sande derzeit keine Konsequenzen, da für den Ablauf bzw. in dessen unmittelbarer Umgebung momentan keine Trinkwasserrelevanz vorliegt.

3.1.2 Beurteilung anhand der Gewässerrelevanz

In Bezug auf die Gewässerrelevanz von Mikroschadstoffen sind die PNEC-Werte (**P**redicted**N**o**E**fficient**C**oncentration-Werte) der EU zu beachten. Hierbei handelt es sich um Angaben einer Konzentration von in der Regel eines umweltgefährlichen Stoffes, bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen. Wird diese Konzentration also unterschritten, sollten sich keine negativen Effekte zeigen.

Im vorliegenden Fall resultieren aus den Messergebnissen keine Auflagen. Da die Messergebnisse weit unterhalb der PNEC-Werte liegen, handelt es sich hierbei für die untersuchten Leitparameter um unbedenkliche Werte.

3.1.3 Beurteilung anhand der aktuellen Rechtsprechung

Die Umsetzungen und Vorgaben der EU durch die **WRRL** RL 2000/60 EG und neuerer Auflagen, die bereits in der aktuell gültigen deutschen Oberflächengewässerverordnung (**OGewV**) von 2011 umgesetzt wurden, geben ebenso keinen weiteren Aufschluss für die Formulierung von Anforderungen an die Elimination von Mikroschadstoffen, da hierin ebenso keine eindeutige Festlegung von Grenzwerten erfolgt.

Wasserrahmenrichtlinie WRRL RL 2000/60 EG

Die EU/ EG bzw. das UBA macht durch die Wasserrahmenrichtlinie lediglich Angaben in Form einer Liste mit 33 prioritären Stoffen bzw. Stoffgruppen. Hierin sind auch Leitparameter der Messreihe enthalten, welche wie folgt nach der Liste der prioritären Stoffe einzuordnen sind:

- Prioritär gefährliche Substanzen (für diese Stoffe ist schrittweise die Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten einschließlich eines Zeitplans vorzunehmen.):
 - Hexachlorbutadien
 - Nonylphenol
- Prioritär gefährliche Substanzen zur Prüfung (Substanzen für die noch keine Einteilung in prioritäre Substanzen und prioritäre gefährliche Substanzen erfolgt ist):
 - Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
 - Dioron
 - Octylphenole

In den Entwürfen der EU von 2006 zur Formulierung von Qualitätszielen für Oberflächengewässer werden durch sogenannte Umweltqualitätsnormen (UQN) zulässige Höchstkonzentrationen (ZHK) angegeben. Die Gewährleistung des Oberflächengewässerzustandes erfolgt dabei nach der Umweltqualitätsnorm mit Unterteilung in die Gewässerzustände guter ökologischer Zustand und guter chemischer Zustand. Auch hierbei erfolgt keine eindeutige Festlegung von Grenzwerten, die Auflagen zur Elimination von Mikroschadstoffen definieren.

Oberflächengewässerverordnung

Die Stofflisten der OGewV (2011) und diesbezüglich die Angaben in den UQN sind nicht abschließend und es gibt weitere Stoffe, die den ökologischen Zustand der Gewässer negativ beeinflussen können. Sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene sind regelmäßig Revisionen der Stofflisten vorgesehen. Die folgende Tabelle 3.1 stellt eine Auswahl von Qualitätskriterien und Zielwerten für Mikroschadstoffe des LANUV in Anlehnung an Arbeiten des LAWA, des UBA und des Ökotoxenzentrums sowie der Expertenkommission Programm „Reine Ruhr“ und MKULNV dar.

Tabelle 3.1: Qualitätskriterien und Zielwerten für Mikroschadstoffe des LANUV

Stoffgruppe/ Einzelstoff	Einheit	Ergebnisse Paderborn	Referenz- werte	Ökotox. Qualitäts- kriterium	trinkwasser- spezifischer Zielwert
Arzneimittel- Rückstände					
Diclofenac	µg/l	1,2	0,65 – 1,3	0,1	0,1 (VW _a) [*]
Carbamazepin	µg/l	1	0,2 – 1,8	0,5	0,1 (VW _a) [*]
Sulfamethoxazol	µg/l	0,22	0,17 – 0,64	0,15	0,1 (VW _a) [*]
Metoprolol	µg/l	1,5	0,16 – 1,2	7,3	0,1 (VW _a) [*]

* VWa: Vorsorgewert, Abkürzung gemäß Bewertungskonzept "Reine Ruhr" (MKUNLV 2012)

3.1.4 Zusammenfassung

Zurzeit gibt es weder auf europäischer Ebene noch in Deutschland gesetzlich verbindliche Grenzwerte für Arzneimittelwirkstoffe in Oberflächen- und Grundwasser bzw. Trinkwasser.

Auf deutscher wie auch europäischer Ebene gab und gibt es jedoch Bestrebungen gesetzlich verbindliche Umweltqualitätsnormen (s.o.) für gewässer- und trinkwasserrelevante Arzneimittel wie z.B. Carbamazepin, Diclofenac, Ibuprofen und Sulfamethoxazol abzuleiten und in entsprechende Gesetzeswerke aufzunehmen.

In Deutschland ist dies bzgl. der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) in 2011 gescheitert. Auf europäischer Ebene ist zurzeit noch ein Arzneimittel als Kandidatenstoff für die Aufnahme in die Liste der Prioritären Stoffe (s.o.) benannt: Diclofenac. Vor Mitte 2013 sind hier jedoch keine abschließenden Regelungen zu erwarten.

Demnach liegen derzeit noch keine Überwachungs- oder gar Grenzwerte für Kläranlagenabläufe vor.

3.2 ÜBERSICHT ZUR ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFEN

3.2.1 Eliminationsleistungen der kommunalen Abwasserreinigung

Mithilfe der Literatur sowie von Messergebnissen im Kläranlagenverlauf (Abwasserweg auf der KA) lässt sich die Elimination der Mikroschadstoffe in der mechanisch biologischen Reinigungsstufe inklusive Filtration beschreiben und ermitteln.

Allgemein variieren die Eliminationsleistungen für Mikroschadstoffe, abhängig von der betrachteten Substanz, zwischen 0 und nahezu 100 %. Die wichtigsten Eliminationsprozesse für die Mikroschadstoffe in Kläranlagen ohne weitergehende Reinigungsstufe sind die Adsorption an Feststoffe durch Schlamm sowie der biologische Abbau. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass je nach Ausbaugrad der Kläranlagen Unterschiede bei der Eliminationsleistung der Mikroschadstoffe vorliegen.

Bei nitrifizierenden KA (t_{TS} = ca. 10 Tage) liegt die durchschnittliche Eliminationsleistung von Mikroschadstoffen (Durchschnitt der Elimination aller gemessenen Substanzen) bei ca. 40 – 50 %, bei nicht-nitrifizierenden Anlagen (Schlammalter 1 – 4 d) bei ca. 20%.

Die durchschnittliche Eliminationsleistung für eine Auswahl von weit verbreiteten Mikroschadstoffen in kommunalen Kläranlagen ist in der nachfolgenden Abbildung 3.1 dargestellt

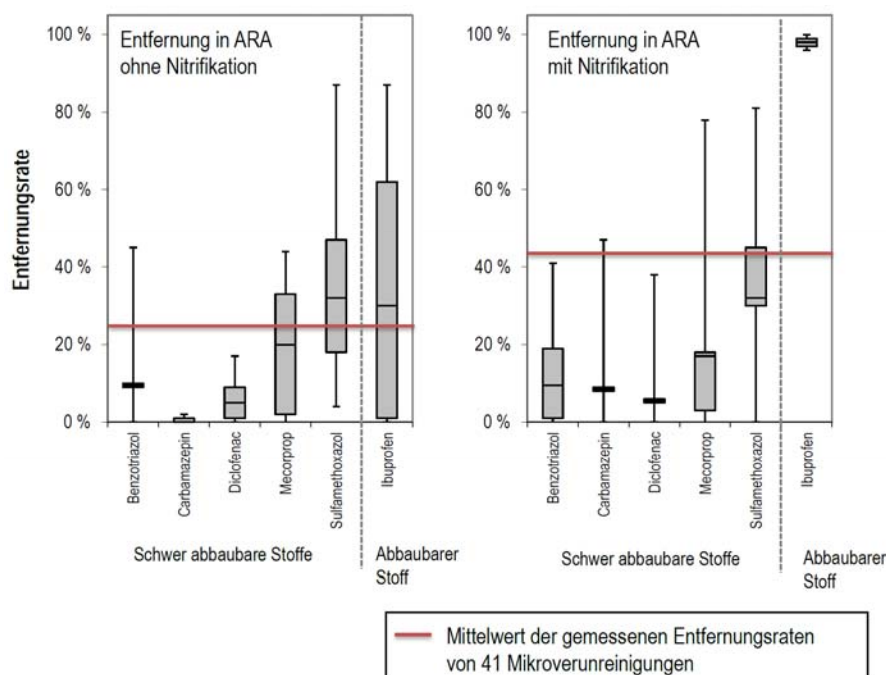


Abbildung 3.1: Entfernung von Mikroverunreinigungen in heutigen Kläranlagen [8]

Ausgehend von der obigen Betrachtung werden Mikroverunreinigungen in der heutigen Abwasserbehandlung nicht umfassend entfernt, sodass die KA Abläufe den bedeutendsten Pfad für den kontinuierlichen Eintrag verschiedener Mikroverunreinigungen in die Gewässer darstellen. Die Elimination von Mikroschadstoffen stellt dementsprechend eine zukünftige Aufgabe für die kommunalen Kläranlagen dar.

3.2.2 Mögliche Verfahrenstechniken

Zur effizienten Elimination von Mikroschadstoffen ist neben der mechanisch biologischen Reinigungsstufe eine zusätzliche Verfahrensstufe erforderlich. Grundlegend sind hierfür folgende drei verschiedene Verfahrenstechniken möglich (s. Abbildung 3.2).



Abbildung 3.2: Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination

Oxidation:

Nach Zugabe von Oxidationsmitteln in den Abwasserstrom erfolgt die Oxidation der Mikroschadstoffe, d.h. es erfolgt eine Veränderung ihrer chemischen Struktur. Hierdurch verlieren die Ausgangssubstanzen in der Regel ihre Wirkung, werden aber dadurch in meist unbekannte Transformationsprodukte umgewandelt. Während bei anderen Verfahren lediglich eine Abtrennung der Schadstoffe aus dem Wasserweg erfolgt, führen die oxidativen Verfahren zu einem Abbau der entsprechenden Stoffe. Diese werden durch den Umwandlungsprozess aus der Wasserphase entfernt, sodass unter Umständen zusätzliche Behandlungsschritte entfallen.

Adsorption:

Grundlegend wird das Abwasser mit einem Adsorbens mit großer Oberfläche in Kontakt gebracht. Dies kann entweder durch Zugabe des Adsorbens geschehen oder indem das Abwasser durch eine Adsorbenspackung geleitet wird. Nach Kontaktaufnahme lagern sich die Inhaltsstoffe an den Oberflächen des Adsorbens an. In Folge dessen muss das beladene Adsorbens periodisch ersetzt und weiter behandelt werden.

Membranfiltration:

Der Rückhalt von Mikrostoffen durch Mikro- und Ultrafiltration beruht auf dem Prinzip der Siebung durch selektiv permeable Membranen. Bei der Mikro- und Ultrafiltration, welche als wesentliche Membranverfahren der kommunalen Abwasserreinigung eingesetzt werden, zeigt sich in Summe eine geringere Eliminationsleistung gegenüber Mikroverunreinigungen, insbesondere bei endokrinen Stoffen oder Antibiotika. Daher liegen im Ablauf der Mikro- und Ultrafiltration immer noch deutlich nachweisbare Konzentrationen an organischen Mikroschadstoffen vor.

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Eliminationsleistungen der Membrantechnik gegenüber den Adsorptions- und Oxidationsverfahren wird der Einsatz von Membrantechnik auf dem GWK Paderborn-Sande nicht weiter verfolgt.

3.3 ELIMINATION MIKROSCHADSTOFFE MIT AKTIVKOHLEVERFAHREN

3.3.1 Grundlagen Adsorption

Unter Adsorption (lat.:adsorbere: ansaugen) versteht man die Anlagerung von Teilchen (Atome, Moleküle, Ionen usw.) aus fluiden Phasen (Flüssigkeit oder Gas) an der Oberfläche eines Festkörpers. Dabei werden z.B. Moleküle aus der umgebenden Gas- oder Flüssigphase an der festen Oberfläche angelagert und dort durch Oberflächeneffekte gebunden.

Der adsorbierte Stoff wird, solange er sich in der fluiden Phase befindet, als Adsorptiv bezeichnet. Sobald er auf den Feststoff, das Adsorbens, gebunden ist, wird er Adsorbat genannt (siehe Abbildung 3.3).

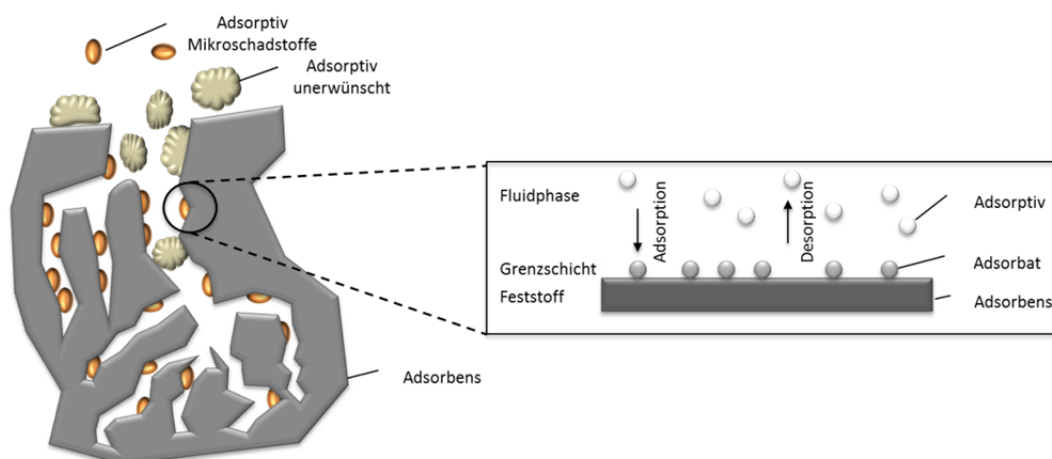


Abbildung 3.3: Adsorptionsvorgänge

Die Adsorption bezeichnet dabei den Vorgang, bei der eine Anlagerung von Abwasserinhaltsstoffen an den Oberflächen des Adsorbens erfolgt. Im Falle der Elimination von Mikroschadstoffen mit Aktivkohle handelt es sich beim Adsorbens um Aktivkohle. In Konkurrenz zur Adsorption steht die gleichzeitig stattfindende Desorption, d.h. die Abgabe von Stoffen von der Oberfläche des Adsorptionsmittels. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen physikalischer und chemischer Adsorption.

Ursache der Physisorption sind Van-der-Waalsche Kräfte die sich infolge der Diskontinuität an freien Oberflächen nicht im Gleichgewicht befinden.

Bei der physikalischen Adsorption findet ein reversibler Prozess statt, bei dem hauptsächlich hydrophobe, unpolare Inhaltsstoffe am Adsorbens gebunden werden. Der Prozess ist durch statische Wechselwirkungen bedingt und ist damit maßgeblich für die Adsorption der Mikroschadstoffe aus dem Abwasser. Bei der chemischen Adsorption erfolgt hingegen durch chemische Reaktionen eine irreversibel Veränderung der Struktur des Abwasserinhaltsstoffes.

Isotherme

Bei genügend langer Kontaktzeit zwischen Abwasser und Adsorbens (hier Aktivkohle) stellt sich für jede Substanz in Abhängigkeit der Aktivkohle-Dosiermenge ein Sorptions-Gleichgewicht ein (siehe Abbildung 3.3). Das Ausmaß der Adsorption einer bestimmten Substanz hängt einerseits von den Eigenschaften der Substanz und des Abwassers, andererseits von der verwendeten Aktivkohle ab. Bei gleich bleibendem Abwasservolumen und gleicher Ausgangskonzentration ergibt sich für jede AK-Dosiermenge ein bestimmtes Adsorptionsgleichgewicht.

Die Lage der unterschiedlichen Gleichgewichte wird durch Adsorptionsisothermen beschrieben. Diese geben an, wie groß die Beladung bei einer bestimmten Restkonzentration in Lösung ist. Die Bestimmung von Isothermen erfolgt empirisch in Laborversuchen und dient der Abschätzung der Adsorptionskapazität der gewählten Kohle für bestimmte Stoffe in einem bestimmten Medium. Die mathematische Beschreibung von Isothermen erfolgt für wässrige Lösungen wie Abwasser oft nach dem Ansatz nach Freundlich:

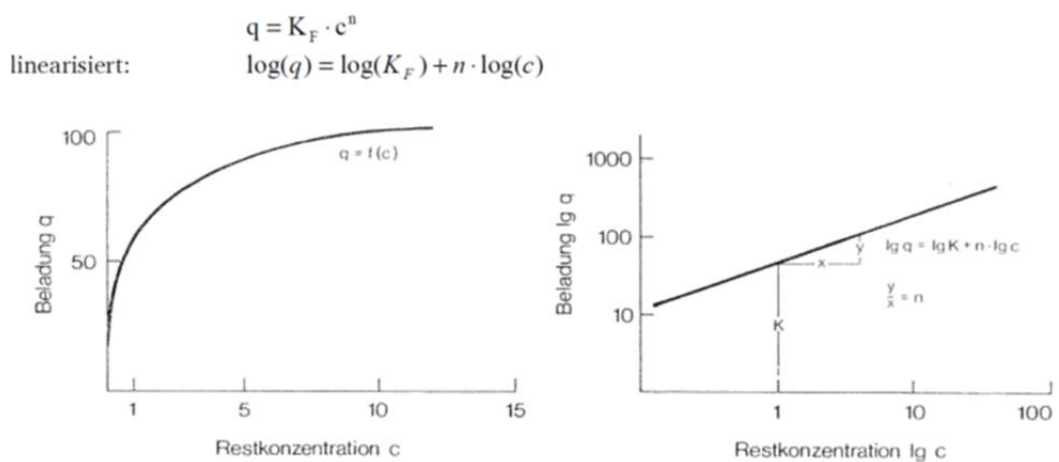


Abbildung 3.4: Adsorptionsisotherme [nach 3]

Die Parameter K_f (Freundlich-Konstante) und n (Reaktionskonstante) müssen für jeden Stoff in Laborversuchen ermittelt werden, gelten nur für die untersuchten Bedingungen und lassen keine direkten Schlüsse auf die großtechnische Umsetzung zu.

Die Aktivkohle unterscheidet sich somit je nach Aktivierungsgrad in niedrig, mittel oder hoch aktivierte Aktivkohle und weist damit unterschiedliche Ausprägungen der Porensysteme und damit Größen der Oberflächen auf.

Abhängig vom Aktivierungsgrad der Aktivkohle und der Abwasserbeschaffenheit ist nach einer gewissen Standzeit die Beladungskapazität des Adsorbens (Aktivkohle) erschöpft womit dieser ausgetauscht werden muss.

3.3.2 Verfahrensmöglichkeiten Aktivkohleadsorption

Aktivkohle hat aufgrund ihrer porösen Struktur eine sehr hohe spezifische Oberfläche ($> 1000 \text{ m}^2$ pro Gramm). An dieser großen Oberfläche lagern sich viele Stoffe aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften an. Aktivkohle wird seit Jahrzehnten in der Trinkwasseraufbereitung, in industriellen Reinigungsprozessen sowie in der Abwasserreinigung für die Entfernung von persistenten Stoffen (z.B. Farbstoffe, Geruchs-/Geschmacksstoffe, halogenorganische Verbindungen (AOX)) eingesetzt.

Für die Anwendung von Aktivkohle in der Abwasserreinigung existieren folgende prinzipielle Verfahrenstechniken:

PAK (Pulveraktivkohle) verfügt im Vergleich zu GAK über eine geringere Korngröße, jedoch eine größere spezifische Oberfläche. Prozesstechnisch erfolgt zuerst die Zugabe und Einmischung von PAK in den Abwasserstrom und anschließende Entfernung der PAK aus dem Abwasserstrom durch eine Separationsstufe. Eine Regenerierung der Kohle ist hier nicht möglich.

Eine Dosierung von Pulveraktivkohle weist jedoch deutlich flexiblere Regelungsmöglichkeiten, als die Anwendung von einem Aktivkohlefilter (GAK). Für die Elimination von Bedeutung, sind insbesondere die Eigenschaften der eingesetzten Kohle sowie die dosierte Menge.

Bei einer Dosierung von PAK in die biologische Stufe sind deutlich höhere Mengen notwendig.

GAK (granulierter Aktivkohle) oder auch Kornkohle zeichnet sich durch seine größere Korngröße aus als pulverisierte Aktivkohle (PAK) und wird als Filtermaterial zur Elimination von Mikroschadstoffen eingesetzt (Aktivkohlefiltration mittels granulierter Aktivkohle). Die Aktivkohle befindet sich in separaten Filteranlagen und kann nach Erreichen der Beladungskapazität regeneriert werden.

An der Aktivkohle lagern sich sowohl Mikroverunreinigungen (erwünscht) als auch natürliche organische Substanzen (unerwünscht) an.

Für die Mikroschadstoffentfernung durch Adsorption und Aktivkohle liegen folgende Verfahrensmöglichkeiten nach Abbildung 3.5 vor.

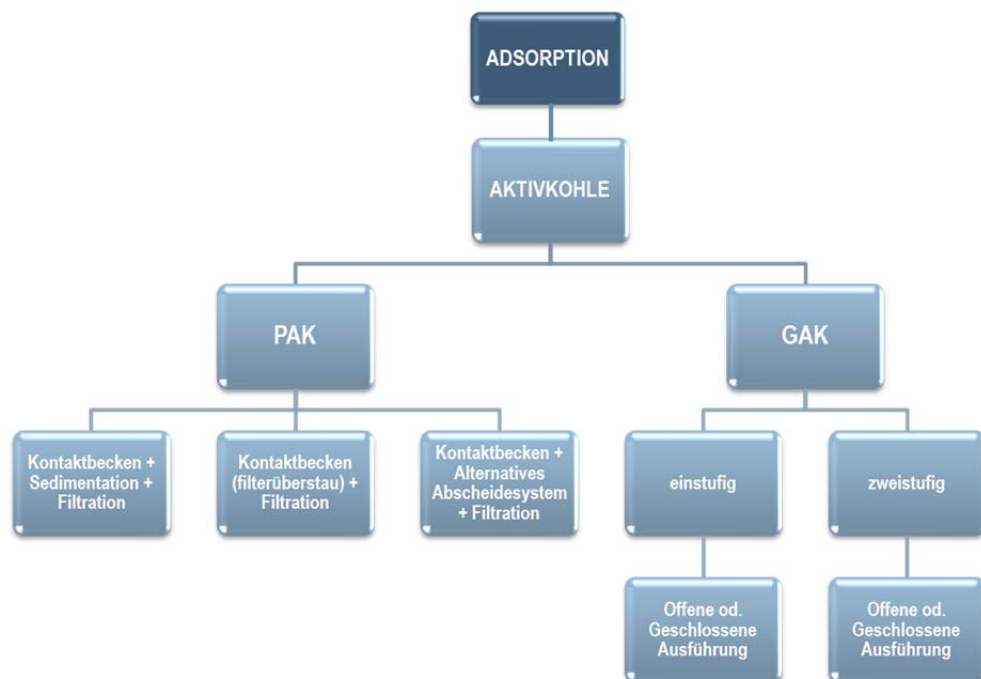


Abbildung 3.5: Verfahrensmöglichkeiten durch Aktivkohleadsorption

Für die Realisierung einer Adsorptionsstufe wurden folgende Verfahrensmöglichkeiten betrachtet:

- PAK Dosierung mit Kontakt- und Absetzbecken
- PAK Dosierung in die biologische Stufe
- PAK Dosierung in den Überstau der bestehenden Filtration
- GAK-Filtration

Wie nachfolgend erläutert wird, scheiden einige dieser Verfahren bereits im Vorfeld aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen aus und werden daher nicht vertieft geplant.

3.3.3 Aktivkohleadsorption mittels Pulveraktivkohle (PAK)

3.3.3.1 Allgemeines

Die Zugabe der PAK kann vor, während und nach der biologischen Reinigung erfolgen. Bei Zugabe der Pulveraktivkohle vor und während der biologischen Reinigung kommt es jedoch zu Konkurrenzsituationen bei der Beladung der Aktivkohle durch die gut biologisch abbaubaren Substanzen, welche teilweise so groß sind, dass sie die gezielte Adsorption der Mikroschadstoffe beeinträchtigen. Somit sind sehr hohe Dosierungen an PAK erforderlich. Dies macht diese Verfahren unwirtschaftlich. Nachfolgend werden daher lediglich Varianten mit einer der biologischen Behandlung nachgeschalteten Adsorptionsstufe betrachtet. Diese Verfahrenstechnik stellt derzeit das am häufigsten eingesetzte Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung mittels Aktivkohle dar.

3.3.3.2 Adsorptionsstufe, mit Kontakt- und Sedimentationsbecken sowie anschließendem Filter

3.3.3.2.1 Beschreibung

Die PAK Adsorptionsstufe zur Elimination von organischen Restverschmutzungen besteht hier grundsätzlich aus zwei Prozessstufen; einem Kontaktraum für die Adsorption mit Pulveraktivkohle und einer Trennstufe zur Abtrennung der beladenen Aktivkohle.

Die Zugabe der Pulveraktivkohle erfolgt zunächst in einem Kontaktreaktor, wodurch das Abwasser aus dem Ablauf der Nachklärung mit der PAK in Kontakt gebracht wird. Anschließend erfolgt die Abtrennung der Pulveraktivkohle nach einer vorgegebenen Aufenthaltszeit (Adsorptionszeit) aus dem Abwasser-PAK-Gemisch durch die nachfolgende Trennstufe.

Diese kann entweder durch eine Kombination aus Sedimentationsbecken und Filtration oder aber durch eine Membranfiltration realisiert werden. Für eine bessere Abtrennung der PAK, müssen Fäll- und Flockungshilfsmittel zugeführt werden.

Um die vollständige Adsorptionskapazität der Pulveraktivkohle auszunutzen, erfolgt eine Kreislaufführung. Demzufolge muss nur ein geringer Teil an frischer Kohle zu dosiert werden und die Kontaktzeit zwischen PAK und Abwasser kann unabhängig von der hydraulischen Aufenthaltszeit variiert werden.

Die Entfernung einer definierten Menge an Überschussskohle ist dennoch erforderlich. Entfernte Überschussskohle kann dabei entweder direkt der Entsorgung zugeführt werden oder mit dem Rückspülwasser der Filtrationseinheit in die biologische Stufe zurückgeführt werden. Dann erfolgt die Verwertung zusammen mit dem Überschussschlamm.

Im Fall der Rückführung der Kohle wird die restliche Adsorptionskapazität der Aktivkohle ausgenutzt und die Kohle mit dem Klärschlamm ausgeschleust. Folglich steigt der Schlammgehalt im Belebungsbecken an.

Nachfolgende Abbildung 3.6 verdeutlicht das Verfahrensschema der Elimination von Mikroschadstoffen durch PAK mit Kontaktreaktor und nachfolgender Trennstufe.

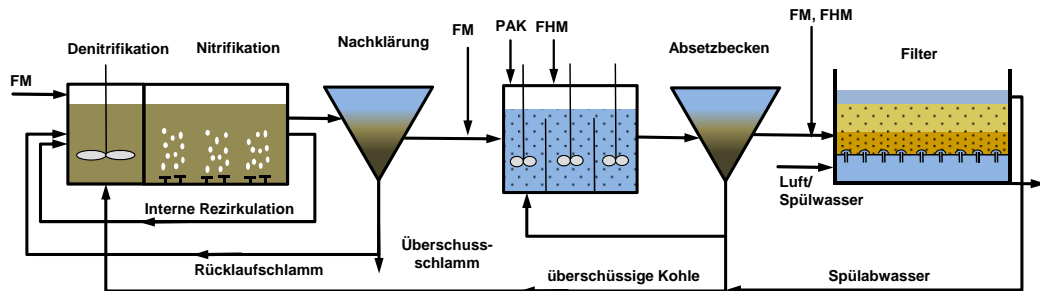


Abbildung 3.6: Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Sedimentation und Filtration

Für die Realisierung einer Adsorptionsstufe mittels PAK in einem separaten Kontaktreaktor mit nachgeschalteter Trennstufe ist die Installation folgender Einheiten erforderlich:

- Beschickungspumpwerk
- Kontaktreaktor mit ausreichender Verweilzeit
- Rücklaufkohlepumpwerk
- Bei Trennstufe durch Kombination von Sedimentationsbecken und Filtration
 - Absetzbeckens (Sedimentationsbecken) als 1. Teil der Trennstufe
 - Filtreinheit als 2. Teil der Trennstufe
- Lager- und Dosierstationen für PAK, FHM und Fällmittel

Zusätzlich sind Mengemessungen, Dosiereinrichtungen und Aggregate zur Prozesssteuerung vorzusehen.

3.3.3.2.2 Eliminationsleistung

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für das GWK Paderborn-Sande relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mit PAK-Zugabe in ein Kontaktbecken aufgeführt.

Tabelle 3.2: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in das Kontaktbecken [4], [5], [8].

Mikroschadstoffe		PAK-Zugabe in ein Kontaktbecken ¹
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	+ bis ++
	Diclofenac	+ bis ++
	Metoprolol	++
	Sulfamethoxazol	0 bis +
	Amidotrizoesäure/ Diatrizoat	0 bis +
synthetische Moschus- verbindungen	AHTN (Tonalid)	++
	HHCB (Galaxolid)	++
Industriechemikalien	Benzotriazol	+ bis ++
	Bisphenol A	++
	Perfluorierte Tenside (PFT)	+
	TCP	+ bis ++
	EDTA	k.A.
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	+
	Iopamidol	0 bis +
	Iopromid	0 bis +

¹ -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

Bewertung:

Wie in Tabelle 3.2 dargestellt wird, können bei der betrachteten Variante die gemessenen Mikroschadstoffe Metoprolol, PFT und Iomeprol gut, zu 50 bis 90 % eliminiert werden.

3.3.3.3 Adsorptionsstufe mit Kontaktbecken und anschließender Filtration bzw. direkter PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters

3.3.3.3.1 Beschreibung

Bei dieser Verfahrensvariante erfolgt die Zugabe der Pulveraktivkohle und der Flockungsmittel in den Zulauf zum Flockungsraum, auf den ein Sandfilter folgt. Beim Flockungsraum handelt es sich um einen separaten Kontaktreaktor.

Alternativ kann hierzu der Überstauraum eines abwärts durchströmten Filters verwendet werden, insofern dieser gut durchmischt, und bei entsprechender Größe eine ausreichende Aufenthaltszeit für den Adsorptionsprozess vorsieht.

Im Sandfilter erfolgt der Rückhalt der PAK, welche die Mikroschadstoffe aus dem vorbeiströmenden Abwasser adsorbiert. Wie im normalen Sandfilterbetrieb erfolgt in regelmäßigen Abständen die Rückspülung der Filter, wodurch so die beladene PAK aus dem Filter entfernt wird.

Die mittlere Verweilzeit der PAK entspricht demnach der Hälfte des Rückspülintervalls. Indem die Spülwässer in die biologische Stufe rückgeführt werden, kann die Verweilzeit der Kohle im System erhöht, und ein mögliches Restadsorptionspotential ausgenutzt werden.

Bei vorhandener Flockungsfiltration vereinfacht sich die Integration eines solchen Verfahrens.

Nachfolgende Abbildung 3.7 verdeutlicht das Verfahrensschema der Mikroschadstoffelimination durch PAK mit direkter Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters.

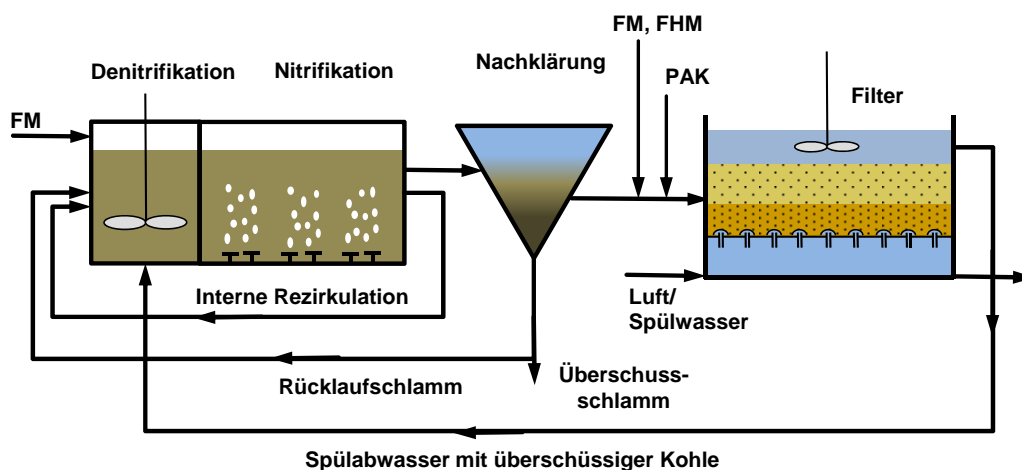


Abbildung 3.7: Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Adsorption durch direkte Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters

3.3.3.3.2 Eliminationsleistung

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für das GWK Paderborn-Sande relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mit PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters aufgeführt.

Tabelle 3.3: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei PAK-Zugabe in den Flockungsraum eines Sandfilters [4], [5], [8].

Mikroschadstoffe		PAK-Zugabe in Flockungsraum Sandfilter
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	0 bis +
	Diclofenac	0 bis +
	Metoprolol	0 bis +
	Sulfamethoxazol	- bis 0
	Amidotrizoesäure/ Diatrizoat	-
synthetische Moschus- verbindungen	AHTN (Tonalid)	k.A.
	HHCB (Galaxolid)	k.A.
Industriechemikalien	Benzotriazol	0 bis +
	Bisphenol A	k.A.
	Perfluorierte Tenside	k.A.
	TCP	k.A.
	EDTA	k.A.
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	k.A.
	Iopamidol	k.A.
	Iopromid	0 bis +

¹ -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

Bewertung

Nach Aussagen der EAWAG [8] wurden durch die Zugabe von 10 mg/l PAK bei dieser Verfahrensvariante die Mikroschadstoffe generell nicht vermehrt entfernt. Erst bei Dosierungen von 15 und 20 mg/l wurde eine vermehrte Elimination ersichtlich. Als optimale Dosiermenge bezüglich der Mikroschadstoffelimination hat sich hierbei 20 mg PAK/l herausgestellt.

Versuche in NRW haben gezeigt, dass eine Dosierung von PAK in den Filterzulauf zu einem schnellen Anstieg der PAK-Feinstfraktion im Ablauf der Filter führt. Der erhöhte Einsatz von Flockungshilfsmittel im Filterraum kann zu Verklebungen im Filter führen.

Im Rahmen technischer Versuche kam es beim Einsatz von Flockungshilfsmitteln nach wenigen Betriebstagen zu einer Verblockung des Versuchsfilters, daher wurde in der großtechnischen Umsetzung auf einen entsprechenden Einsatz im Rahmen des Forschungsvorhabens verzichtet.

Vor dem Hintergrund dieser Forschungsergebnisse wird daher auf eine Berücksichtigung dieser Verfahrensoption im Variantenvergleich verzichtet.

3.3.4 Aktivkohleadsorption mittels granulierter Aktivkohle (GAK)

3.3.4.1 Allgemein

Aus den Erfahrungen der Trinkwasserversorgung, in der schon seit langem GAK zur Anwendung gebracht wird, konnten die Anwendungsprinzipien für die Raumfiltration in der Abwasserreinigung übernommen werden. Für die Mikroschadstoffelimination kann damit durch den Einsatz von GAK die Filtrationsstufe direkt als „Aktivkohlefilter“ ausgeführt werden.

3.3.4.2 Beschreibung

Die Ausführung der Aktivkohleadsorption mittels GAK (granulierte Aktivkohle) erfolgt indem der biologischen Behandlung ein Festbettadsorber (Filterstufe) mit der körnigen Kohle als Filtermaterial nachgeschaltet wird.

Das zu reinigende Abwasser durchströmt den Filter und die Mikroschadstoffe adsorbieren an der Kohle. Das System kann dabei durch Schwerkraft oder durch Druck betrieben werden. Sind u.a. Sandfilter bereits vorhanden, ist die Umrüstung des existierenden Mehrschichtfilters möglich, indem beispielsweise Anthrazit durch GAK aufgrund ähnlicher Korngröße ausgetauscht wird.

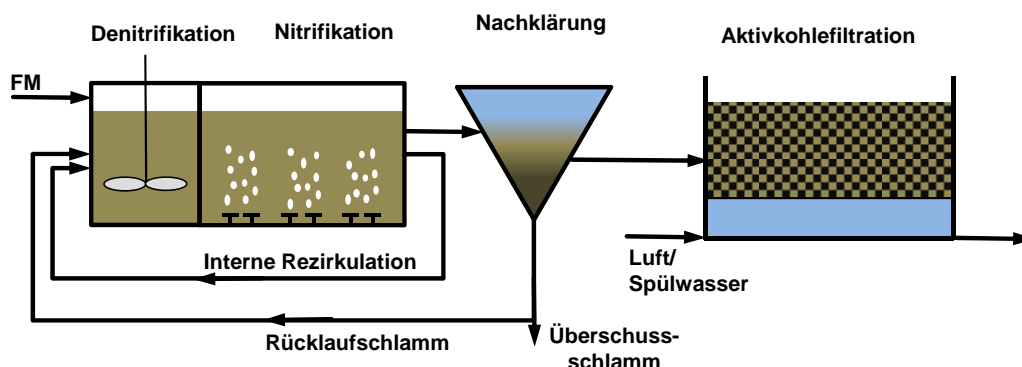


Abbildung 3.8: Mikroschadstoffelimination mittels GAK-Adsorption durch nachgeschaltete Filtration

Durch den Filtrationsprozess erfolgt somit der Rückhalt von Feststoffen und Mikroschadstoffen sowie des Weiteren die Adsorption von gelösten Stoffen.

Liegt ein hoher adsorbierbarer gelöster CSB im Abwasser vor, wird dieser ebenso von der granulierten Aktivkohle zurückgehalten, wodurch nur bedingt Mikroschadstoffe zurückgehalten werden.

Sobald die Adsorptionskapazität des Filterbettes erschöpft ist, muss der Filter außer Betrieb genommen werden, um die Kohle zu regenerieren bzw. auszutauschen. Um dem erhöhten Druckverlust durch die Anlagerungen von Stoffen entgegenzuwirken, sind die Aktivkohlefilter gleichermaßen wie Sandfilter mit Rückspüleinsrichtungen zu versehen.

3.3.4.2.1 Eliminationsleistung

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Eliminationsleistungen der für das GWK Paderborn-Sande relevanten Mikroschadstoffe durch eine Adsorptionsstufe mittels GAK-Filtration aufgeführt.

Tabelle 3.4: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei GAK-Filtration [4], [5], [8].

Mikroschadstoffe		GAK Filtration ¹
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	+ bis ++
	Diclofenac	++
	Metoprolol	k.A.
	Sulfamethoxazol	0
	Amidotrizoesäure/ Diatrizoat	- bis +
synthetische Moschus- verbindungen	AHTN (Tonalid)	k.A.
	HHCB (Galaxolid)	0
Industriechemikalien	Benzotriazol	k.A.
	Bisphenol A	0
	Perfluorierte Tenside	+ bis ++
	TCP	+
	EDTA	-
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	0
	Iopamidol	0
	Iopromid	+

¹ -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

Bewertung:

Wie in Tabelle 3.4 dargestellt wird, kann mit dieser Verfahrenstechnik der gemessenen Mikroschadstoff Iomeprol nur teilweise eliminiert werden, während zur Eliminationsleistung von Metoprolol keine Informationen vorliegen.

3.4 ELIMINATION VON MIKROSCHADSTOFFE MIT OZON

3.4.1 Grundlagen Ozonierung

Mit dem Einsatz von Ozon kann ein sehr breites Stoffspektrum weitgehend aus dem kommunalen Abwasser entfernt und die Toxizität des Abwassers für Wasserlebewesen deutlich reduziert werden. Ozon besteht aus drei Sauerstoffatomen und ist ein reaktives Gas. Es wirkt stark oxidierend und bildet im Kontakt mit Wasser Hydroxylradikale.

Die Reaktionsmechanismen des Ozon basieren darauf, dass selektiv Doppelbindungen und bestimmte funktionelle Gruppen in Molekülen angegriffen werden. Da sehr viele Mikroverunreinigungen solche Bindungen oder funktionelle Gruppen enthalten, werden sie durch Ozon oxidiert (umgewandelt).

Während Ozon nur gewisse Substanzen oxidiert, greifen hingegen die Hydroxylradikale eine breite Substanzpalette an. Bei der Ozonierung kommt es daher zu einem Aufbrechen verschiedener komplexer Bindungen, so dass Substanzen einem anschließenden biologischen Abbau sehr viel zugänglicher sind. Während dieses Vorgangs werden neben Schadstoffen auch Mikroorganismen zerstört.

Ozon wird seit Jahrzehnten für die Desinfektion und zur Elimination von organischen Inhaltsstoffen in der Trinkwasseraufbereitung, in der Aufbereitung von Badewasser und in der Behandlung von industriellen Abwässern eingesetzt.

Bei Raumtemperatur ist Ozon ein blaues, äußerst giftiges Gas mit charakteristisch stechendem Geruch. Ozon ist thermisch instabil und in allen Aggregatzuständen hochexplosiv.

3.4.2 Verfahrensmöglichkeiten Ozonierung

Bei der Ozonierung kommt es nicht zu einer Entnahme von Mikroschadstoffen, analog zur Adsorption, sondern vielmehr zu einer Umwandlung von Mikroschadstoffen.

Um reaktive Oxidationsprodukte im Ablauf der Kläranlage zu entfernen, sowie um sicherzustellen, dass kein gelöstes Ozon ausgetragen wird, wird nach der Ozonierung eine Stufe mit biologischer Aktivität (Filtration) empfohlen.

Direkt nach der Ozonierung kann es vereinzelt zu einer Zunahme der Toxizität kommen, die aber im nachgeschalteten Sandfilter wieder reduziert werden kann.

Weitere positive Effekte der Ozonierung sind eine weitgehende Desinfektion und Entfärbung des Abwassers.

Die Ozonierung kann in der Regel gut in der bestehenden Anlagentechnik integriert werden. Wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, ist die Ozonierung dem vorhandenen Sandfilter vorgeschaltet.

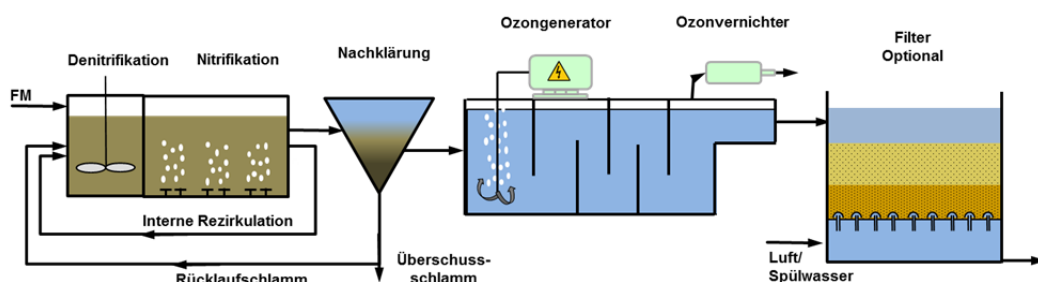


Abbildung 3.9: Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung

3.4.2.1.1 Eliminationsleistung

In der nachfolgenden Tabelle sind die Eliminationsleistungen der für das GKW Paderborn-Sande relevanten Mikroschadstoffe durch eine nachgeschaltete Ozonierung dargestellt.

Tabelle 3.5: Eliminationsleistungen ausgewählter Mikroschadstoffe bei Ozonierung [4], [5], [8].

Spurenstoffe		Ozonierung ¹
Pharmaka/ Arzneimittel- Rückstände	Carbamazepin	++
	Diclofenac	++
	Metoprolol	+ bis ++
	Sulfamethoxazol	++
	Amidotrizoesäure/ Diatrizoat	0 bis +
synthetische Moschus- verbindungen	AHTN (Tonalid)	+ bis ++
	HHCB (Galaxolid)	++
Industriechemikalien	Benzotriazol	+
	Bisphenol A	0 bis +
	Perfluorierte Tenside (PFT)	-
	TCP	0
	EDTA	0 bis +
Röntgenkontrastmittel	Iomeprol	0
	Iopamidol	0
	Iopromid	0

¹ -: bis 10 %; 0: 10 % bis 50 %; +: 50 % bis 90 %; ++ : > 90 %

Bewertung:

Wie in Tabelle 3.5 dargestellt wird, können bei der betrachteten Variante die gemessenen Mikroschadstoffe Iomeprol nur teilweise bzw. PFT fast gar nicht eliminiert werden.

3.5 AKTUELLE PROJEKTE UND FORSCHUNGSVORHABEN

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über aktuelle Projekte bzw. Forschungsvorhaben in NRW wieder.

Tabelle 3.6: Aktuelle Projekte und Forschungsvorhaben NRW (Stand 12/2012)

Kläranlage	Verfahren	Einwohnerwerte	Art der Anlage	Status
Nordrhein-Westfalen				
Aachen-Soers	Membrananlage	458.000	Versuchsanlage	aktiv
Bad Oeynhausen	Aktivkohle	78.500	Vorplanung	nicht aktiv
Bad Sassendorf	Ozonierung	13.000	Versuchsanlage	aktiv
Bergheim-Glessen	Membrananlage	9.000	Behandlungsanlage	aktiv
Buchenhofen	Aktivkohle	700.000	Versuchsanlage	aktiv
Detmold	Aktivkohle	115.000	Vorplanung	nicht aktiv
Duisburg Vierlinden	Ozonierung/Aktivkohle	34.000	Versuchsanlage	aktiv
Düren-Merken	Aktivkohle	461.500	Versuchsanlage	aktiv
Einruhr	UV-Verfahren	2.800	Behandlungsanlage	aktiv
Eitorf	Membrananlage	46.500	Teilstrombehandlung	aktiv
Essen-Süd	Ozonierung	135.000	Vorplanung	nicht aktiv
Hösel-Dickelsbach	Membrananlage	2.800	Vorplanung	nicht aktiv
Hünxe	Membrananlage	15.000	Teilstrombehandlung	aktiv
Kaarst-Nordkanal	Membrananlage/ PAK	80.000	Versuchsanlage	aktiv
Konzen	Membranbelebungs-, UV	9.700	Behandlungsanlage	aktiv
Lage ZKW	Aktivkohle	155.000	Vorplanung	nicht aktiv
Moers-Gerdt	Membrananlage/PAK	250.000	Versuchsanlage	aktiv
Monschau	UV-Verfahren	7.000	Behandlungsanlage	aktiv
Monschau-Kalterherberg	UV-Verfahren	5.000	Behandlungsanlage	aktiv
Neuss-Ost	PAK		Studie	
Obere Lutter	Aktivkohle	380.000	Versuchsanlage	aktiv
Ochtrup	Ozonierung/Aktivkohle	49.000	Behandlungsanlage	aktiv
Rietberg	Aktivkohle	39.000	Vorplanung	nicht aktiv
Rödingen	Membrananlage	3.000	Behandlungsanlage	aktiv
Ruppicherroth-Büchel	Membrananlage	25.000	Versuchsanlage	aktiv
Schwerte	Ozonierung/Aktivkohle	50.000	Versuchsanlage	aktiv
Seelscheid	Membrananlage/ PAK	11.000	Versuchsanlage	aktiv
Simmerath	Membrananlage	14.000	Versuchsanlage	aktiv
Woffelsbach	Membrananlage	6.200	Behandlungsanlage	aktiv
Xanten-Vynen	Membrananlage/MBR	5.000	Versuchsanlage	aktiv

4 GRUNDLAGEN WEITERGEHENDE REINIGUNGSSTUFE

4.1 BEMESSUNGSPARAMTER

Aus wirtschaftlichen Gründen ist bei der Nachrüstung von Kläranlagen für eine weitergehende Reinigungsstufe zu überprüfen, ob eine Vollstrombehandlung erforderlich ist. Aus ökologischer Sicht ist es auch möglich, hohe Eliminationsgrade für Mikroschadstoffe durch eine Teilstrombehandlung zu erreichen.

Zur Ermittlung der Ausbaugröße der zusätzlichen Reinigungsstufe wird die Summenhäufigkeit der stündlichen Gesamtabflüsse der Jahre 2008 bis 2011 als ein Anteil des maximalen Gesamtabflusses ($x \cdot Q_{\max, \text{Zulauf_KA}} = Q_h / Q_{h, \max}$) in Abbildung 4.1 dargestellt.

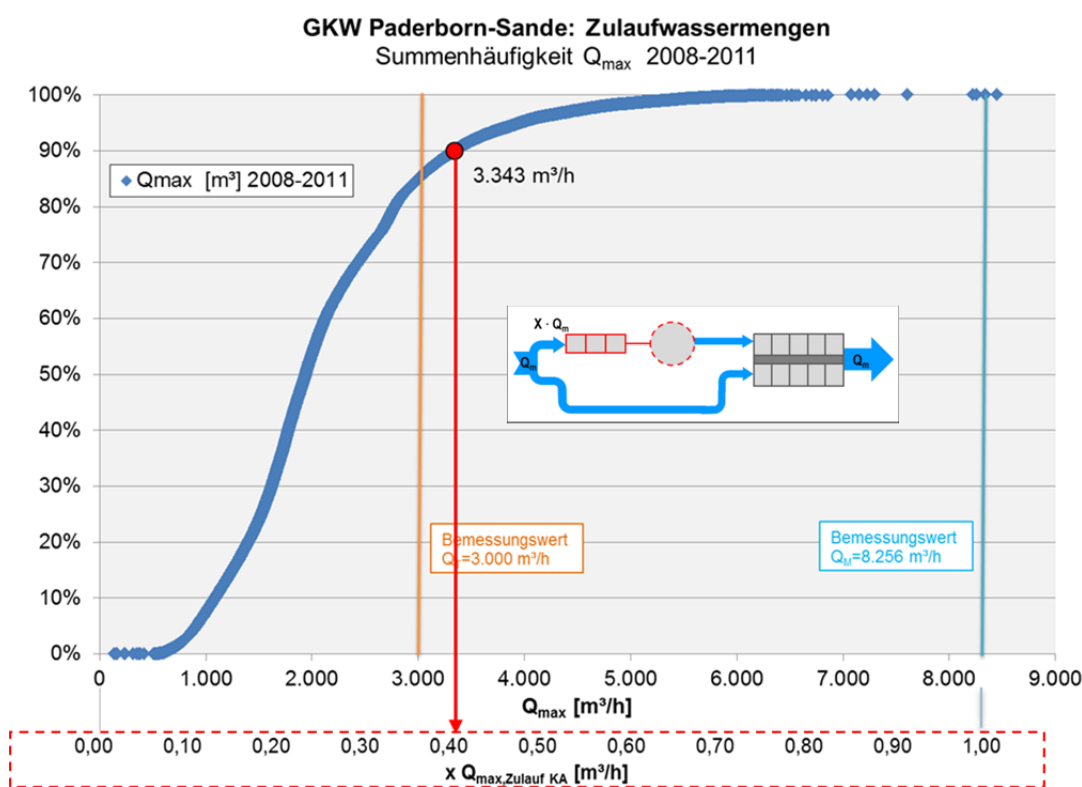


Abbildung 4.1: Bemessungswassermenge

Für eine Vollstrombehandlung ist eine Ausbaugröße für $Q_{d, \max}$ (= ca. $8.256 \text{ m}^3/\text{h}$) erforderlich. Andererseits lässt sich aus Abbildung 4.1 erkennen, dass für die **Behandlung von 90%** des gesamten jährlichen Abflusses eine Ausbaugröße von nur ca. 40% von Q_{\max} (= $3.300 \text{ m}^3/\text{h}$) benötigt wird.

Um den Einfluss der Ausbaugröße der weiteren Reinigungsstufe auf die Entnahme von Mikroschadstoffen abzuschätzen, werden im Folgenden Stoffbilanzen am Beispiel von fiktiven Summenkonzentrationen an Arzneimitteln in Abhängigkeit vom behandelten Anteil des jährlichen Gesamtabflusses in Anlehnung an Abbildung 4.1 durchgeführt.

Folgende Annahmen wurden für die Bilanz getroffen:

- Arzneimittel werden im Laufe der üblichen Abwasserbehandlungsstrecke um 25% reduziert (zwischen Zulauf und Nachklärung)
- zusätzliche Entnahme von 80% der Arzneimittel zwischen Nachklärung und Gewässer durch weitergehende Abwasserreinigung (Adsorption bzw. Ozonierung).

Die Ergebnisse sind in Abbildung 4.2 (exemplarisch Diclofenac) dargestellt.

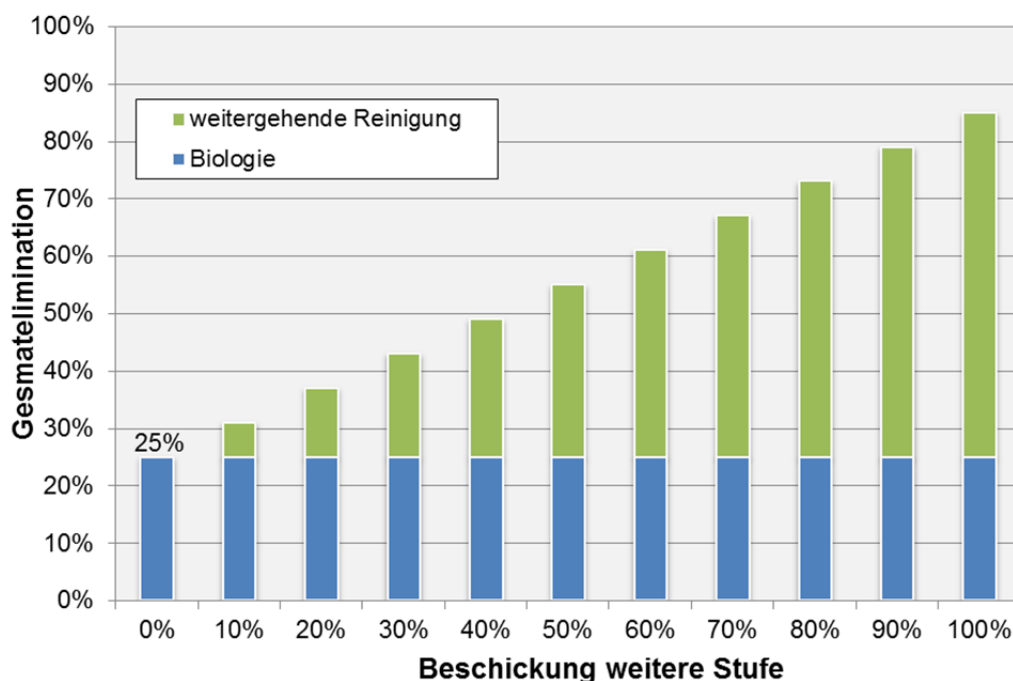


Abbildung 4.2: Gesamtelimination Arzneimittel (hier Diclofenac)

Durch die Vollstrombehandlung wird eine gesamte maximale Entnahme von Arzneimitteln von 85%. Dafür muss eine Adsorptionsanlage für ca. 8.265 m³/h ausgelegt werden.

Für einen behandelten Anteil von 90% des jährlichen Gesamtabflusses ist eine gesamte Entnahme von Arzneimitteln von 79% möglich.

Dafür ist eine Ausbaugröße von ca. 3.300 m³/h erforderlich, d.h. 60% kleiner als die Vollstrombehandlungsanlage. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass obwohl eine Teilstromanlage für 90% des jährlichen Gesamtabflusses 60% kleiner als die Vollstromanlage ist, dafür die Entnahme von Arzneimitteln nur 7% geringer ist. Dieser Ansatz ist analog übertragbar für die Elimination von Röntgenkontrastmitteln.

Die in diesem Kapitel getroffenen Annahmen beruhen auf Literaturangaben und aktuellen Angaben von laufenden Projekten. Für eine genaue Ermittlung der erreichbaren Entnahmeleistungen sind wissenschaftlich betreute Versuche mit dem Abwasser des GKWs Paderborn-Sande erforderlich.

Aus ökologischer und ökonomischer Sicht wird eine Teilstrombehandlungsanlage für 3.300 m³/h als geeignet betrachtet und weiter verfolgt.

4.2 MÖGLICHE ERWEITERUNGSFLÄCHE

Für den Bau der 4. Reinigungsstufe sind in Abhängigkeit der Verfahrensvarianten unterschiedlich große Bauflächen erforderlich. Eine sinnvolle Integration vorhandener Bausubstanz (z.B. leere Becken) ist nicht möglich.

Mit Ausnahme einer GAK Filtration ist eine Einbindung der 4. Reinigungsstufe zwischen Nachklärung und Filtrationsanlage erforderlich.

Hierzu bietet sich die Umsetzung eines Trennbauwerkes im Bereich der Nachklärbecken an, um Konfliktpunkte mit vorhandenen Rohrleitungen zu minimieren.

In unmittelbarer Nähe westlich der Filtrationsanlage befindet sich eine Freifläche von ca. 1.800 m², welche jedoch nicht ausreicht um eine betrieblich komfortable PAK-Anlage umzusetzen. Weiterhin wurde angestrebt, diese Fläche perspektivisch für potenzielle nachgeschaltete Behandlungsstufen (z.B. UV-Desinfektion) freizuhalten.

Westlich des Kläranlagengeländes befindet sich eine Fläche von ca. 25.000 m² (siehe Abbildung 4.3), welche für zukünftige Erweiterungen zur Verfügung steht. Die Erweiterungsfläche wird vom Kläranlagengelände durch das Fließgewässer Gunne getrennt.

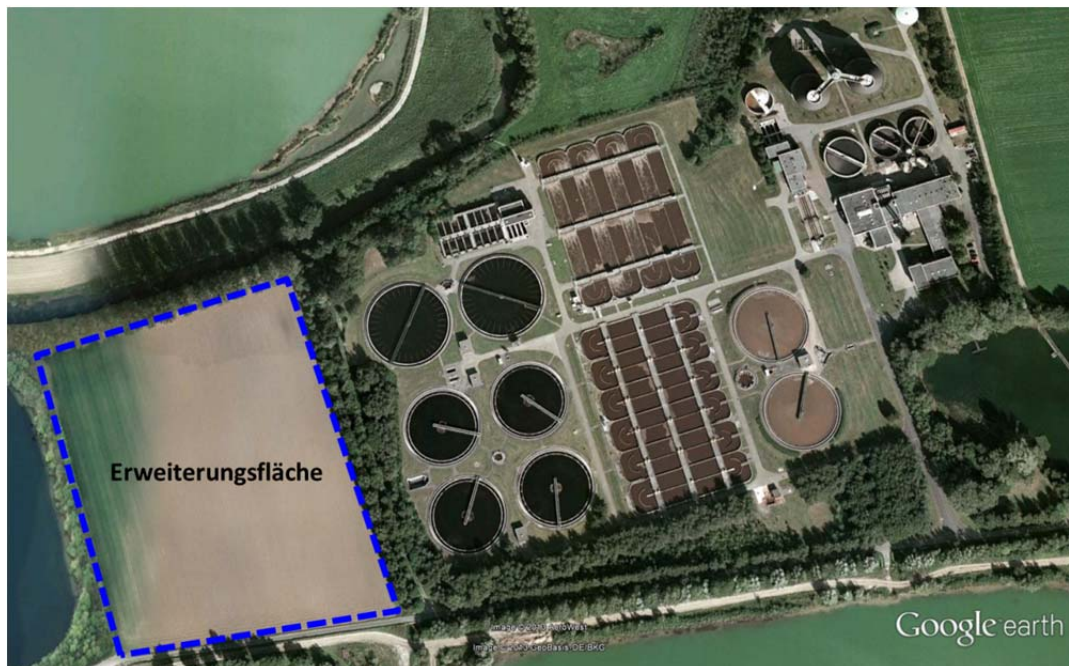


Abbildung 4.3: Erweiterungsfläche (blau markiert)

Für die genannten Erweiterungsflächen wurde bisher noch kein projektbezogenes Bodengutachten erstellt.

Im westlichen Bereich des GKWs Paderborn-Sande ist eine Windkraftanlage geplant, welche für weitere Planungsstufen zwingend zu beachten ist.

5 VARIANTEN GWK PADERBORN-SANDE

5.1 VARIANTE 1: PAK-DOSIERUNG IN KONTAKTBECKEN

5.1.1 Verfahrensmerkmale

Die Variante 1 umfasst die Zugabe von Pulveraktivkohle in einer vorgeschalteten Absorptionsstufe mit Abtrennung der Kohle in einem separaten Absetzbecken.

Der Teilstrom zur Aktivkohlebehandlung von 3.300 m³/h wird im Ablauf der Nachklärung abgetrennt.

Bei Regenwetter steigt der Wasserspiegel im Abschlagsbauwerk an und die Abwassermenge > 3.300 m³/h wird über eine Überfallkante abgeschlagen. Sie fließt direkt in den Zulauf zur Flockungsfiltration.

Das neue Zulaufpumpwerk wird als funktionales Stahlbetonbauwerk mit Rohrschachtpumpen vorgesehen. Das gehobene Abwasser fließt anschließend den Kontaktbecken zu. Im Zulaufbereich der Kontaktbecken erfolgen die durchflussabhängige Zugabe der Pulveraktivkohle sowie die Zugabe der Rücklaufkohle aus dem Absetzbecken.

Das Kontaktbecken wird zweistraßig ausgeführt. Die Beckengeometrie ermöglicht eine Propfenströmung zur zielorientierten Anpassung der Dosierstellen.

Die Kontaktbecken werden zusätzlich mit Rührwerken ausgestattet, um eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten.

Der Absetzvorgang des Abwasser-Kohle-Gemisches in den nachfolgenden Sedimentationsbecken wird durch die Zugabe von Flockungsmittel (Metall-Salze) und Flockungshilfsmittel (Polymere) unterstützt.

Die Aktivkohledosierung erfolgt aus einem Silo mit nachgeschalteter Dosieranlage, in welcher die trocken gelagerte Aktivkohle mit Wasser versetzt und als Suspension dosiert wird. Die Dosieranlage der PAK-Zugabe ist direkt unterhalb des Silos angeordnet.

Durch eine Treibstrahlpumpe wird das Aktivkohle-Wasser-Gemisch zur Dosierstelle gefördert. Zum Anmischen der Aktivkohle sowie für den Betrieb der Treibstrahlpumpe wird Abwasser aus dem Ablauf der Filtration verwendet.

Das Silo hat ein Nutzvolumen von 125 m³. Um Verklumpungen im Silo zu vermeiden, wird in regelmäßigen Abständen Druckluft zur Auflockerung der Aktivkohle eingeblasen.

Die Pulveraktivkohle wird in den Zulauf zum Kontaktbecken dosiert. Das PAK-Silo einschließlich Dosierstation wird ebenfalls auf der Grünfläche westlich der Filtration errichtet. Fäll- und Flockungshilfsmittel werden zwischen dem Kontakt- und Absetzbecken dosiert.

Die Absetzbecken werden als Rundbecken mit Umlaufräumer ausgeführt. Der Ablauf des Absetzbeckens erfolgt über eine Überfallkante und fließt zur Flockungsfiltration.

Die abgesetzte Kohle wird über 2 Rezirkulationspumpen zurück in das Kontaktbecken gefördert. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70 %. Die Überschussskohle wird über eine Pumpe aus dem Kontaktbecken in die Belebung gefördert.

Zur Sicherstellung einer unabhängigen Auswahl des Fällmittels der bereits vorhandenen P-Elimination, wird im unmittelbaren Bereich der 4. Reinigungsstufe eine zusätzliche Fällmittel Lager- und Dosierstation vorgesehen. Analog hierzu wird in einem neuen Hochbauteil eine Lager- und Ansetzanlage für Flockungshilfsmittel vorgesehen.

5.1.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbe-messung aufgeführt.

Tabelle 5.1: Vordimensionierung Variante 1

Bemessungsparameter	
Bemessungswassermenge [m³/h]	3.300
jährliche Wassermenge, behandelt [m³/a]	14.581.740
Dosierung Pulveraktivkohle [mg/l]	10 (5 – 20)
Dosierung Fällmittel [mg/l]	bis 4
Dosierung Flockungshilfsmittel [mg/l]	0,1 – 0,3
Aufenthaltszeit Kontaktbecken [min]	30
Aufenthaltszeit Absetzbecken [min]	120
Oberflächenbeschickung Absetzbecken [m/h]	bis 2
Vordimensionierung Anlagenteile	
erf. Volumen Kontaktbecken [m³]	ca. 1.750
erf. Volumen Absetzbecken [m³]	ca. 7.000
erf. Oberfläche Absetzbecken [m²]	ca. 1.750
gew. Volumen PAK Silo [m³]	125

Die nachfolgende Abbildung 5.1 zeigt eine Einbindung der vorgemessenen Module im Bestand. Der Plan ist als Anlage beigefügt.

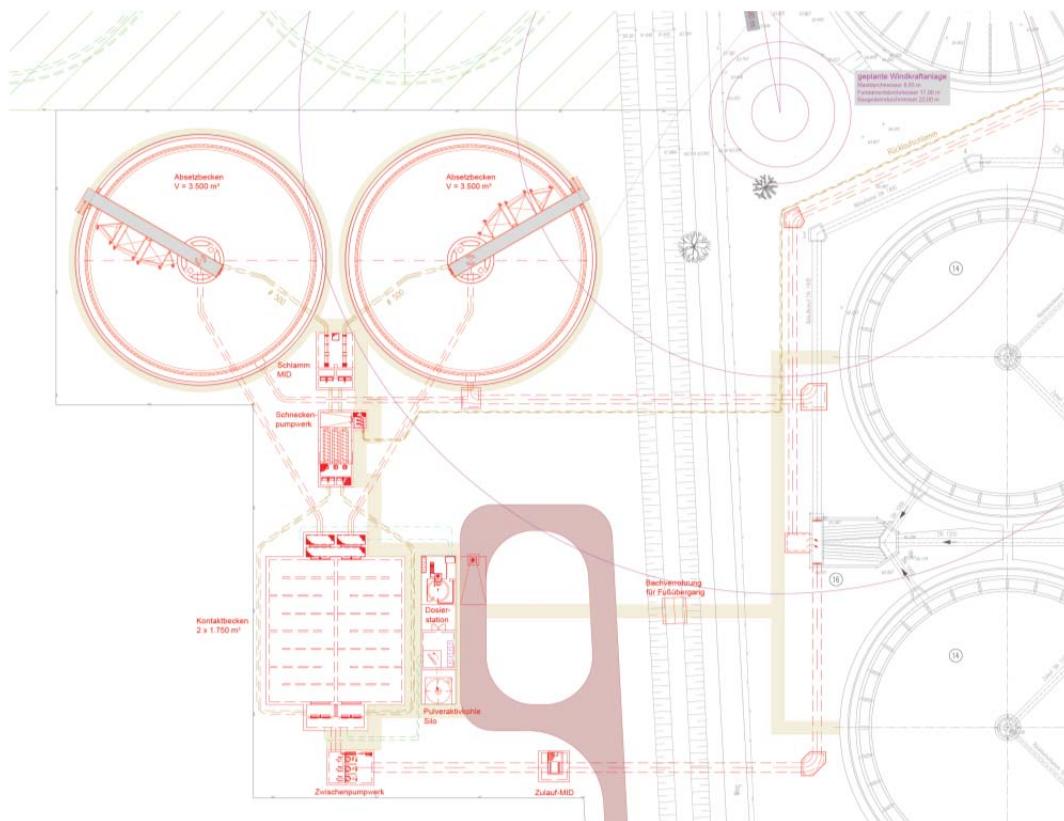


Abbildung 5.1: Lageplan Variante 1: PAK-Dosierung in Kontaktbecken

5.1.3 Bewertung

Im Fall der Umsetzung der Variante 1 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination mittels PAK-Dosierung in ein Kontaktbecken zu beachten:

- schnelle und effektive Adsorptionskinetik durch geringe Partikeldurchmesser
- Verfahren ist auch saisonal begrenzt einsetzbar
- Die Variante erfordert trotz geringer Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich
- Umsetzung erfordert den Bau von zusätzlichem Beckenvolumen
- Anders als bei der Ozonierung findet hier eine Entnahme von Mikroschadstoffen aus dem Abwasserstrom statt.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass der Kohleschlamm einer Verbrennung zugeführt werden muss. Die Integration der Überschussschle in den Schlammkreislauf ist möglich, erfordert jedoch eine thermische Verwertung der gesamten Schlammmenge. Alternativ ist eine separate Schlammbehandlung für die Pulveraktivkohle möglich. Dies erfordert eine zusätzliche Schlammbehandlungsstraße und lässt den Vorteil einer weiteren Beladung der Kohle im Belebungsbecken ungenutzt.

5.2 VARIANTE 2: GAK-FILTRATION

5.2.1 Verfahrensmerkmale

GAK wird nach der biologischen Stufe eingesetzt, d. h. das Abwasser durchströmt einen Raumfilter, der mit granulierter Aktivkohle gefüllt ist. Aufgrund der Restverschmutzung im Ablauf der biologischen Reinigung entwickelt sich auf den Kornoberflächen ein Biofilm.

Aktivkohlefilter werden mit einer Kontaktzeit (EBCT = empty bed contact time) von 5–30 Minuten und einer Filtergeschwindigkeit von 5–15 m/h ausgelegt [5]. Die Filterbetthöhe bewegt sich in der Größenordnung von 2 – 4 m. Ein wirtschaftlicher Vorteil der granulierten Aktivkohle liegt in der Möglichkeit, diese begrenzt zu regenerieren und so weniger neue Kohle zu benötigen.

Da selbst gut gereinigtes Abwasser noch 5–15 mg TSS/l enthält, wird eine Vorfiltration und/oder bzw. eine erhöhte Rückspülung empfohlen, um Verstopfungen zu vermeiden [8].

Erhöhte Feststoffgehalte im Filterzulauf führen zu teilweise deutlich reduzierten Filtrationsintervallen von bis zu 6 h. Hierdurch sind viele Filteranlagen hydraulisch nicht mehr zu betreiben. Auf der einen Seite sind reine Wasserspülungen zur Filterregeneration nicht ausreichend. Auf der anderen Seite sind Luftspülungen zu minimieren um Abrasion zu vermeiden.

Die Filtrationswirkung der GAK Filtration bleibt auch bei relativ hohen AFS von 20 – 30 mg/l AFS bis zur Bestimmungsgrenze von ca. 3 – 4 mg/l erhalten [2].

Die gelösten Stoffe sorbieren im Filter einerseits an die Aktivkohleoberflächen, können aber auch biologisch abgebaut werden. Feststoffe werden im Filterbett ebenfalls zu einem großen Teil zurückgehalten. Bei der Beladung der Aktivkohle kommt es zu Konkurrenzsituationen zwischen verschiedenen Stoffen im Ablauf der Kläranlage.

Dies führt dazu, dass unproblematische Stoffe mit hoher Adsorbierbarkeit zur schnellen Belegung der Aktivkohle führen und diese nicht mehr zur Adsorption von Mikroschadstoffen zur Verfügung steht. Der Vorgang kann man nur begrenzt, durch selektiv wirksame Kornkohle entgegen wirken.

Ist die Standzeit zu gering, wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis ungünstig. Es wird von einem wirtschaftlichen Betrieb Bettvolumina > 12.500 BTV bzw. Standzeiten > 12 Monaten ausgegangen.

Über die Standzeit, d. h. die Zeit, bis das Filtermaterial beladen ist und ausgetauscht werden muss, ist bisher wenig bekannt, hierzu sind Betriebserfahrungen nötig.

Es bestehen Abhängigkeiten zwischen Standzeit, Aktivkohle, Hintergrundverschmutzung, Konkurrenzreaktionen, Filtergeschwindigkeiten sowie weiteren Faktoren, welche im Rahmen dieser Studie nur ungenügend abgeschätzt werden können um einen belastbare Wirtschaftlichkeitsvergleich durchführen zu können.

Da die Standzeiten linear in die Betriebskosten der Variante eingehen, werden nachfolgend zwei Alternativen betrachtet, um den wirtschaftlichen Rahmen der Variante GAK-Filtration einzugrenzen.

Variante 2a: Nutzung alte Filtration

Hierbei ist der Austausch des vorhandenen Filtermaterials in allen Filterkammern durch granuliert Aktivkohle betrachtet. Auf diese Weise wird das erforderliche Filterbettvolumen garantiert. In dieser Variante handelt es sich um eine Vollstrombehandlung, ein Bypass bei $Q > 3.300 \text{ m}^3/\text{h}$ findet nicht statt.

Die Investitionen beschränken sich somit hauptsächlich auf die Erstbefüllung der Filter mit Aktivkohle. Die Standzeit wird hierbei jedoch ungünstig mit 4 Monaten aufgrund der unfiltrierten Zulaufbelastung angesetzt.

Variante 2b: Neubau GAK-Filtration

Hierbei wird der Neubau einer nachgeschalteten GAK-Filtration hinter die bestehende Filterstufe betrachtet. Die Filterfläche wird kleiner als der vorhandene Filter ausgelegt, da eine Teilstrombehandlung von $Q < 3.300 \text{ m}^3/\text{h}$ handelt. Das erforderliche Filterbettvolumen ist in beiden Varianten gleich, wohingegen die Filtergeschwindigkeiten unterschiedlich sind.

Es sind dabei hohe Investitionen für den Neubau der Filterstufe sowie zusätzliche Pumpkosten zu berücksichtigen. Die Standzeit wird hierbei jedoch günstig mit 12 Monaten aufgrund der filtrierten Zulaufbelastung angesetzt.

Beide Alternativen sind in Abbildung 5.2 dargestellt.

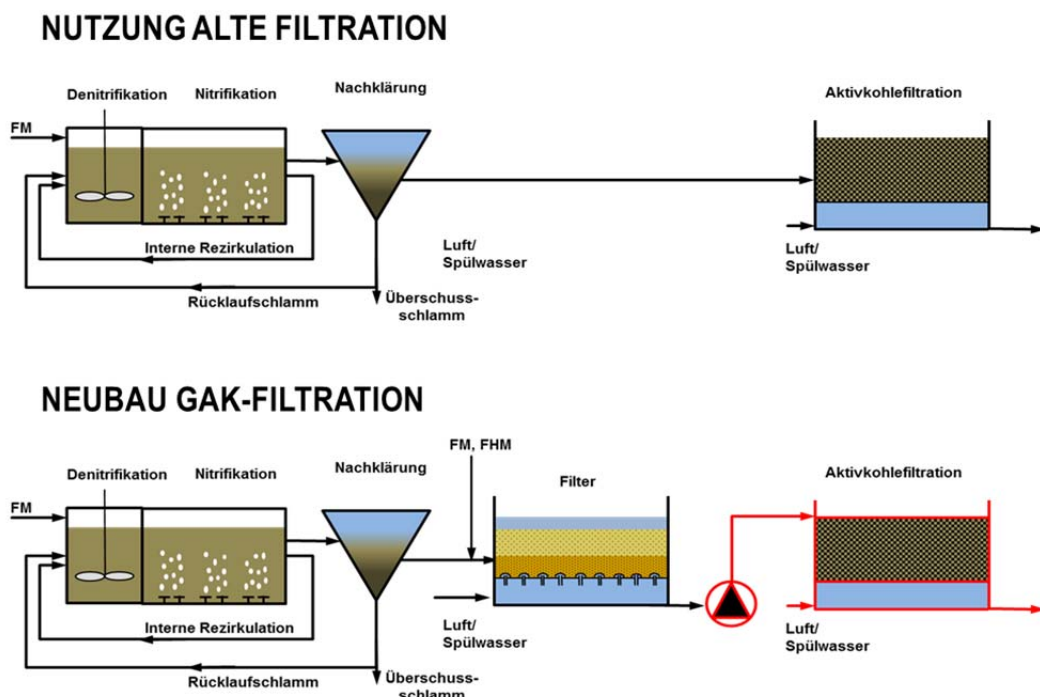


Abbildung 5.2: Fließbilder Varianten 2a und 2b (GAK Filtration)

5.2.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbe-
 messung aufgeführt.

Tabelle 5.2: Vordimensionierung Variante 2a und 2 b

Bemessungsparameter	
Bemessungswassermenge [m ³ /h]	3.300
jährliche Wassermenge, behandelt [m ³ /a]	14.581.740
Kontaktzeit Filter [min]	20
Max. Filtergeschwindigkeit, gew. (Q_t/Q_m) [m/h]	7,5 / 15
Vordimensionierung Anlagenteile Var. 2b	
erf. Bettvolumen [m ³]	ca. 1.200
erf. Fläche GAK-Filter [m ²]	ca. 400

Die nachfolgende Abbildung 5.3 zeigt eine Einbindung der Variante 2b vorberechneten
 Anlagenteile im Bestand.

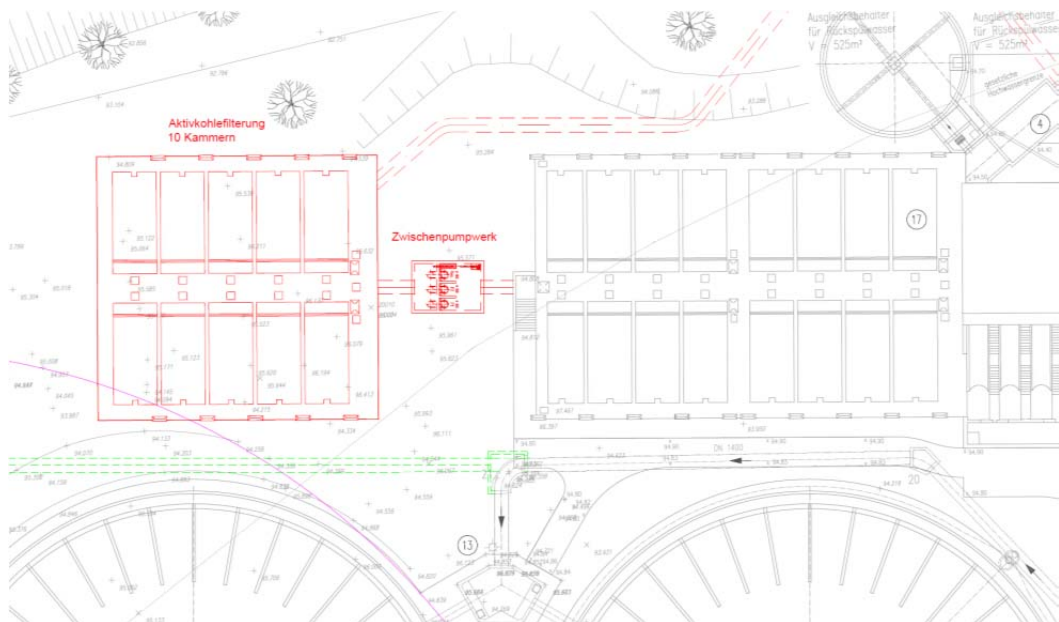


Abbildung 5.3: Lageplan Variante 2b: Neubau GAK-Filtration

5.2.3 Bewertung

Im Fall der Umsetzung der Variante 2 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination zu beachten:

- Schwächere Adsorptionskinetik durch größere Partikeldurchmesser
- Variante erfordert trotz geringer Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Keine Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich.
- Umsetzung erfordert keinen zwangsläufigen Bau von zusätzlichem Beckenvolumen
- Anders als bei der Ozonierung findet hier eine Entnahme von Mikroschadstoffen aus dem Abwasserstrom statt.
- Eine Rückführung und somit eine weitere Beladung der Kohle im Belebungsbecken ist nicht möglich.
- Eingesetzte Kohle kann bis zu einem gewissen Grad regeneriert werden (Anlagen zur Kohleregeneration sind jedoch wenig verbreitet)

Die Kostensicherheit ist vorab sehr gering, da die entscheidende Frage, wann das Filtermaterial beladen ist und infolgedessen ausgetauscht werden muss, ohne Versuche nicht beantwortet werden kann.

5.3 VARIANTE 3: OZONIERUNG

5.3.1 Verfahrensmerkmale

Bei der Variante 3 wird eine Ozonierung des Ablaufs der Nachklärbecken betrachtet. Zur Mikroschadstoffelimination mittels Ozonierung sind folgende Anlagenkomponenten erforderlich:

- Beschickungspumpwerk
- Ozon-Kontaktbecken mit Entgasungszone
- Sauerstofftank
- Ozonerzeugungsanlagen einschl. Notkühlung
- Ozondosieranlage
- Restozonentfernung

Der Ablauf der Nachklärung wird, wie bisher auch, dem neuen Zulaufpumpwerk der neuen Stufe zugeleitet. Es besteht die Möglichkeit, die Stufe zukünftig zu umfahren.

Die Auslegungswassermenge zur Bemessung der Ozonanlage wird analog zu den anderen Varianten mit 3.300 m³/h gewählt.

Für den Ozoneintrag kommen prinzipiell 2 Verfahrensweisen in Frage. Der Eintrag des ozonhaltigen Gases über Diffusoren direkt in den Ozonreaktor liefert vergleichbare Ergebnisse zu einer Ozonzugabe über einen Mischinjektor, bei der das ozonreiche Luft-Ozon-Gemisch dem Zulauf des Ozonreaktors zugeführt wird. Ein Ozoneintrag über ein Injektorsystem wird vorwiegend bei kleineren Anlagen vorgesehen.

Der Ozonerzeuger stellt Ozon aus Sauerstoff nach dem Prinzip der stillen elektrischen Entladung her. Das erforderliche Einsatzgas Sauerstoff bzw. getrocknete Luft wird am Eingang des Ozonerzeugers mittels eines Druckminderers auf den Gasbetriebsdruck des Ozonerzeugers reduziert.

Die Aufstellung des Ozonerzeugers wird im neuen Betriebsgebäude im unmittelbaren Bereich des Ozonreaktors vorgesehen. Der Tank für den Flüssigsauerstoff inklusive des zugehörigen Verdampfers wird außerhalb des Gebäudes aufgestellt. Die Fläche rund um den Flüssigsauerstofftank muss entsprechend befestigt werden und für Schwerverkehr zugänglich sein.

Die Kontaktbecken sind luftdicht abgedeckt, so dass, das im Bereich oberhalb des Wasserspiegels ansammelndes Ozon erfasst und über den Restozonentferner abgeleitet werden. Eine automatische Mess- und Regeltechnik überwacht indirekt den Behandlungserfolg über die kontinuierliche SAK Messung und die Messung des überschüssigen Ozons im Abgas und regelt die Ozonerzeugung und -verteilung entsprechend dem aktuellen Bedarf.

Zusätzlich sind Plattenwärmetauscher zur Entkopplung des Ozonerzeugers vorgesehen, um den Ozonerzeuger indirekt mit dem behandelten Abwasser zu kühlen.

5.3.2 Vordimensionierung

Nachstehend sind die wichtigsten Bemessungsdaten sowie die Ergebnisse der Vorbe-
 messung aufgeführt.

Tabelle 5.3: Vordimensionierung Variante 3

Bemessungsparameter	
Bemessungswassermenge [m ³ /h]	3.300
jährliche Wassermenge, behandelt [m ³ /a]	14.581.740
Dosierung Ozon [mg/l]	2 - 10
Sauerstoffbedarf [mgO ₂ /mgO ₃]	10
Aufenthaltszeit Ozonreaktor [min]	20
Aufenthaltszeit Bereich Ausgasung [min]	10
Vordimensionierung Anlagenteile	
erf. Volumen Kontaktbecken [m ³]	ca. 1.300
erf. Volumen Bereich Ausgasung [m ³]	ca. 400

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Einbindung der vorbemessenen Module im Be-
 stand.

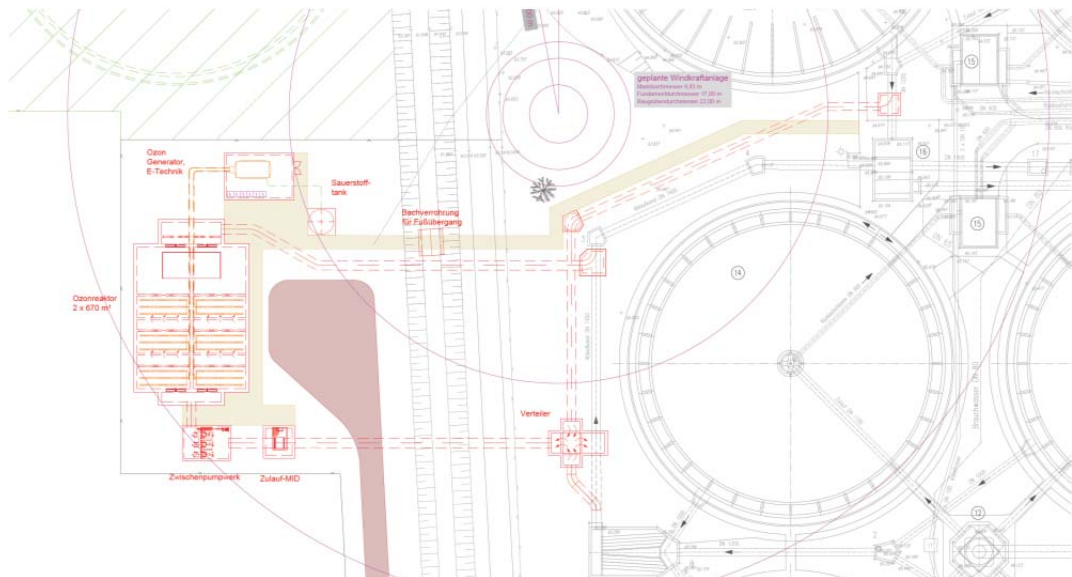


Abbildung 5.4: Lageplan Variante 3: Ozonierung

5.3.3 Bewertung

Im Fall der Umsetzung der Variante 3 sind die folgenden Punkte im Hinblick auf den Betrieb einer Mikroschadstoffelimination zu beachten:

- Große Bandbreite an Stoffen eliminierbar jedoch keinerlei Eliminationsleistung auf spezifische adsorbierbare Stoffe (z.B. PFT u.ä.)
- Hoher zusätzlicher Energieaufwand erforderlich
- Verfahren ist auch saisonal begrenzt einsetzbar
- Die Variante erfordert durch anspruchsvolle Maschinenteknik aufwändige und wartungsintensive Mess- und Regeltechnik.
- Minimierung der Betriebskosten durch Anpassung der Dosiermenge an Rohwasserbeschaffenheit und Ablaufziele möglich.
- Umsetzung erfordert den Bau von zusätzlichem Beckenvolumen, jedoch geringer als bei PAK-Dosierung
- Anders als bei der Adsorption findet keine Entfernung von Stoffen aus dem Abwasserstrom sondern lediglich eine Stofftransformation statt.
- Öko- und humantoxikologische Auswirkungen von entstehenden Metaboliten und Transformationsprodukten, sind bisher noch nicht abschließend erforscht (nachgeschaltete Filtration empfohlen)
- Keine erhöhte Schlammmenge bzw. andere Entsorgungsprodukte
- mindestens teilweise Hygienisierung des abwassers

6 VERGLEICH & EMPFEHLUNG

6.1 WIRTSCHAFTLICHER VARIANTENVERGLEICH

Die nachfolgend dargestellten Kosten sind ausschließlich Nettokosten und werden in Investitionskosten, Betriebskosten und Jahreskosten unterschieden.

6.1.1 Investitionskosten

Die Vorabschätzung der Kosten wurde anhand von Kostenvergleichswerten (z.B. €/m³ Kontaktbecken) sowie der Auswertung von Investitionskosten bereits realisierter Anlagen durchgeführt [11].

Investitionskosten sind die zur Erstellung, zum Erwerb oder zur Erneuerung von Anlagen erforderlichen einmalig anfallenden Kosten. Diese setzen sich wie folgt zusammen:

- Kosten für die Bautechnik
- Kosten für die Maschinenteknik
- Kosten für EMSR-Technik

Die Kostenannahme berücksichtigt keine Baunebenkosten (Honorare, Gutachten, Unvorhergesehenes, Sonstiges).

Hieraus ergeben sich die folgenden Investitionskosten für die entsprechenden Varianten.

Tabelle 6.1: Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)

Investitionen	Variante 1 PAK- Dosierung	Variante 2a Nutzung alte Filtration	Variante 2b Neubau GAK-Filtration	Variante 3 Ozonierung
Bautechnik [€]	4.027.000	1.213.000	4.533.000	1.914.000
Maschinenteknik [€]	1.340.000	45.000	2.945.000	772.000
EMSR Technik [€]	531.000	80.000	1.310.000	590.000
Gesamtkosten [€]	5.898.000	1.338.000	8.788.000	3.276.000

Für den Neubau der zusätzlichen Filtrationsstufe in Variante 2b wurden folgende Baukosten für die Filtration angenommen:

- Bautechnik: 3.320.000 €
- Maschinenteknik: 2.900.000 €
- EMSR-Technik: 1.230.000 €

Hinzu kommen weiter Umbaumaßnahmen (siehe Tabelle 6.1).

Eine detaillierte Aufschlüsselung der Investitionen der betrachteten Varianten befindet sich im Anhang A .

Zum Vergleich der Investitionskosten sind diese nachfolgend in Abbildung 6.1 nochmals grafisch dargestellt.

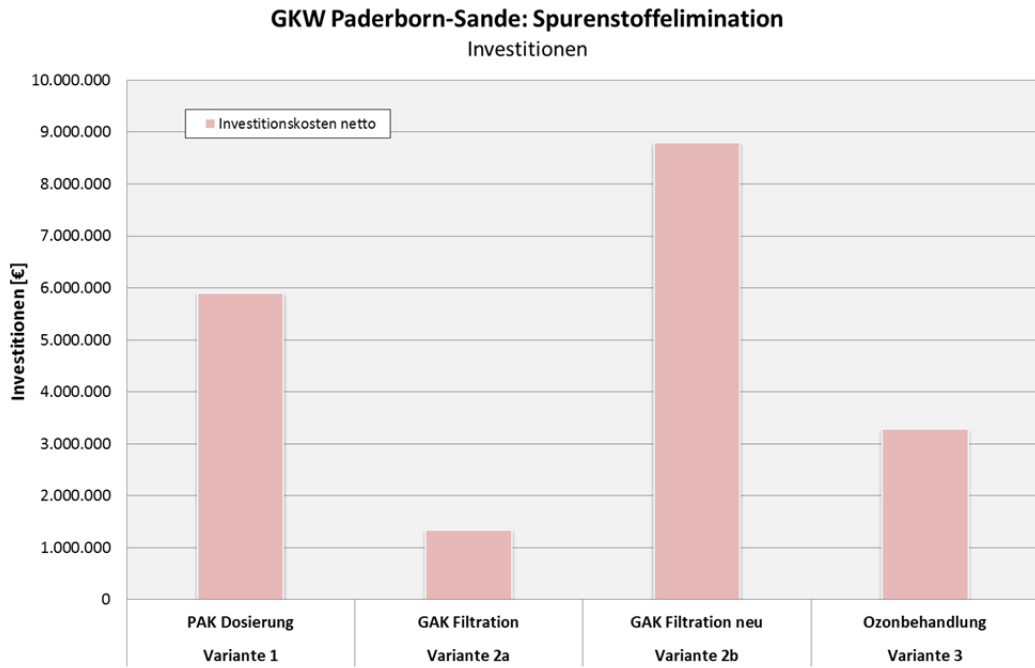


Abbildung 6.1: Vergleich Investitionskosten (netto, gerundet)

6.1.2 Betriebskosten

Für einen Vergleich der Varianten spielen bei einer weitergehenden Behandlungsstufe neben den Investitionskosten die Betriebskosten für Aktivkohleverbrauch, Ozonverbrauch und Stromverbrauch eine wesentliche Rolle.

Die Betriebskosten sind somit in der Betriebsphase regel- oder unregelmäßig wiederkehrende Aufwendungen. diese sind aufgeschlüsselt nach [11]:

- Personalkosten
- Energiekosten
- Wartungskosten / Unterhaltskosten
- Betriebsmittelkosten (z.B. O₂, Aktivkohle, Schlamm Entsorgung, Fällungs- und Flockungshilfsmittel)

Für die Ermittlung der Betriebskosten wurden weiterhin folgende Einzelkosten berücksichtigt:

- elektrische Energie (zu 0,15 €/kWh)
- Personalkosten (zu 50.000 €/(Personen*a))
- Wartung/ Unterhalt als prozentualer Ansatz der Investitionskosten:
 - Baukosten mit 1%,
 - Maschinenteknik mit 4%,
 - Elektrotechnik mit 2%
- Betriebsmitteleinsatz:
 - Sauerstoff: 0,14 €/kgO₂, 10 mg O₃/l
 - PAK: 1.100 €/Mg, 10 mg PAK/l
 - GAK: 1.200 €/Mg (regenerierte Kohle)
1.300 €/Mg (frische Kohle zur Erstbefüllung)
- Flockungshilfsmittel: 1.300 €/Mg
- Fällmittel: 130 €/Mg

Der Betrieb einer weitergehenden Stufe erfordert spezielle Fachkenntnisse. Insgesamt ist von einem gesteigerten Personalaufwand auszugehen.

Die Energiekosten ergeben sich aus dem Stromverbrauch für Pumpen, Rührwerke und der Ozonerzeugung. Die Berechnung erfolgte für eine mittlere Belastung der Anlagen.

Hieraus ergeben sich die folgenden Betriebskosten für die entsprechenden Varianten, welche in Tabelle 6.2 und Abbildung 6.2 dargestellt sind. Eine detaillierte Aufschlüsselung befindet sich im Anhang A

Tabelle 6.2: Vergleich Betriebskosten (netto)

Investitionen	Variante 1 PAK- Dosierung	Variante 2a Nutzung alte Filtration	Variante 2b Neubau GAK-Filtration	Variante 3 Ozonierung
Wartung & Instandhaltung [€/a]	105.000	15.500	189.000	62.000
Verbrauchsstoffe [€/a]	226.000	1.365.000	455.000	204.000
Energiebedarf [€/a]	50.000	4.500	83.000	297.000
Entsorgung [€/a]	304.000	91.000	30.000	0
Personalkosten [€/a]	15.000	30.000	30.000	30.000
Gesamtkosten [€/a]	700.000	1.506.000	787.000	593.000

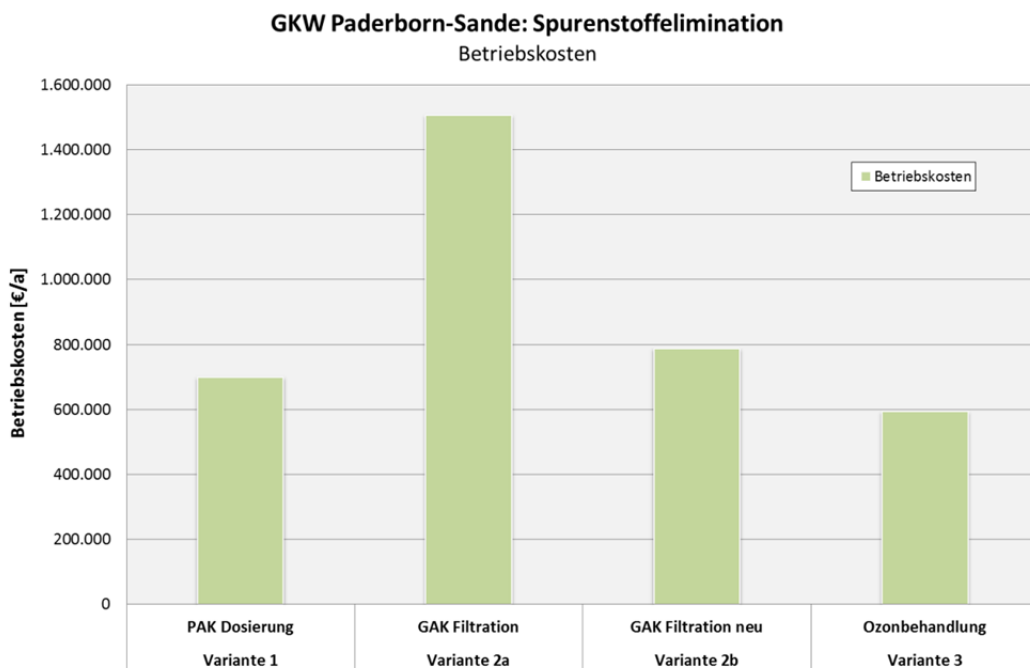


Abbildung 6.2: Vergleich Betriebskosten (netto, gerundet)

6.1.3 Kostenvergleichsrechnung

Für eine eindeutige Einordnung und eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten im Vergleich ist eine Kostengegenüberstellung notwendig. Diese wird anhand einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach [12] durchgeführt und dient als Hilfe bei der Entscheidungsfindung.

Das Ergebnis des Kostenvergleichs ist demnach unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Gesichtspunkte ein Vorschlag für die anstehende Entscheidungsfindung. Zur Durchführung der KVR werden die „Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen“ (KVR- Leitlinien) angewendet.

Zu Beginn der KVR sind zunächst feste zeitliche Bezugspunkte zu setzen. Hierzu zählen das Basisjahr (aktuelle Zeitpunkt), der Bezugszeitpunkt (meist Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn) und der Untersuchungszeitraum, demnach die Nutzungsdauer.

Für die Erweiterung des GWK Paderborn Sande wird als Bezugszeitpunkt ein beliebiger Zeitpunkt der Inbetriebnahme mit dem 01.01.2014 gewählt. Die Nutzungsdauer und damit der Betrachtungszeitraum von 30 Jahren werden vorgegeben.

Der Umfang der notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen wird entsprechend so gewählt, dass auch die vorhandenen Anlagenteile diese Nutzungsdauer voraussichtlich erreichen. Die Investitionszeitpunkte werden realistisch mit Maßgabe eines möglichst späten Zeitpunktes gewählt. Sie müssen vor Nutzungsbeginn liegen und werden in diesem Fall auf das Jahr 2014 gelegt, da sich die ausgewiesenen Kosten auf den Kostenstand 2013 beziehen (s.o.).

Als langfristiger Realzins (inflationbereinigt) wird $i = 3,0 \%$ gewählt. Von einer Preissteigerung wird ausgehend von den aktuellen Marktpreisen nicht ausgegangen wodurch r_{IK} und r_{IKR} mit 0% p.a. festgelegt wird.

Tabelle 6.3: Vergleich Kostenvergleichsrechnung (gerundet)

Summe der Jahreskosten aus:	Variante 1 PAK- Dosierung	Variante 2a Nutzung alte Filtration	Variante 2b Neubau GAK- Filtration	Variante 3 Ozonierung
Investitionen [€/a]	301.000	68.000	448.000	167.000
Re- Investitionen [€/a]	79.000	6.700	183.000	64.000
laufenden Kosten [€/a]	699.000	1.506.000	787.000	593.000
Jahreskosten [€/a]	1.079.000	1.580.700	1.418.000	824.000

Bewertung:

Aus der Kostenvergleichsrechnung geht Variante 3 (Ozonierung) als wirtschaftlich vorteilhafteste Variante hervor. Die Unterschiede der Alternativen zur GAK-Filtration (Variante 2a und Variante 2b) liegen unterhalb der Schätzgenauigkeit und sind somit als gleichwertig zu betrachten.

6.1.4 Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Jahreskostenbetrachtung gemäß [12] reflektieren bemessungsrelevante Annahmen der verschiedenen Lösungskonzepte in den Kosten.

Hierbei ist deutlich zu erkennen, welche Parameter von ausschlaggebender Bedeutung für die Investitionskosten, Betriebskosten und auch die Gesamtkosten sind:

- Energiekosten
- Verbrauchsstoffe
 - Pulveraktivkohle
 - granuliert Aktivkohle
 - Sauerstoff
- Erforderliche Dosierrate der Pulveraktivkohle
- Standzeiten der GAK-Filter
- Erforderliche Dosierrate des Ozons

Die Kosten für Verbrauchsstoffe, insbesondere Aktivkohle und Sauerstoff sind für alle Lösungskonzepte von besonderer Bedeutung. Betrachtet man die anteiligen verbrauchsspezifischen Betriebskosten mit 32 - 58 % der Gesamtbetriebskosten, wird die besondere Abhängigkeit der Jahreskosten deutlich. Eine besondere Stellung nehmen hier die Verbrauchskosten bei Variante 2a mit 90% ein.

Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wurden folgende Lastfälle betrachtet:

- A.) Verminderte Ozondosierung: 10 mg O₃/l → 7,5 mg O₃/l
- B.) Erhöhte Energiekosten: 0,15 €/kWh → 0,25 €/kWh
- C.) Erhöhte PAK Dosierung: 10 mg PAK/l → 7,5 mg PAK/l
- D.) Erhöhte GAK-Kosten: 1200 €/t → 1500 €/t

In der nachfolgenden Tabelle (Tabelle 6.4) sind die Auswirkungen der betrachteten Lastfälle auf die Jahreskosten zusammengefasst.

Tabelle 6.4: Sensitivitätsanalyse, Veränderung Jahreskosten (gerundet).

Lastfälle	Variante 1 PAK-Dosierung	Variante 2a Nutzung alte Filtration	Variante 2b Neubau GAK-Filtration	Variante 3 Ozonierung
A) Ozon: 10 --> 7,5 mg O ₃ /l				- 14 %
B) Energie: 0,15 - 0,25 €/kWh	+ 3%	± 0%	+ 4%	+ 24%
C) PAK: 10 --> 15 mg PAK/l	+ 14 %			
D) GAK: 1200 --> 1500 €/t		+ 22 %	+ 8 %	

Von entscheidender Bedeutung für die Gesamtbetrachtung ist neben dem spezifischen Materialpreis die Standzeit der GAK-Reaktoren. Gemäß der klärtechnischen Berechnung wird derzeit für die GAK-Varianten von einer Standzeit von 4 bzw. 12 Monaten ausgegangen.

Die Standzeit ist wesentlich davon abhängig, welche Stoffe zu welchem Grad eliminiert werden sollen. In der nachfolgenden Abbildung ist der Einfluss der der Standzeit auf die Betriebskosten durch den Verbrauch an granulierter Aktivkohle dargestellt.

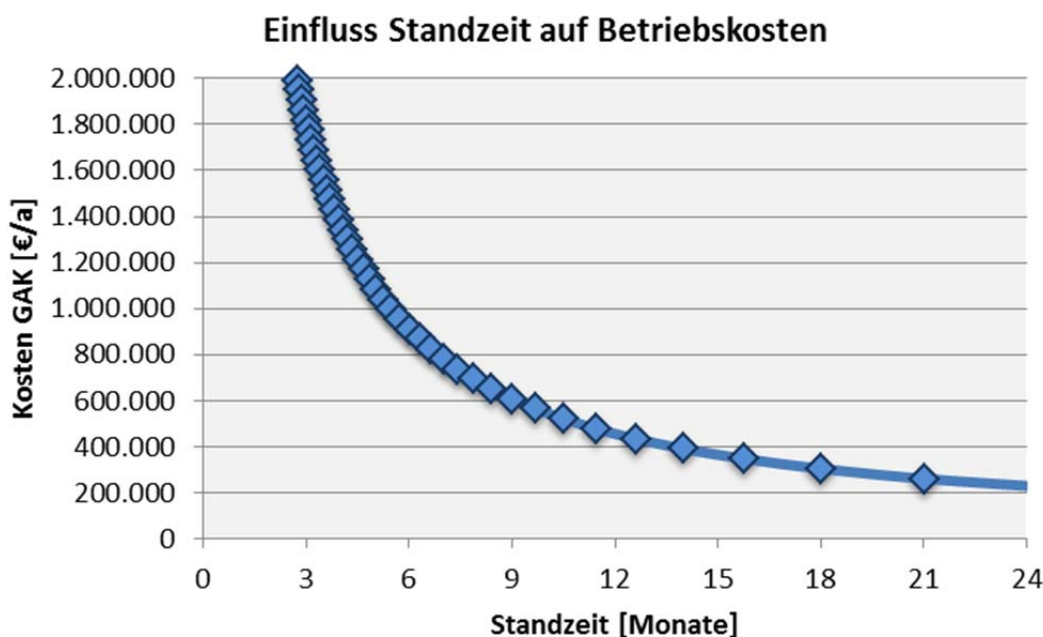


Abbildung 6.3: Einfluss Standzeit auf Kosten GAK

In der durchgeführten Kostenvergleichsrechnung wurde keine Preissteigerung für elektrische Energie sowie Aktivkohle angesetzt. Insbesondere eine Steigerung der Aktivkohlepreise wird zu einer deutlichen Erhöhung der Betriebs- und Jahreskosten führen. Aufgrund der zukünftig verstärkten energetischen Eigenversorgung des GWK (Windrad), sind daher wirtschaftliche Vorteile bei der Ozonierung zu erwarten.

Eine hydraulische Energieoptimierung ist unabhängig von der Sensitivitätsbetrachtung im Rahmen der weiteren Detailplanung anzustreben.

Für die Filterstandzeit lassen sich derzeit keine exakten Vorgaben treffen. Für genauere Aussagen sind Pilotversuche durchzuführen.

6.2 TECHNISCHER VARIANTENVERGLEICH

Die vier ausgewählten Varianten werden im technischen Variantenvergleich durch mit einer Nutzwertanalyse untersucht und bewertet. Dabei handelt es sich eine Methode, die den Nutzwert verschiedener Entscheidungsalternativen im Vergleich zueinander liefert. Das Ergebnis der Analyse liefert für jede der Varianten eine Zahl, die den Nutzwert darstellt. Die „beste“ Lösung erhält dabei, im Vergleich zu den anderen Varianten, den höchsten Nutzwert.

Sie ist besonders gut geeignet, wenn „weiche“ oder „technische“- also in Geldwert oder Zahlen nicht darstellbare – Kriterien vorliegen, anhand derer zwischen verschiedenen Alternativen eine Entscheidung gefällt werden muss.

Da für die Wahl der Vorzugsvariante letztlich aber das Zusammenführen von monetären und nicht-monetären Bewertungskriterien notwendig ist, wurden auch die Ergebnisse aus der KVR in der Nutzwert-Analyse bewertet. Die Ergebnisse der KVR (monetäre Bewertungskriterien) wurden dabei in dimensionslose Kennwerte (Nutzenpunkte) übertragen.

Die Ziele werden, ihrer Hierarchie folgend gewichtet, da nicht alle Ziele gleich wichtig für das Gesamtziel sind. Die Summe aller Gewichte muss 100 ergeben, damit 100% Gesamtnutzen vorhanden ist.

Die einzelnen Bewertungskriterien erhalten Punkte hinsichtlich ihrer Zielerreichungsgrade. Die Verteilung erfolgt ganzzahlig mit einer Skala von 0 bis 1, wobei 0 das Versagen hinsichtlich des entsprechenden Zieltes und 1 dessen vollständige Erfüllung bedeutet.

In der Tabelle 6.5 ist das Ergebnis der durchgeführten Nutzwert-Analyse dargestellt.

Tabelle 6.5: Technischer Variantenvergleich

Kriterium	Gewichtung	Variante 1		Variante 2a		Variante 2b		Variante 3	
		Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert
Jahreskosten	40%	0,76	0,31	0,52	0,21	0,58	0,23	1,00	0,40
Reinigungsleitung: Breitbandwirkung	10%	0,8	0,08	0,7	0,07	0,7	0,07	0,8	0,08
Reinigungsleitung: Adsorbierbare Stoffe	10%	0,8	0,08	0,7	0,07	0,7	0,07	0,0	0,00
Reinigungsleitung: Desinfektion	10%	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,8	0,08
Betriebssicherheit/ Prozessstabilität	10%	0,8	0,08	0,5	0,05	0,5	0,05	0,8	0,08
Planungssicherheit / Referenzen	10%	0,8	0,08	0,5	0,05	0,5	0,05	0,5	0,05
Wartungs/ Betriebsaufwand	5%	0,8	0,04	0,6	0,03	0,6	0,03	0,5	0,03
Erweiterbarkeit	5%	0,6	0,03	0,9	0,05	0,6	0,03	0,9	0,05
Summe	100%		0,70		0,52		0,53		0,76
Ranking			2		4		3		1

Im Ergebnis der Kosten-Nutzwert-Analyse ist erkennbar, dass die Varianten 1 und 3 mit einem Nutzwert von 0,7 bzw. 0,76 als Vorzugsvarianten hervortreten. Die Varianten zur GAK-Filtration ergeben einen deutlich niedrigeren Nutzwert.

Insgesamt liegen die Varianten 1 und 3 noch im Toleranzbereich von 10 % und sind daher als gleichwertig zu betrachten.

6.3 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

6.3.1 Zusammenfassung

Die derzeit diskutierten Verfahren zur Elimination von Mikroschadstoffen im Ablauf der von Kläranlagen befinden sich an der Schwelle zwischen Versuchsanlagen in halbtechnischen Maßstab und Pilotanlagen im großtechnischen Maßstab.

Sowohl die Verwendung von Ozon als auch eine Adsorption an Aktivkohle ist auf kommunalen Kläranlagen noch nicht weit verbreitet. Insgesamt ist jedoch in den letzten Jahren eine stärkere Umsetzung von Behandlungsanlagen auf der Basis von Aktivkohlead-sorption zu beobachten.

Bundesweit besteht vor dem Hintergrund eines verbesserten Gewässerschutzes der Trend zur Förderung von Leuchtturmprojekten zur Elimination von Mikroschadstoffen im Ablauf von Kläranlagen. Diese Innovationsprogramme konzentrieren sich verstärkt auf die Förderung von Investitionen zur Installation weitergehender Reinigungsstufen.

Es ist zu erwarten, dass hier vorrangig Kläranlagen der folgenden Kategorie betrachtet werden [15]:

- Kläranlagen größer 100.000 EW
- Kläranlagen mit Einleitung oberhalb TW-Gewinnungsanlagen
- Kläranlagen mit leistungsschwachen Vorflutern

Derzeit bestehen jedoch noch keine klar definierten Reinigungsziele bzw. eine Eingrenzung von Leitparameter, welche Voraussetzung für eine konkrete Auswahl eines Verfahrens zur weitergehenden Spurenstoffelimination sind.

Hier ist auf Parameter zu verweisen welche in Bezug auf die Varianten Ausschlusskriterien darstellen können.

Dies wird insbesondere bei der Ozonierung deutlich, welche eine technisch und wirtschaftlich interessante Option darstellt, jedoch trotz weitgehender Reinigungsleistung (Arzneimittel, Desinfektion) zur Elimination von adsorbierbaren Stoffen (z.B. PFT u.ä.) ungeeignet ist.

Wie in Tabelle 3.5 dargestellt wird, können die im Ablauf des GWKs Paderborn-Sande gemessenen Mikroschadstoffe Iomeprol nur teilweise bzw. PFT fast gar nicht durch eine Ozonierung eliminiert werden.

Daher ist im Rahmen der weiteren Planung zu definieren, welche Varianten grundsätzlich verfolgt werden soll und welche enthaltenen Kostenrisiken durch weitergehende Untersuchungen zu einer Kostensicherheit beitragen können.

Hierzu ist eine Vorgabe von Zielparametern von behördlicher Seite erforderlich. Vor einer Installation von großtechnischen Anlagen werden zunächst halbtechnische Versuche empfohlen.

6.3.2 Empfehlung

Es wird seitens Dahlem Beratende Ingenieure an dieser Stelle empfohlen, die entwickelten Variante 1 (PAK Dosierung) sowie die Variante 3 (Ozonierung), abhängig von den zuvor definierten Eliminationszielen (z.B. Röntgenkontraststoffe, Arzneimittel, PFT, o.ä.), in einer weiteren Bearbeitungsphase durch wissenschaftlich betreute Vorversuche vertieft zu betrachten.

Essen, im Juni 2013

DAHLEM Beratende Ingenieure
GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG

Bearbeitung:
Dipl. Ing. A. Voigt
Dipl. Ing. F. Kunze

7 LITERATUR

- [1] Studie zur Einhaltung verschärfter Grenzwerte gemäß Abwasserverordnung auf dem Gruppenklärwerk Paderborn-Sande, Dr. Dahlem, 2004
- [2] Abschlussbericht MIKROFlock: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012
- [3] DVGW (1987): Beurteilung von Aktivkohle für die Wasseraufbereitung. a. d. R.: DVGW [Hrsg.]: Merkblätter des DVGW, DVGW-Merkblatt W 240 (Stand Dez. 1987).
- [4] Abschlussbericht ENVELOSO: Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- [5] Abschlussbericht: Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen; Teil 1 & 2, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2003/2006
- [6] Metcal & Eddy: Wastewater Engineering – Treatment and Reuse; Tchobanglous, G. Burton, F. Stensel, H. Metcalf & Eddy Inc., McGraw Hill, Boston, 2003
- [7] Abschlussbericht Mikropoll: Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU, September 2010
- [8] Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser: Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU Bern, 2012
- [9] Gespräche mit Mitarbeitern der KA Paderborn Sande
- [10] Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen"; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Mai 2000
- [11] Mertsch et al. (2013): Kosten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen“, GWA, Band 232, Tagungsband zur 46. Essener Tagung, Hrsg. Pinnekamp, Aachen 2013
- [12] "Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. überarbeitete Auflage "; Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Juli 2012
- [13] „Deutscher Bundestag (2012): Antwort der Bundesregierung auf Kleine Anfrage der Abgeordneten Dorothea Steiner et al. und der Fraktion BÜNDNIS90/ Die

Grünen- Drucksache 17/10914, Berlin, - Anthropogene Spurenstoffe in der Umwelt

- [14] Vietoris (2013): „Vorkommen und Relevanz von Mikroverunreinigungen in Gewässern NRW´s“, GWA, Band 232, Tagungsband zur 46. Essener Tagung, Hrsg. Pinnekamp, Aachen 2013
- [15] Abschlussbericht: „MIKROSCHADSTOFFE AUS KOMMUNALEM ABWASSER: Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen“, Abschlussbericht, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2012

Anhang A : KOSTENANNAHME

Variante 1: PAK Dosierung

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Rohrleitungen				
	DN 1200 Ablauf NKB - Verteiler, aus Stahlbeton	75	m	1.000	75.000
	DN 1400 Ablauf NKB - Verteiler - MID - Zwischenpumpwerk, aus Stahlbeton	80	m	1.300	104.000
	DN 800 Ablauf Kontaktbecken - Absetzbecken, aus PE	100	m	600	60.000
	DN 800 Ablauf Absetzbecken - Vereinigungsschacht, aus Stahlbeton	50	m	700	35.000
	DN 1400 Ablauf Vereinigungsschacht - vorh. Ablaufkanal, aus Stahlbeton	65	m	1.300	84.500
	DN 500/DN 600 Rücklaufschlammleitungen, aus PE	300		400	120.000
	DN 3000 Bachverrohrung für Übergang	1	psch	20.000	20.000
	Summe Kanäle Rohrleitungen:				498.500
1.2	Pumpwerke				
	Beschickungspumpwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	165	m³	400	66.000
	Rücklauf-Kohleschlamm-Schneckenpumpwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	260	m³	400	104.000
	Überschuss-Kohleschlamm-Pumpwerk	40	m³	400	16.000
	Summe Pumpwerke:				186.000
1.3	Bauwerke - Tiefbau				
	Verteilerbauwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	180	m³	400	72.000
	Zulauf MID Bauwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	100	m³	400	40.000
	PAK Kontaktbecken (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	1.750	m³	300	525.000
	Absetzbecken (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	7.000	m³	280	1.960.000
	Rücklauf-Kohleschlamm-MID Bauwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	180	m³	350	63.000
	Anschlusschächte (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	120	m³	200	24.000
	Kanalschächte	3	Stück	15.000	45.000
	Summe Becken und Schächte:				2.729.000
1.4	Bauwerke - Hochbau				
	N5 + Betriebsaum PAK, FHM (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	160	m³	400	64.000
	Summe Gebäude:				64.000
1.5	Sonstiges				
	Fundamente Silo etc.	1	psch	20.000	20.000
	Straßen, Wege	1.600	m²	90	144.000
	Grünflächen	1	psch	10.000	10.000
	Brauch- und Trinkwassermetz	1	psch	15.000	15.000
	Kabelschächte	5	Stück	6.500	32.500
	Kabeltrassen	1	psch	10.000	10.000
	Gitterroste, Geländer	1	psch	20.000	20.000
	Summe Sonstiges:				251.500
	Zwischensumme Baukosten				3.729.000
1.6	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		298.320
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				4.027.320
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen				
	Dosierleitungen PAK	80	m	100	8.000
	Dosierleitungen Fällmittel	70	m	100	9.000
	Summe Rohrleitungen:				17.000
2.2	Beckenausrüstung				
	Rührwerk Kontaktbecken	1	psch	23.500	23.500
	Rührwerk Dosierung	1	psch	10.000	10.000
	Ausrüstung Absetzbecken	2	psch	25.000	50.000
	Summe Rührwerke:				83.500
2.3	Pumpen				
	Beschickungspumpen	3	Stck	30.000	90.000
	RS-Schlamm-Schnecken	3	Stck	45.000	135.000
	US-Schlamm-Pumpen	3	Stck	8.000	24.000
	Armaturen, Edelstahlrohrleitungen	1	psch	24.900	24.900
	Summe Pumpen:				249.000
2.4	Räumer				
	Räumer der Absetzbecken	2	Stck	90.000	180.000
	Summe Räumer:				180.000
2.5	Chemikalienstation				
	FHM-Lager und Dosierstation	1	Stck	22.900	22.900
	Dosierstation Fällmittel	1	Stck	115.000	115.000
	Summe Chemikalienstation:				137.900
2.6	PAK-Silo				
	PAK-Silo 125 m³ mit 2 Dosiereinheiten inkl. Steuerung	1	Stck	440.000	440.000
	Druckluftvers., Treibwasser, Suspensionsleitung, Treibwasserleitung etc.	1	psch	35.000	35.000
	Summe PAK-Silo:				475.000
2.7	Sonstige Maschinentechnik				
	Absperrschieber	6	Stck	6.500	39.000
	Überfallwehre	8	Stck	10.000	80.000
	Damntafel Zulauf, Notumlauf	8	Stck	4.000	32.000
	Durchflussmessungen (MID) DN 1400	1	Stck	16.000	16.000
	Durchflussmessungen (MID) DN 500	2	Stck	8.000	16.000
	Summe Sonstige Maschinentechnik:				183.000
2.8	Sonstiges				
	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb	1	psch	10.000	10.000
2.9	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	Summe Baustelleneinrichtung:				5.000
	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:				1.340.400
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	EMSR-Technik inkl. Messgeräte				
	EMSR-Technik inkl. Messgeräte	1	psch		530.873
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				530.873
4	Baunebenkosten				
4.1	Baunebenkosten				
	Baunebenkosten	1	psch		0
	Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:				0
	Gesamtkosten				
1	Gesamtsumme Baukosten				4.027.320
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				1.340.400
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				530.873
4	Baunebenkosten				0
	Summe Investkosten netto				5.898.593
	+ 19 % MwSt.				1.120.733
	Summe Investkosten brutto				7.019.326

Variante 1: PAK Dosierung

Investitionskosten			
Kosten Bau	€		4.027.320
Kosten Maschinentechnik	€		1.340.400
Kosten EMSR Technik	€		530.873
Kosten sonstige	€		-
Gesamtkosten (Stand 2013):	€		5.898.593
Betriebswerte			
Jährlich behandeltes Abwasser	m³/a		14.581.740
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		235.000
Lastfaktor	-		1
Wartung & Instandhaltung			
Bautechnik (1% von Invest)	€/a		40.273
M-Technik (4% von Invest)	€/a		53.616
E-Technik (2% von Invest)	€/a		10.617
Verbrauchsstoffe			
Fällmittel	t/a		474
	€/t		130
	€/a		61.646
Flockungshilfsmittel	t/a		3
	€/t		1.300
	€/a		3.791
Pulveraktivkohle	t/a		146
	€/t		1.100
	€/a		160.399
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		225.837
Energiebedarf			
Zwischenpumpwerk	kW/a		159.011
Umwälzung	kW/a		153.300
Einmischung	kW/a		21.623
zus. Filterspülungen	kW/a		
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		333.934
spez. Energiekosten	€/kW		0,15
Energiekosten	€/a		50.090
Schlammentsorgung			
Pulveraktivkohle	t _{TR} /a		399
Fällschlamm	t _{TR} /a		399
AFS	t _{TR} /a		420
Gesamtmenge	t _{TR} /a		799
Entwässerungskosten	€/t _{TR}		80
Entsorgungskosten	€/t _{TR}		300
Schlammentsorgung, gesamt	€/a		303.620
Personalkosten			
Arbeitsaufwand	h/Monat		40
	h/(Person*a)		1.600
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,30
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		15.000
Übersicht			
Wartung & Instandhaltung	€/a		104.507
Verbrauchsstoffe	€/a		225.837
Energiebedarf	€/a		50.090
Schlammentsorgung	€/a		303.620
Personalkosten	€/a		15.000
Gesamtkosten	€/a		699.053

Variante 2: GAK Filtration

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1,1	Rohrleitungen				
	Anpassung Zuläufe Filterkammern	16	psch	12.000	192.000
	Summe Kanäle Rohrleitungen:				192.000
1,2	Bauwerke - Tiefbau				
	Summe Becken und Schächte:				0
1,4	Bauwerke - Hochbau				
	Summe Gebäude:				0
1,5	Sonstiges				
	Ausbau und Entsorgung Filtermaterial	648	m ³	75	48.600
	Einbau Filtermaterial	648	m ³	1.300	842.400
	Summe Sonstiges:				891.000
	Zwischensumme Baukosten				1.083.000
1,6	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		129.960
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				1.212.960
2	Maschinentechnik Kosten				
2,3	Sonstiges				
	Anpassung Spülprogramm	1	psch	25.000	25.000
	Inbetriebnahme, Doku, Probebetrieb	1	psch	15.000	15.000
2,4	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	Summe Baustelleneinrichtung:				5.000
	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:				45.000
3	EMSR-Technik Kosten				
3,1	Erweiterung Messtechnik				
	Erweiterung Messtechnik	1	psch		60.000
	sonstige Elektro- und EMSR Technik	1	psch		20.000
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				80.000
4	Baunebenkosten				
3,1	Baunebenkosten				
	Baunebenkosten	1	psch		0
	Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:				0
	Gesamtkosten				
1	Gesamtsumme Baukosten				1.212.960
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				45.000
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				80.000
4	Baunebenkosten				0
	Summe Investkosten netto				1.337.960
	+ 19 % MwSt.				254.212
	Summe Investkosten brutto				1.592.172

Variante 2a: GAK Filtration in vorh. Filtration

Investitionskosten			
Kosten Bau	€		1.212.960
Kosten Maschinenteknik	€		45.000
Kosten EMSR Technik	€		80.000
Kosten sonstige	€		-
Gesamtkosten (Stand 2013):	€		1.337.960
Betriebswerte			
Jährlich behandeltes Abwasser	m³/a		14.581.740
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		235.000
Lastfaktor	-		1
Wartung & Instandhaltung			
Bautechnik (1% von Invest)	€/a		12.130
M-Technik (4% von Invest)	€/a		1.800
E-Technik (2% von Invest)	€/a		1.600
Verbrauchsstoffe bei Standzeit von 4 Monaten			
Fällmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Flockungshilfsmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Granulierte Aktivkohle	t/a		1.137
	€/t		1.200
	€/a		1.364.688
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		1.364.688
Energiebedarf			
Zwischenpumpwerk	kW/a		
Umwälzung	kW/a		
Einmischung	kW/a		
zusätzliche Filterspülungen	kW/a		29.200
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		29.200
spez. Energiekosten	€/kW		0,15
Energiekosten	€/a		4.380
Schlammensorgung			
Granulierte Aktivkohle	t _{TR} /a		1.137
Fällschlamm	t _{TR} /a		-
AFS	t _{TR} /a		-
Gesamtmenge	t _{TR} /a		1.137
Entwässerungskosten	€/t _{TR}		80
Entsorgungskosten	€/t _{TR}		-
Schlammensorgung, gesamt	€/a		90.979
Personalkosten			
Arbeitsaufwand	h/Monat		80
	h/(Person*a)		1.600
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,60
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		30.000
Übersicht			
Wartung & Instandhaltung	€/a		15.530
Verbrauchsstoffe	€/a		1.364.688
Energiebedarf	€/a		4.380
Schlammensorgung	€/a		90.979
Personalkosten	€/a		30.000
Gesamtkosten	€/a		1.505.577

spezifische Kosten

€ pro m³ gereinigtes Abwasser	€/m³	0,10
€ pro Einwohnerwert	€/EW	6,41
kWh pro Einwohnerwert	kW/EW	0,12

Variante 2b: GAK Filtration in neue Filtration

Investitionskosten			
Kosten Bau	€		4.532.960
Kosten Maschinenteknik	€		2.945.000
Kosten EMSR Technik	€		1.310.000
Kosten sonstige	€		-
total costs (prices 2013):	€		8.787.960
Betriebswerte			
Jährlich behandeltes Abwasser	m³/a		14.581.740
pollution load (BOD5)	1000 kg/a		
Einwohnerwerte	EW		235.000
Lastfaktor	-		1
Wartung & Instandhaltung			
Bautechnik (1% von Invest)	€/a		45.330
M-Technik (4% von Invest)	€/a		117.800
E-Technik (2% von Invest)	€/a		26.200
Verbrauchsstoffe bei Standzeit von 12 Monaten			
Fällmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Flockungshilfsmittel	t/a		-
	€/t		-
	€/a		-
Granulierte Aktivkohle	t/a		379
	€/t		1.200
	€/a		454.896
sonstiges	€/a		-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a		454.896
Energiebedarf			
Zwischenpumpwerk	kW/a		477.034
Umwälzung	kW/a		-
Einmischung	kW/a		-
zus. Filterspülungen	kW/a		72.909
sonstige	kW/a		-
Gesamtenergiebedarf	kW/a		549.943
spez. Energiekosten	€/kW		0,15
Energiekosten	€/a		82.491
Schlammensorgung			
Granulierte Aktivkohle	t _{TR} /a		379
Fällschlamm	t _{TR} /a		-
AFS	t _{TR} /a		-
Gesamtmenge	t _{TR} /a		379
Entwässerungskosten	€/t _{TR}		80
Entsorgungskosten	€/t _{TR}		-
Schlammensorgung, gesamt	€/a		30.326
Personalkosten			
Arbeitsaufwand	h/Monat		80
	h/(Person*a)		1.600
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a		0,60
spez. Personalkosten	€/(Person*a)		50.000
Personalkosten	€/a		30.000
Übersicht			
Wartung & Instandhaltung	€/a		189.330
Verbrauchsstoffe	€/a		454.896
Energiebedarf	€/a		82.491
Schlammensorgung	€/a		30.326
Personalkosten	€/a		30.000
Gesamtkosten	€/a		787.043

spezifische Kosten

€ pro m³ gereinigtes Abwasser	€/m³	0,05
€ pro Einwohnerwert	€/EW	3,35
kWh pro Einwohnerwert	kW/EW	2,34

Variante 3: Ozonierung

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1,1	Rohrleitungen				
	DN 1200 Zulauf, vorh. NKB - Verteiler, aus Stahlbeton	75	m	1.000	75.000
	DN 1400 Zulauf, vorh. NKB - Verteiler - MID - Zwischenpumpwerk, aus Stahlbeton	60	m	1.400	84.000
	DN 1400 Ablauf Ozonreaktor - vorh. Ablaufkanal, aus Stahlbeton	60	m	1.400	84.000
	DN 3000 Bachverrohrung für Übergang	4	m	5.000	20.000
	Summe Kanäle Rohrleitungen:				263.000
1,2	Zwischenpumpwerk				
	Beschickungspumpwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	165	m³	400	66.000
	Summe Pumpwerke:				66.000
1,3	Bauwerke - Tiefbau				
	Verteilerbauwerk (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	180	m³	400	72.000
	MID Schacht (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	100	m³	400	40.000
	Ozon Kontaktbecken (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	3.000	m³	350	1.050.000
	Anschlusschächte (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	120	m³	200	24.000
	Kanalschächte	2	Stück	15.000	30.000
	Summe Becken und Schächte:				1.104.000
1,4	Bauwerke - Hochbau				
	NS Raum, Ozongeneratorraum (spez. Kosten/m³ umbauter Raum)	300	m³	400	120.000
	Summe Gebäude:				120.000
1,5	Sonstiges				
	Fundamente Silo, Kühler etc.	1	psch	20.000	20.000
	Straßen, Wege	1.300	m²	90	117.000
	Grünflächen	1	psch	10.000	10.000
	Brauch-und Trinkwassernetz	1	psch	15.000	15.000
	Kabelschächte	5	Stück	6.500	32.500
	Kabeltrassen	1	psch	10.000	10.000
	Gitterroste, Geländer	1	psch	15.000	15.000
	Summe Sonstiges:				219.500
	Zwischensumme Baukosten				1.772.500
1,6	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung 8 %	1	psch		141.800
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				1.914.300
2	Maschinentechnik Kosten				
2,1	Ozonerzeugungsanlage				
	Einsatzgasaufbereitung				
	Ozongenerator (54kg/h)	2	Stck		
	Ozonkonzentrationsmessung	1	Stck		
	Kühlwassersystem	2	Stck		
	Restozonvernichter inkl. Messung	2	Stck		
	Ozoneintrag mit Injektor-Radialbegasersystem	2	Stck		
	Raumluftüberwachung	1	Stck		
	Summe Ozonerzeugungsanlage:				652.000
2,2	Beschickungspumpwerk Beschickungspumpwerk				
	Beschickungspumpen	3	Stck	30.000	90.000
	Armaturen, Edelstahlrohrleitungen	1	psch	15.000	15.000
	Summe Beschickungspumpwerk:				105.000
2,3	Sonstiges				
	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb	1	psch	10.000	10.000
2,4	Baustelleneinrichtung				
	Baustelleneinrichtung	1	psch	5.000	5.000
	Summe Baustelleneinrichtung:				5.000
	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten:				772.000
3	EMSR-Technik Kosten				
3,1	EMSR-Technik inkl. Messgeräte				
	EMSR-Technik inkl. Messgeräte	1	psch		589.676
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				589.676
4	Baunebenkosten				
4,1	Baunebenkosten				
	Baunebenkosten	1	psch		0
	Gesamtsumme 4 Baunebenkosten:				0
1	Gesamtkosten				
	Gesamtsumme Baukosten				1.914.300
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				772.000
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				589.676
4	Baunebenkosten				0
	Summe Investkosten netto				3.275.976
	+ 19 % MwSt.				622.435
	Summe Investkosten brutto				3.898.411

Variante 3: Ozonierung

Investitionskosten		
Kosten Bau	€	1.914.300
Kosten Maschinentechnik	€	772.000
Kosten EMSR Technik	€	589.676
Kosten sonstige	€	-
Gesamtkosten (Stand 2013):	€	3.275.976
Betriebswerte		
Jährlich behandeltes Abwasser	m ³ /a	14.581.740
pollution load (BOD5)	1000 kg/a	
Einwohnerwerte	EW	235.000
Lastfaktor	-	1
Wartung & Instandhaltung		
Bautechnik (1% von Invest)	€/a	19.143
M-Technik (4% von Invest)	€/a	30.880
E-Technik (2% von Invest)	€/a	11.794
Verbrauchsstoffe		
Fällmittel	t/a	-
	€/t	-
	€/a	-
Flockungshilfsmittel	t/a	-
	€/t	-
	€/a	-
Sauerstoff	t/a	1.458
	€/t	140
	€/a	204.144
sonstiges	€/a	-
Verbrauchsstoffe, gesamt	€/a	204.144
Energiebedarf		
Zwischenpumpwerk	kW/a	156.484
Umwälzung	kW/a	-
Ozonerzeugung	kW/a	1.822.718
zus. Filterspülungen	kW/a	
sonstige	kW/a	-
Gesamtenergiebedarf	kW/a	1.979.201
spez. Energiekosten	€/kW	0,15
Energiekosten	€/a	296.880
Schlamm Entsorgung		
Pulveraktivkohle	t _{TR} /a	-
Fällschlamm	t _{TR} /a	-
AFS	t _{TR} /a	-
Gesamtmenge	t _{TR} /a	-
Entwässerungskosten	€/t _{TR}	-
Entsorgungskosten	€/t _{TR}	-
Schlamm Entsorgung, gesamt	€/a	-
Personalkosten		
Arbeitsaufwand	h/Monat	80
	h/(Person*a)	1.600
Anzahl Arbeitskräfte pro Jahr	Person/a	0,60
spez. Personalkosten	€/(Person*a)	50.000
Personalkosten	€/a	30.000
Übersicht		
Wartung & Instandhaltung	€/a	61.817
Verbrauchsstoffe (Sauerstoff)	€/a	204.144
Energiebedarf	€/a	296.880
Schlamm Entsorgung	€/a	-
Personalkosten	€/a	30.000
Gesamtkosten	€/a	592.841

Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Projekt: GWK Paderborn
Variante: 1: PAK Dosierung

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2013
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2014
Untersuchungszeitraum bis	2044
Betrachtungszeitraum	30

Realzins $i = 3,000\%$ 0,0300 p.a.
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten $r_{ik} = 0,000\%$ 0,0000 p.a.
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten $r_{ikk} = 0,000\%$ 0,0000 p.a.

KGR (DIN 276)	Aufzinstung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert
						Jahre	Jahre	Akkumulationsfaktor	Dauer	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Jahre	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.	
						n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i			
	Investitionskosten (IK)				r	n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)			n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)			
	Bautechnik	4.027.320 €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000			4.027.320,00 €
	Maschinentechnik	1.340.400 €	2014	15	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000			1.340.400,00 €
	EMSR Technik	530.873 €	2014	10	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000			530.873,41 €
	Baunebenkosten	- €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000			- €
	5.898.593 €															5.898.593,41 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen															5.898.593,41 €	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus Investitionen	300.941,87 €

	Re- Investitionskosten (IKR)	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert
						Jahre	Jahre	Akkumulationsfaktor	Dauer	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Jahre	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.	
						n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i			
	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n_r	n_i <td>AFAKE ($i;n_i$)</td> <td></td> <td></td> <td>n_r</td> <td>n_i</td> <td>DFAKE ($i;n_i$)</td> <td></td> <td></td> <td></td>	AFAKE ($i;n_i$)			n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)			
	EMSR Technik	530.873 €	2024	10	0,0%	11	0	1,0000			11	10	0,7441			395.019,67 €
	Maschinentechnik	1.340.400 €	2029	15	0,0%	16	0	1,0000			16	15	0,6419			860.351,75 €
	EMSR Technik	530.873 €	2034	10	0,0%	21	0	1,0000			21	20	0,5537			293.931,73 €
	2.402.147 €															1.549.303,16 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen															1.549.303,16 €	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus Re- Investitionen	79.044,30 €

	Laufende Kosten (LK)	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert	
						Jahre	Jahre	Akkumulationsfaktor	Dauer	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Jahre	Diskontinuierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Diskontinuierungsfaktor (Kostenreihe) progr.		
						n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i				
	Laufende Kosten (LK)				r	n_r	n_i <td>AFAKE ($i;n_i$)</td> <td>n_r</td> <td>n_i</td> <td>AFAKR ($i;n_i$)</td> <td>n_r</td> <td>n_i</td> <td>DFAKR ($i;n_i$)</td> <td>n_r</td> <td>n_i</td> <td>DFAKRP ($r;n_i$)</td>	AFAKE ($i;n_i$)	n_r	n_i	AFAKR ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKR ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKRP ($r;n_i$)
	Wartung & Instandhaltung	104.507 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	30	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	2.048.376,82 €
	Verbrauchsstoffe	225.837 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	30	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	4.426.500,42 €
	Energiebedarf	50.090 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	30	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	981.788,03 €
	Schlammensorgung	303.620 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	30	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	5.951.081,92 €
	Personalkosten	15.000 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	30	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	294.006,62 €
	699.053 €																13.701.753,82 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen															13.701.753,82 €		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510															Jahreskosten aus laufenden Kosten	699.053,33 €	

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:
 - Investitionen 5.898.593,41 €
 - Re- Investitionen 1.549.303,16 €
 - laufenden Kosten 13.701.753,82 €
21.149.650,38 €

Summe der Jahreskosten aus:
 - Investitionen 300.941,9 €
 - Re- Investitionen 79.044,3 €
 - laufenden Kosten 699.053,3 €
1.079.039,5 €

Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Projekt: GWK Paderborn
Variante: 2a: GAK Filtration

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2013
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2014
Untersuchungszeitraum bis	2044
Betrachtungszeitraum	30

Realzins $i = 3,000\%$ 0,0300 p.a.
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten $r_{ik} = 0,000\%$ 0,0000 p.a.
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten $r_{rk} = 0,000\%$ 0,0000 p.a.

KGR (DIN 276)	Aufzinstung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert		
						Jahre	Preissteigerung	Jahre	Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Preissteigerung		Jahre	Diskontinuierung
	Investitionskosten (IK)				r	n_i	n_i	AFKAK				n_i	n_i	DFKAK				
	Bautechnik	1.212.960,00 €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000				1	0	1,0000				1.212.960,00 €
	Maschinentechnik	45.000,00 €	2014	15	0,0%	1	0	1,0000				1	0	1,0000				45.000,00 €
	EMSR Technik	80.000,00 €	2014	10	0,0%	1	0	1,0000				1	0	1,0000				80.000,00 €
	Baunebenkosten	- €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000				1	0	1,0000				- €
		1.337.960,00 €																1.337.960,00 €
																		Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen
																		1.337.960,00 €
																		Jahreskosten aus Investitionen
																		68.261,73 €
																		Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAK (3;30) = 0,0510

KGR (DIN 276)	Aufzinstung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert		
						Jahre	Preissteigerung	Jahre	Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Preissteigerung		Jahre	Diskontinuierung
	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n_r	n_r	AFKAK				n_r	n_r	DFKAK				
	EMSR Technik	80.000,00 €	2024	10	0,0%	11	0	1,0000				11	10	0,7441				59.527,51 €
	Maschinentechnik	45.000,00 €	2029	15	0,0%	16	0	1,0000				16	15	0,6419				28.883,79 €
	EMSR Technik	80.000,00 €	2034	10	0,0%	21	0	1,0000				21	20	0,5537				44.294,06 €
		205.000,00 €																132.705,36 €
																		Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen
																		132.705,36 €
																		Jahreskosten aus Re- Investitionen
																		6.770,53 €
																		Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAK (3;30) = 0,0510

KGR (DIN 276)	Aufzinstung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert		
						Jahre	Preissteigerung	Jahre	Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer	Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihe) progr.	Jahre	Preissteigerung		Jahre	Diskontinuierung
	Laufende Kosten (LK)				r	n_r	n_r	AFKAK	p_a	AFKAK	n_r	n_r	DFKAK	p_a	DFKAK	$r_i \cdot p_a$		
	Wartung & Instandhaltung	15.529,60 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000			304.387,01 €
	Verbrauchsstoffe	1.364.688,00 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000			26.748.487,10 €
	Energiebedarf	4.380,00 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000			85.849,93 €
	Schlammabfuhr	90.979,20 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000			1.783.232,47 €
	Personalkosten	30.000,00 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000			588.013,24 €
		1.505.576,80 €																29.509.969,77 €
																		Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen
																		29.509.969,77 €
																		Jahreskosten aus laufenden Kosten
																		1.505.576,80 €
																		Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAK (3;30) = 0,0510

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:
 - Investitionen **1.337.960 €**
 - Re- Investitionen **132.705 €**
 - laufenden Kosten **29.509.970 €**
30.980.635 €

Summe der Jahreskosten aus:
 - Investitionen **68.262 €**
 - Re- Investitionen **6.771 €**
 - laufenden Kosten **1.505.577 €**
1.580.609 €

Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Projekt: GWK Paderborn
 Variante: 2b: GAK Filtration

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2012
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2014
Untersuchungszeitraum bis	2044
Betrachtungszeitraum	30 Jahre

Realzins $i = 3,0000\%$ 0,0300 p.a.
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten $r_{ik} = 0,0000\%$ 0,0000 p.a.
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten $r_{rk} = 0,0000\%$ 0,0000 p.a.

KGR (DIN 276)	Aufzählung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase					Diskontinuierungsphase					Projektkosten-Barwert		
						Jahre	Preisst.	Jahre	Akkumulation	AFAKE (i;n)	Dauer	Kostenreihe	Akkumulationsfaktor (Kostenreihen) progr.	Jahre	Preisst.		Diskontin.	DFAKE (i;n)
	Investitionskosten (IK)				r	n_i	n_i	AFAKE (i;n)			n_r	n_i	DFAKE (i;n)					
	Bautechnik	4.532.960,00 €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000				4.532.960,00 €	
	Maschinenteknik	2.945.000,00 €	2014	15	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000				2.945.000,00 €	
	EMSR Technik	1.310.000,00 €	2014	10	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000				1.310.000,00 €	
	Baunebenkosten	- €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000			1	0	1,0000				- €	
		8.787.960,00 €																8.787.960,00 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen																		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510																		
Jahreskosten aus Investitionen 448.355,21 €																		

	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n_r	n_i	AFAKE (i;n/r;n)			n_r	n_i	DFAKE (i;n)					
	EMSR Technik	1.310.000,00 €	2024	10	0,0%	11	0	1,0000			11	10	0,7441				974.763,03 €	
	Maschinenteknik	2.945.000,00 €	2029	15	0,0%	16	0	1,0000			16	15	0,6419				1.890.283,44 €	
	EMSR Technik	1.310.000,00 €	2034	10	0,0%	21	0	1,0000			21	20	0,5537				725.315,24 €	
		5.565.000,00 €																3.590.361,70 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen																		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510																		
Jahreskosten aus Re- Investitionen 183.177,59 €																		

	Laufende Kosten (LK)		erst- malig	letz- malig	r	n_r	n_i	AFAKE (i;n/r;n)	n_r	AFAKR (i;n)	n_r	n_i	DFAKR (i;n)	n_r	DFAKR (i;n)	DFAKRP (r;i;n)		
	Wartung & Instandhaltung	189.329,60 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000		3.710.943,72 €	
	Verbrauchsstoffe	454.896,00 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000		8.916.162,37 €	
	Energiebedarf	82.491,39 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000		1.616.867,59 €	
	Schlammentsorgung	30.326,40 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000		594.410,82 €	
	Personalkosten	30.000,00 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000		588.013,24 €	
		787.043,39 €																15.426.397,74 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen																		
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) = 0,0510																		
Jahreskosten aus laufenden Kosten 787.043,39 €																		

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:
 - Investitionen 8.787.960 €
 - Re- Investitionen 3.590.362 €
 - laufenden Kosten 15.426.398 €
 27.804.719 €

Summe der Jahreskosten aus:
 - Investitionen 448.355 €
 - Re- Investitionen 183.178 €
 - laufenden Kosten 787.043 €
 1.418.576 €

Projekt 2702
Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

Dynamische Kostenvergleichsrechnung nach LAWA

Projekt: GWK Paderborn
 Variante: 3: Ozonierung

Basisjahr/ aktueller Zeitpunkt:	2013
Bezugszeitpunkt (Inbetriebnahme/ Nutzungsbeginn)	2014
Untersuchungszeitraum bis	2044
Betrachtungszeitraum	30

Realzins $i = 3,0000\%$ 0,0300 p.a.
 Preissteigerungsrate für Investitionskosten $r_{IK} = 0,0000\%$ 0,0000 p.a.
 Preissteigerungsrate für Re- Investitionskosten $r_{IKR} = 0,0000\%$ 0,0000 p.a.

KGR (DIN 276)	Aufüstung der einzelnen PROJEKTKOSTEN	Kosten	Rechnungsjahr	Nutzungsdauer nach LAWA	Preissteigerungsrate	Akkumulationsphase				Diskontinuierungsphase				Projektkosten-Barwert
						Jahre Preissteigerung	Jahre Akkumulation	Akkumulationsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	Jahre Preissteigerung	Jahre Diskontinuilierung	Diskontinuilierungsfaktor (Einzelkosten)	Dauer Kostenreihe	
	Investitionskosten (IK)				r	n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)		n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)		
	Bautechnik	1.914.300 €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000		1	0	1,0000		1.914.300,00 €
	Maschinentechnik	772.000 €	2014	15	0,0%	1	0	1,0000		1	0	1,0000		772.000,00 €
	EMSR Technik	589.676 €	2014	10	0,0%	1	0	1,0000		1	0	1,0000		589.675,61 €
	Baunebenkosten	- €	2014	30	0,0%	1	0	1,0000		1	0	1,0000		- €
	3.275.976 €													3.275.975,61 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Investitionen													3.275.975,61 €	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =													0,0510	
Jahreskosten aus Investitionen													167.137,85 €	

	Re- Investitionskosten (IKR)				r	n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i$)		n_r	n_i	DFAKE ($i;n_i$)		
	EMSR Technik	589.676 €	2024	10	0,0%	11	0	1,0000		11	10	0,7441		438.774,03 €
	Maschinentechnik	772.000 €	2029	15	0,0%	16	0	1,0000		16	15	0,6419		495.517,42 €
	EMSR Technik	589.676 €	2034	10	0,0%	21	0	1,0000		21	20	0,5537		326.489,09 €
	1.951.351 €													1.260.780,54 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re- Investitionen													1.260.780,54 €	
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =													0,0510	
Jahreskosten aus Re- Investitionen													64.324,09 €	

	Laufende Kosten (LK)		erstmalig	letztmalig	r	n_r	n_i	AFAKE ($i;n_i/r;n_r$)	n_R	AFAKR ($i;n_i$)	n_r	n_i	DFAKR ($i;n_i$)	n_R	DFAKRP ($i;n_i$)	
	Wartung & Instandhaltung	61.817 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	1.211.630,92 €
	Verbrauchsstoffe (Sauerstoff)	204.144 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	4.001.319,56 €
	Energiebedarf	296.880 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	5.818.983,33 €
	Schlammensorgung	- €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	- €
	Personalkosten	30.000 €	2014	2044	0,0%	1	0	1,0000	1	1,0000	1	30	19,6004	30	1,0000	588.013,24 €
	592.841 €															11.619.947,05 €
Summe der Projektkosten- Barwerte aus Re-Investitionen																11.619.947,05 €
Kapitalwiedergewinnungsfaktor KFAKR (3;30) =																0,0510
Jahreskosten aus laufenden Kosten																592.841,09 €

Summe der Projektkosten- Barwerte aus:
 - Investitionen **3.275.975,61 €**
 - Re- Investitionen **1.260.780,54 €**
 - laufenden Kosten **11.619.947,05 €**
16.156.703,21 €

Summe der Jahreskosten aus:
 - Investitionen **167.138 €**
 - Re- Investitionen **64.324 €**
 - laufenden Kosten **592.841 €**
824.303,03 €

Anhang B : KLÄRTECHNISCHE BERECHNUNGEN

Projekt 2702
Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

PAK mit Kontakt- und Absetzbecken

Bemessungsparameter

Einwohnerwerte		235.000	EW
Jahreswassermenge		14.581.740	m ³ /a
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	51.574	m ³ /d
Trockenwetter, Spitzenabfluss	$Q_{T,h,max} =$	3.000	m ³ /h
Mischwasserabfluss	$Q_m =$	8.256	m ³ /h
Anteil Q_{max} zur PAK Anlage		40%	%
Teilstrom Q_{max} zur PAK Anlage	$Q_{PAK,max} =$	3.300	m ³ /h
Anteil Jahreswassermenge		90%	%
Teilstrom Jahreswassermenge		1.665	m ³ /h

Teilströme zusätzlich			
Anteil Filterspülung an Zulauf		6%	%
Spülwassermenge	$Q_{spül} =$	198	m ³ /h
Maximaler Zulauf PAK-anlage	$Q_{max} =$	3.498	m ³ /h
	gerundet	3.500	m ³ /h

Kontaktbecken

Aufenthaltszeit	$t_{VK} =$	30	min
verf. Volumen des Beckens	$V_{VK} =$	1.750	m ³
gewählte Tiefe	$h =$	4	m
erf. Oberfläche	$A_{KB} =$	438	m ²
Anzahl Becken	$n_{KB} =$	2	-
ewählte Länge	$L_{KB} =$	15	m
gewählte Breite:	$b_{KB} =$	15	m
Anzahl Rührwerke	$n =$	6	-
Energieeintrag spezifisch	$E_{spez} =$	10	W/m ³
Energieeintrag gesamt	$E_{ges} =$	17,5	kW/h
Energiebedarf pro Rührwerk	$P_{RW} =$	2,9	kW

Absetzbecken

erf. Aufenthaltszeit	$t_{AB} =$	2	h
erf. Volumen	$V_{erf} =$	7.000	m ³
Oberflächenbeschickung	$qA =$	2	m ³ /h
erf. Oberfläche	$A_{erf} =$	1.750	m ²

Beckentyp		rund	
gewählte Anzahl	$n =$	2	-
gewählte Tiefe	$h =$	4	m
gewählter Durchmesser Mittelbauwerk:	$D_M =$	7,2	m
gewählter Gesamtdurchmesser:	$D_{AB} =$	35,0	m
Oberfläche gesamt:	$A_{ges, vorh} =$	1.843	m ²
Volumen gesamt:	$V_{ges, vorh} =$	7.371	m ³
Oberfläche je Absetzbecken:	$A_{becken} =$	921	m ²

Konzentration AFS Ablauf	$C_{AFS} =$	5	mg/l
--------------------------	-------------	---	------

Rücklaufkohle

Rücklaufverhältnis	$RV_{PAK} =$	70%	%
Rücklaufmenge		2.450	m ³ /h

Projekt 2702
Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

Dosierung PAK

Dosierrate	$DOS_{min, PAK} =$		5	mg/l
	$DOS_{max, PAK} =$		20	mg/l
	$DOS_{mittel, PAK} =$		10	mg/l
Dichte Lösung	roh		0,5%	Gew. %
maximale Dosiermenge	$B_{PAK, max} =$	$Q_{max} * Dos_{max}$	70	kg/h
			1.680	kg/d
Suspension	$Q_{PAK, max} =$		336	m ³ /d
			14,0	m ³ /h
mittlere Dosiermenge	$B_{PAK, mittel} =$	$Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	399	kg/d
Suspension	$Q_{PAK, mittel} =$		80	m ³ /d
			3,3	m ³ /h
Schüttdichte	rSch=		425	kg/m ³
mittleres Volumen	$V_{PAK} =$		1	m ³ /d
Anzahl Silo	$n_{silo} =$		1	-
Volumen Silo	$V_{silo} =$		125	m ³
mittlere Vorhaltezeit	$t_{PAK} =$		133	d

Dosierung Flockungshilfsmittel

Dosierrate	$DOS_{min, FHM} =$		0,2	mg/l
	$DOS_{max, FHM} =$		0,3	mg/l
	$DOS_{mittel, FHM} =$		0,2	mg/l
Dichte Lösung	roh		0,5%	Gew. %
maximale Dosiermenge	$B_{FHM, max} =$	$Q_{max} * Dos_{max}$	1,1	kg/h
			25	kg/d
mittlere Dosiermenge	$B_{FHM, mittel} =$	$Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	0,3	kg/h
			8	kg/d

Dosierung Fällmittel

Dosierrate	$DOS_{min, Fe} =$		2,0	mg _{Fe} /l
	$DOS_{max, Fe} =$		8,0	mg _{Fe} /l
	$DOS_{mittel, Fe} =$		4,0	mg _{Fe} /l
Dichte Lösung	roh		0,5%	Gew. %
maximale Dosiermenge	$B_{Fe, max} =$	$Q_{max} * Dos_{max}$	28,0	kg _{Fe} /h
			672	kg _{Fe} /d
mittlere Dosiermenge	$B_{Fe, mittel} =$	$Q_{mittel} * Dos_{mittel}$	6,7	kg _{Fe} /h
			160	kg _{Fe} /d
			58.327	kg _{Fe} /a
mittlere Fällmittelmenge			123	kg _{Fe} /t _{FM}
			474	t _{FM} /a

Schlammanfall

spez. Schlammanfall aus Fällung			2,5	g/gFe
Schlammanfall aus Fällung	$ÜS_{Fäll, max} =$		1.680	kg/d
	$ÜS_{Fäll, mittel} =$		399	kg/d
maximale Schlammmenge	$B_{PAK, max} =$		1.680	kg/d
	$B_{Fäll, max} =$		1.680	kg/d
	$B_{AFS, max} =$		420	kg/d
	$B_{Ges, max} =$		3.780	kg/d
ÜS-Konzentration	TS=		35	kg/m ³
Übeschussschlammmenge, max	$ÜS_{max} =$		108	m ³ /d
mittlere Schlammmenge	$B_{PAK, mittel} =$		399	kg/d
	$B_{Fäll, mittel} =$		399	kg/d
	$B_{AFS, mittel} =$		420	kg/d
	$B_{Ges, mittel} =$		1.219	kg/d
ÜS-Konzentration	TS=		43	kg/m ³
Übeschussschlammmenge, mittel	$ÜS_{mittel} =$		28	m ³ /d

Projekt 2702

Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

GAK Filtration

Bemessungsparameter

Einwohnerwerte		235.000	EW
Jahreswassermenge		14.581.740	m ³ /a
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	45.544	m ³ /d
Trockenwetter, Spitzenabfluss	$Q_{T,h,max} =$	3.000	m ³ /h
Mischwasserabfluss	$Q_m =$	8.256	m ³ /h

Anteil Q_{max} zur PAK Anlage		40%	%
Teilstrom Q_{max} zur PAK Anlage	$Q_{PAK,max} =$	3.300	m ³ /h

Anteil Jahreswassermenge		80%	%
Teilstrom Jahreswassermenge		1.665	m ³ /h

Teilströme zusätzlich		6%	%
Anteil Filterspülung an Zulauf			
Spülwassermenge	$Q_{spül} =$	198	m ³ /h

Maximaler Zulauf GAK-Anlage	$Q_{max} =$	3.498	m ³ /h
	gerundet	3.500	m ³ /h

Bemessung Filter Spurenstoffe

Filtergeschwindigkeit	$v_{Qmax} =$	15	m/h
	$v_{Qt} =$	7,5	m/h

erf. Filterfläche	$A_{erf, Qm}$	233	m ²
	$A_{erf, Qt}$	400	m ²

Nachweis Spülgeschwindigkeit	$v_{spül}$	80	m/h
erforderliche Filterflächen	$Q_{spül}$	3.000	m ³ /Spülung
	A_{erf}	37,5	m ²

Filterfläche pro Filter, gewählt	Länge, gewählt	9,0	m
	Breite, gewählt	4,5	m
	A_{filter}	40,5	m ²

Höhe Filterbett	$h_{filter} =$	1,95	m
Höhe Filterüberstand	$h_{überstand} =$	2,3	m
Filterbettvolumen, pro Filter	V_{filter}	79	m ³
Höhe Filterkammer	$h_{filterkammer} =$	4,80	m

erforderliche Filteranzahl	n_{filter}	9,9	
----------------------------	--------------	-----	--

Anzahl Filter, gewählt	n	16	Stck.
davon Reserve		-	Stck.
davon Spülung		1	Stck.

Gesamtzahl Filterzellen		16	Stck.
Gesamtzahl Filterfläche		648	m²

Nachweise Filterfläche

Nachweis Filtergeschwindigkeit	n	15,0	
	v_m	13,6	m/h
	v_{Qmax}	5,8	m/h
	v_{Qt}	4,9	m/h

Projekt 2702

Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

Nachweis Kontaktzeit

Gesamtzahl Adsorbervolumen	$V_{ges} =$	1.264	m ³
Gesamtzahl Adsorbervolumenv (n-1)	$V_{ges} =$	1.185	m ³
Kontaktzeit	$t_{Kontakt} =$	20	min
Nachweis Kontaktzeit bei Qmax (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	20,31	min
Nachweis Kontaktzeit bei Qmittel (n - 1):	$t_{Kontakt} =$	37,46	min
Filtergeschwindigkeit, mittel	v_{mittel}	2,93	m/h

Ermittlung Filterlaufzeit/ Standzeit

1.) Berechnung über Bettvolumina

Bettvolumina gewählt:	BV=	4.200	m ³ Wasser/m
Standzeit bei Qzu, mittel	tF =	117	d
		3,9	Monate

2.) Berechnung über Zulaufkonzentration und maximale Beladung

max. Beladung:	$q_{max} =$	275	gCSB/kgGAK
Dichte:	$\rho =$	300	kg/m ³
mittlere Zulaufkonzentration	$C_{CSB: co} =$	15,0	mg/l
mittlerer Wirkungsgrad:	$\eta =$	0,60	
mittlere Ablaufkonzentration	$C_{CSB: cab} =$	6,0	mg/l
mittlere CSB-Fracht eliminiert	$B_{CSB: co} =$	410	kg/d
mittlere Verbrauch GAK		1.491	kg/d
Gesamtmasse GAK		379.080	kg
		254,3	d
		8,4	Monate

Mittlere Standzeit (über 1.), 2.), 3.):		6,1	Monate
Mittlere Standzeit gewählt		6,0	Monate
Mittlerer Jahresverbrauch GAK:		2.527	m ³ /a
		758	t/a

Projekt 2702

Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

Ozonierung mit Kontaktbecken

Bemessungsparameter

Einwohnerwerte		235.000	EW
Jahreswassermenge		14.581.740	m ³ /a
Trockenwetter, mittlerer Abfluss	$Q_{T,aM} =$	45.544	m ³ /d
Trockenwetter, Spitzenabfluss	$Q_{T,h,max} =$	3.000	m ³ /h
Mischwasserabfluss	$Q_m =$	8.256	m ³ /h

Anteil Q_{max} zur Ozonierung		40%	%
Teilstrom Q_{max} zur Ozonierung	$Q_{PAK,max} =$	3.300	m ³ /h

Anteil Jahreswassermenge		90%	%
Teilstrom Q_{mittel} Jahreswassermenge		1.665	m ³ /h

Teilströme zusätzlich

Anteil Filterspülung an Zulauf		6%	%
Spülwassermenge	$Q_{spül} =$	198	m ³ /h

Maximaler Zulauf PAK-anlage	$Q_{max} =$	3.498	m ³ /h
	gerundet	3.500	m ³ /h

Ozonreaktor

Aufenthaltszeit Ozonreaktor	$t_{OR} =$	20	min
Aufenthaltszeit Ausgasung	$t_{Gas} =$	10	min

erf. Volumen Ozonreaktor	$V_{OR} =$	1.167	m ³
gewählte Tiefe	$h =$	6	m
erf. Oberfläche, ges	$A_{OR} =$	194	m ²
Anzahl Becken	$n_{OR} =$	2	-
gewählte Länge, je Becken	$L_{OR} =$	14	m
gewählte Breite, je Becken	$b_{OR} =$	8	m
gewählte Oberfläche, ges	$A_{OR,gew} =$	224	m ²
gewähltes Volumen, ges	$V_{OR,gew} =$	1.344	m ³

erf. Volumen Bereich Ausgasung	$V_{Gas} =$	583	m ³
gewählte Tiefe	$h =$	6	m
erf. Oberfläche, ges	$A_{Gas} =$	97	m ²
Anzahl Becken	$n_{Gas} =$	2	-
gewählte Länge, je Becken	$L_{Gas} =$	4	m
gewählte Breite, je Becken	$b_{Gas} =$	8	m
gewählte Oberfläche, ges	$A_{Gas} =$	64	m ²
gewähltes Volumen, ges	$V_{Gas,gew} =$	384	m ³
Gesamtvolumen	$V_{ges} =$	1.728	m ³

Ozondosierung

spez. Dosierrate		1,0	gO ₃ /gDOC
mittlere Konzentration DOC	$c_0 =$	6,3	mg/l
maximale Dosiermenge		20,8	kg/h
mittlere Dosiermenge		10,5	kg/h
	entspricht	6,3	mgO ₃ /l
gewählte Dosierrate		10	mgO ₃ /l
maximale Dosiermenge	$Q_{O3,max}$	33	kgO ₃ /h
		792	kgO ₃ /d
mittlere Dosiermenge	$Q_{O3,mittel}$	17	kgO ₃ /h
		399,50	kgO ₃ /d
		145.817	kgO ₃ /a

Projekt 2702

Studie Spurenstoffelimination GWK Paderborn

Ozonerzeugung

Anzahl Generatoren	n=	2	-
Leistung Generator		17	kgO ₃ /h
spez Sauerstoffbedarf		10	kgO ₂ /kgO ₃
maximale Menge O ₂	Q _{O3,max}	330	kgO ₂ /h
		7.920	kgO ₂ /d
mittlere Menge O ₂	Q _{O3,mittel}	166	kgO ₂ /h
		3.995	kgO ₂ /d
		1.458.174	kgO ₂ /a

Anhang C :
PRÜFBERICHTE ANALYTIK

WESSLING GmbH
Oststraße 6 · 48341 Altenberge
www.wessling.de

WESSLING GmbH, Oststr. 6, 48341 Altenberge

DAHLEM
Beratende Ingenieure GmbH & Co
Wasserwirtschaft KG
Kläranlagenbau, Kanalisation, Anlagenbau
Herr Alexander Voigt
Bonsiepen 7
45136 Essen

Geschäftsfeld: Wasser
Ansprechpartner: Kai Dexheimer
Durchwahl: (02505) 89-153
Fax: (02505) 89-119
E-Mail: Kai.Dexheimer@wessling.de

Prüfbericht

Analytik von Organischen Spurenstoffen

Prüfbericht Nr.	CAL12-102520-1	Auftrag Nr.	CAL-13063-12	Datum	03.12.2012
Probe Nr.	12-145244-01				
Eingangsdatum	09.11.2012				
Bezeichnung	3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr				
Probenart	Abwasser				
Probenahme durch	Auftraggeber				
Probenmenge	6 Liter				
Probengefäß	2000 ml PE				
Anzahl Gefäße	3				
Untersuchungsbeginn	09.11.2012				
Untersuchungsende	03.12.2012				

Prüfbericht Nr. **CAL12-102520-1** Auftrag Nr. **CAL-13063-12** Datum **03.12.2012**
Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorpentansäure (PFPA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluornonansäure (PFNoA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluordecansäure (PFDA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorundecansäure (PFUnA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluordodecansäure (PFDoA)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorbutan-1-sulfonsäure (PFBS)	µg/l	WE	<0,1
Perfluorhexan-1-sulfonsäure (PFHxS)	µg/l	WE	<0,1
Perfluoroctan-1-sulfonsäure (PFOS)	µg/l	WE	<0,1
Perfluordecansulfonsäure (PFDS)	µg/l	WE	<0,1
Summe Perfluorcarbon- und Perfluorsulfonsäure	µg/l	WE	-/-
Summe von PFOA und PFOS	µg/l	WE	-/-

Pflanzenschutzmittel-Rückstände

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
Diuron	µg/l	WE	<0,05
Isoproturon	µg/l	WE	<0,05
Terbutryn	µg/l	WE	<0,05

Phthalate

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	µg/l	WE	41

Prüfbericht Nr. **CAL12-102520-1** Auftrag Nr. **CAL-13063-12** Datum **03.12.2012**
Nonylphenole

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
4-Nonylphenol Isomere	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-n-Nonylphenol	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-monoethoxylat (NP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-Nonylphenol-diethoxylat (NP2OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-monoethoxylat (OP1OE)	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Octylphenol-diethoxylat (OP2OE)	µg/l	WE	<0,1
Bisphenol A	µg/l	WE	<0,1
4-tert.-Butylphenol	µg/l	WE	<1
4-n-Octylphenol	µg/l	WE	<0,1

Arzneimittel-Rückstände

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
Carbamazepin	µg/l	WE	1
Diclofenac	µg/l	WE	1,2
Sulfamethoxazol	µg/l	WE	0,22
Metoprolol	µg/l	WE	1,5

Röntgenkontrastmittel

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
Iopamidol	µg/l	WE	7,7
Iomeprol	µg/l	WE	5,1
Amidotrizoesäure	µg/l	WE	4,9

Sonstige Untersuchungen

Probe Nr.			12-145244-01
Bezeichnung			3862/12 Ablauf Nachklärung GWK Paderborn Sande 04.-06.11.2012 0-24 Uhr
17 beta-Estradiol	µg/l	WE	<0,01
17 alpha-Ethinylestradiol	µg/l	WE	<0,01

Prüfbericht Nr. **CAL12-102520-1** Auftrag Nr. **CAL-13063-12** Datum **03.12.2012**

12-145244-01

Kommentare der Ergebnisse:

Diclofenac: Weitere Arzneistoffe vorhanden 0,3 bis 0,7 µg/L.

4-tert.-Butylphenol: Aufgrund von Matrixstörungen wurde die Bestimmungsgrenze angehoben.

Iomeprol: Weitere RKM:

Iopromid 1,3 µg/l

Iohexol 2,1 µg/l

Ioxithalaminsäure 2,4 µg/l

Abkürzungen und Methoden

Arzneimittelrückstände in Wasser

WES 532

Nonylphenole in Wasser/ Eluat

ISO 18857-2^A

Röntgenkontrastmittel in Wasser/Eluat mittels LC-MS/MS

WES 438

Pestizide in Wasser/Eluat (pH 7)

EN ISO 11369^A

Phthalate in Wasser/Eluat

EPA 606

Perfluorierte Carbon- und Sulfonsäuren in Wasser

DIN 38407-42^A

Estrogene (LC-MS/MS) in Wasser/Eluat

WEX 502

WE

Wasser/Eluat

ausführender Standort

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Bochum

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge

Umweltanalytik Altenberge

*

* Durchführung in Kooperationslabor

Dieses Dokument wurde elektronisch erstellt und ist auch ohne Unterschrift gültig.

Kai Dexheimer

Dipl.-Landschaftsökologe

Leiter Geschäftsfeld Wasser

Stadt Paderborn
 Stadtentwässerungsbetrieb
 Pontanusstraße 55
 33102 Paderborn

Ansprechpartner: Karsten Goldbach
Telefon: 05176-989751
Telefax: 05176989744
E-Mail: karsten.goldbach@ucl-labor.de

Prüfbericht - Nr.: 12-49868/1

Prüfgegenstand: Abwasser
Auftraggeber / KD-Nr.: Stadt Paderborn, Pontanusstraße 55, 33102 Paderborn / 53161
Projektbezeichnung: Ablauf NK GWK Sande
Probeneingang am / durch: 17.12.2012 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 17.12.2012 - 09.01.2013

Parameter	Probenbezeichnung		Bestimmungsgrenze	Methode
	Probe-Nr.	Einheit		
	4327/12 72 h Durchschnitt Mischprobe			
		12-49868-001		
Analyse der Originalprobe				
Di-(2-Et.hexyl)-phthalat	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 18856°;KI

n.n. = kleiner Bestimmungsgrenze n.b. = nicht bestimmbar ° = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe + = durchgeführt
 Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen

Prüfgegenstand: Abwasser
Auftraggeber / KD-Nr.: Stadt Paderborn, Pontanusstraße 55, 33102 Paderborn / 53161
Projektbezeichnung: Ablauf NK GWK Sande
Probeneingang am / durch: 17.12.2012 / Paketdienst
Prüfzeitraum: 17.12.2012 - 09.01.2013

Parameter	Probenbezeichnung		Bestimmungsgrenze	Methode
	Probe-Nr.	Einheit		
	4328/12 72 h Durchschnitt Mischprobe			
		12-49868-002		
Analyse der Originalprobe				
Di-(2-Et.hexyl)-phthalat	µg/l	< 0,1	0,1	DIN EN ISO 18856°;KI

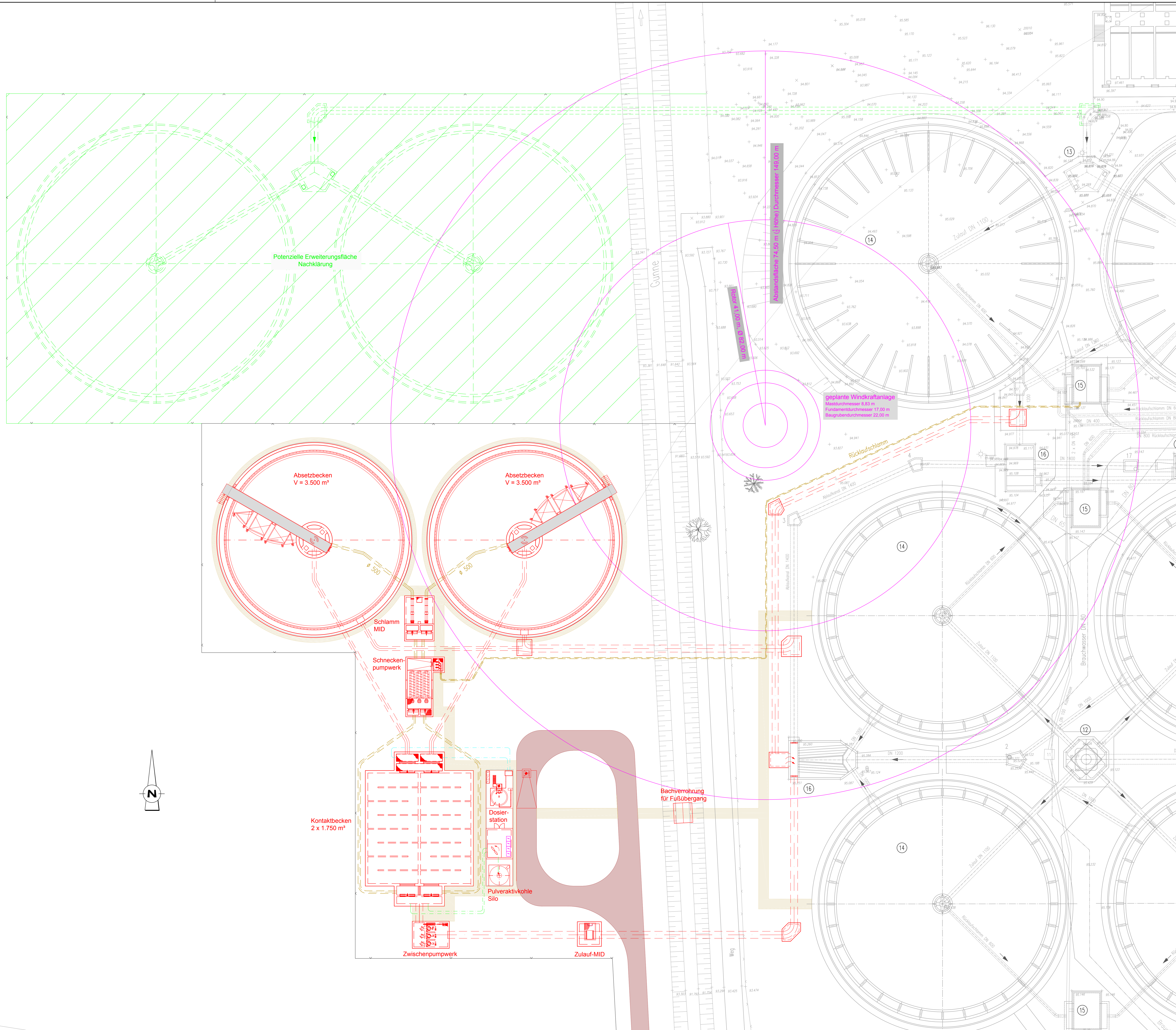
n.n. = kleiner Bestimmungsgrenze n.b. = nicht bestimmbar ° = nicht akkreditiert FV = Fremdvergabe UA=Unterauftragvergabe + = durchgeführt
 Standortkennung (Der Norm nachgestellte Buchstabenkombination): H=Hannover, KI=Kiel, L=Lünen



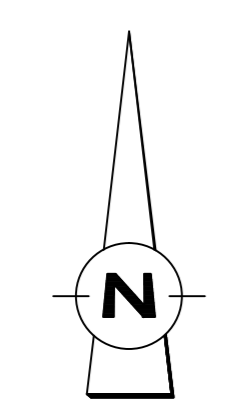
Hannover, den 09.01.2013

Dr. Dipl.-Agrar-Ing. Katrin Esser-Mönning (Kundenbetreuer)

**Anhang D :
ZEICHNUNGEN**

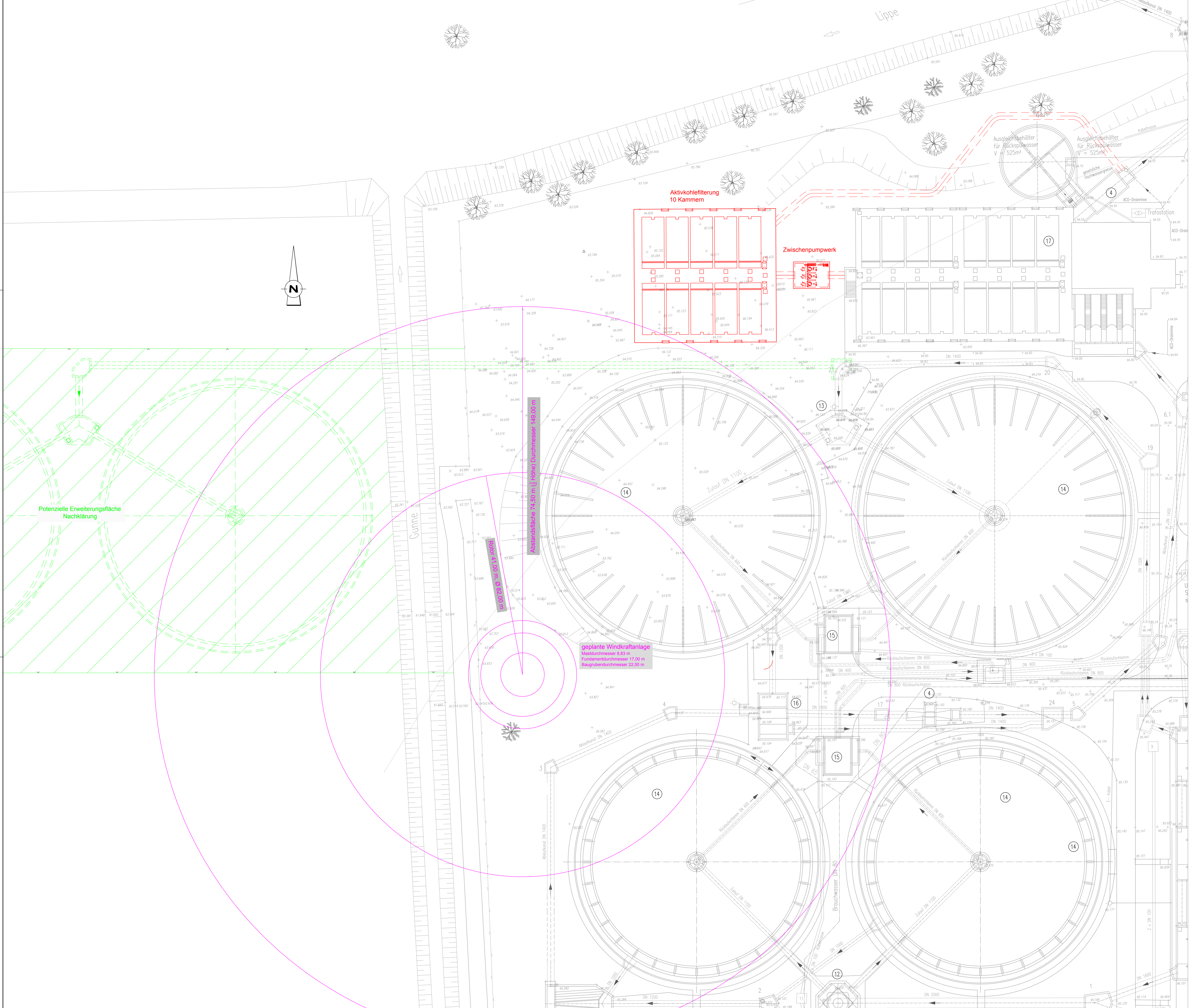


- Legende:**
- ① Zulaufschneckenpumpwerk
 - ② Rechengebäude – Füllung
 - ③ Sandfang
 - ④ MID – Mengemessung
 - ⑦ Vorklärbecken, Zwischenklärbecken
 - ⑧ Schlammumpwerk
 - ⑨ Verteilerbauwerk I
 - ⑩ MID – Verteilerbauwerk
 - ⑪ alte Schlammbelebungsbecken
 - ⑭ Nachklärbecken
 - ⑰ Flockungfiltration
 - ⑳ Vorlagebehälter für Überschussschlamm
 - ㉑ Faulbehälter
 - ㉒ Filtrationsgleichbehälter
 - ㉓ Maschinenhaus mit Werkstatt



Datum: Entwurf: September Geprüft: 07.07.2013 Gezeichnet: 07.07.2013 Gezeichnet: 07.07.2013 Gezeichnet: 07.07.2013		DAHLEM <small>Technische Dienstleistungen</small> Aufgestellt: Essen, im Juli 2013	
---	--	---	--


Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese unverändert zu verwenden. Änderungen oder Umbauten sind ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers nicht zulässig. Die hier gezeigten Abstände sind nur für die Orientierung und sind nicht verbindlich. Alle Rechte vorbehalten.			
Projekt:	Erarbeitung eines Konzeptes zur Spurenstoffelimination in der vorhandenen Flockungfiltration Gruppenklärwerk Paderborn-Sande		
Inhalt:	Lageplan Spurenstoffelimination Variante 1, Pulveraktivkohledosierung		
Revizionsplan:	Zeichnungs-Nr.:	Blatt:	Masstab:
Studie	2702 / 01 E 01		1 : 250

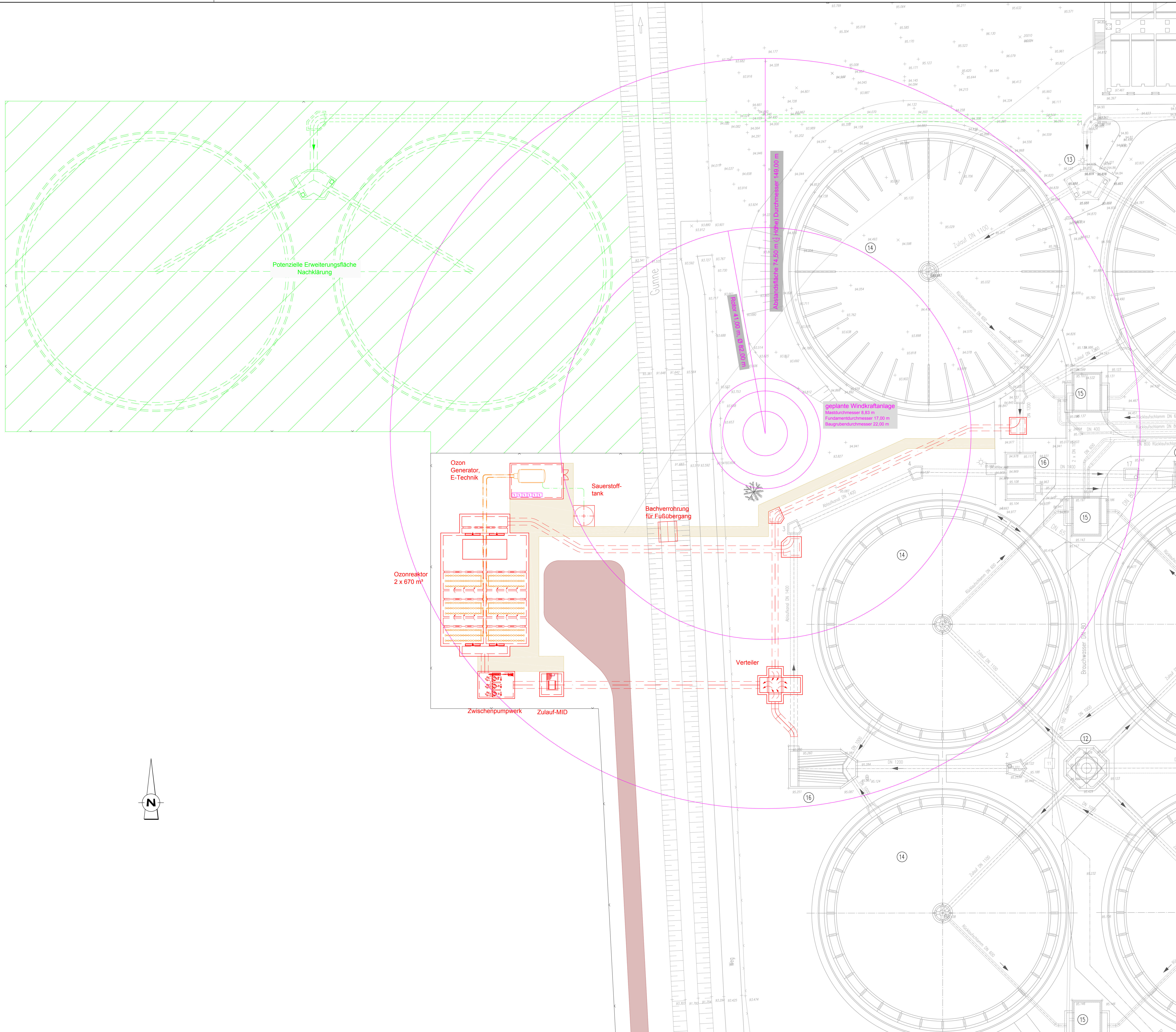


Legende:

- ① Zulaufschneckenpumpwerk
- ② Rechengebäude – Füllung
- ③ Sandfang
- ④ MID – Mengenummessung
- ⑦ Vorklärbecken, Zwischenklärbecken
- ⑧ Schlammabpumpwerk
- ⑨ Verteilerbauwerk I
- ⑩ MID – Verteilerbauwerk
- ⑪ alte Schlammbelebungsbecken
- ⑭ Nachklärbecken
- ⑰ Flockungsfiltration
- ⑳ Vorlagebehälter für Überschussschlamm
- ㉑ Faulbehälter
- ㉒ Filtratgleichsbehälter
- ㉓ Maschinenhaus mit Werkstatt

Datum: Entwurf: September Geprüft: Juli 2013 Gezeichnet: Juli 2013 Geplant: Juli 2013			DAHLEM <small>Aufgestellt: Essen, im Juli 2013</small>
Bestands-Ingenieur: Grottel & Co. Westfälischer KG Ronsseweg 7 43118 Essen Fax: +49 (0)201 8867-133 www.grottel-ingenieur.de			
Projekt: Erarbeitung eines Konzeptes zur Spurenstoffelimination in der vorhandenen Flockungsfiltration Gruppenklärwerk Paderborn-Sande			

 <small>Spezialinstitut für Städtebauingenieurwesen Paderborn</small>			
Inhalt: Lageplan Spurenstoffelimination Variante 2, GAK Filtration			
Planungsphase:	Zeichnungs-Nr.:	Blatt:	Maßstab:
Studie	2702 / 01 E 02	10	1 : 250




Legende:

- ① Zulaufschneckenpumpwerk
- ② Rechengebäude – Füllung
- ③ Sandfang
- ④ MID – Mengemessung
- ⑦ Vorklärbecken, Zwischenklärbecken
- ⑧ Schlammumpwerk
- ⑨ Verteilerbauwerk I
- ⑩ MID – Verteilerbauwerk
- ⑪ alte Schlammbelebungsbecken
- ⑭ Nachklärbecken
- ⑰ Flockungfiltration
- ⑳ Vorlagebehälter für Überschussschlamm
- ㉑ Faulbehälter
- ㉒ Filtrationsgleichsbehälter
- ㉓ Maschinenhaus mit Werkstatt

Datum: Bestands-System: Grottel & Co. Industriestraße 7 43106 Essen Fon: +49 (0)201 8867-0 Fax: +49 (0)201 8867-133 www.grottel.de		DAHLEM Aufgestellt: Essen, im Juli 2013
Gezeichnet:	Skizziert:	Geprüft:
Juli 2013	Juli 2013	Juli 2013
Dateipfad: H:\Projekte\2012\Zersch01_LageACAD\Ausf\2012_01A01c		

Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese unverändert zu verwenden. Änderungen oder Umbenennungen dieser Zeichnung, Verweigerung der Haftung für den Inhalt, sowie Nacharbeiten sind nicht gestattet, es sei denn schriftlich zugestimmt. Die hier gezeigten Abmessungen sind Systeme und/oder gezeigte Eigentum und dürfen ohne Genehmigung nicht weiter verbreitet werden.


STEB Spezialbetrieb des
Städtischen Wasserwerks Paderborn

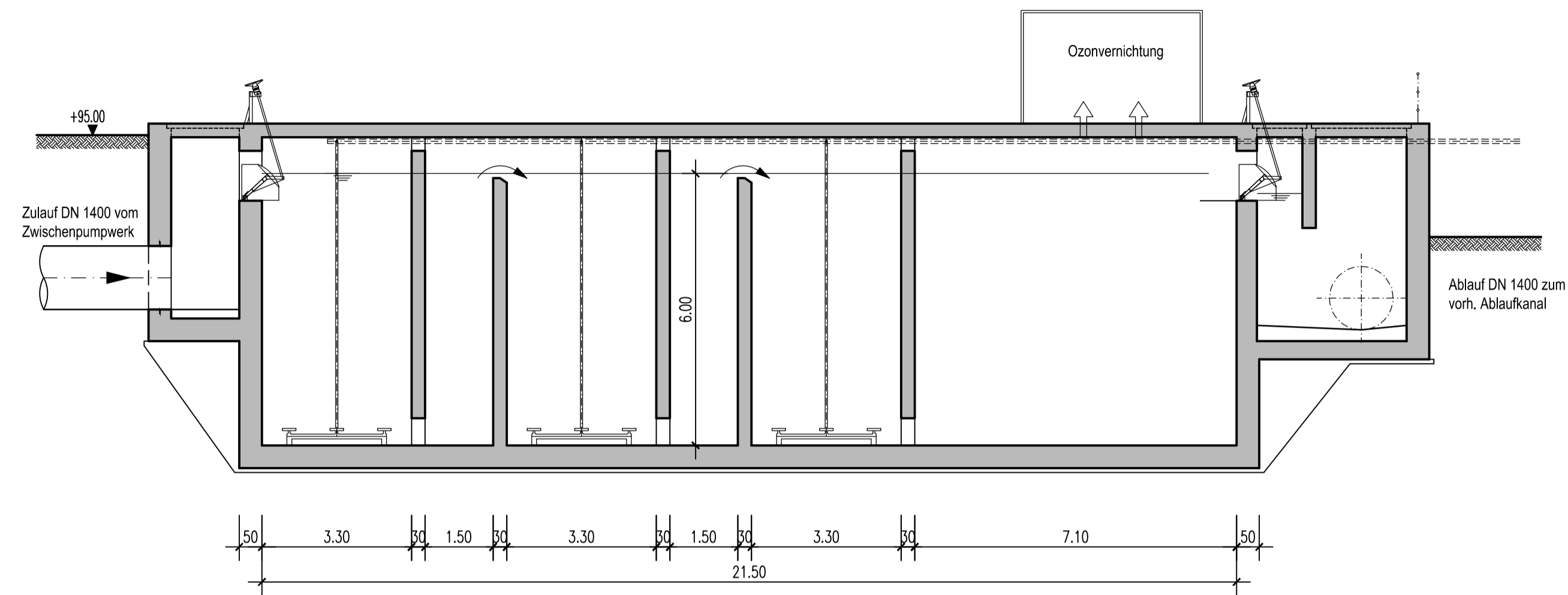
Projekt: Erarbeitung eines Konzeptes zur Spurenstoffelimination in der vorhandenen Flockungfiltration Gruppenklärwerk Paderborn-Sande

Inhalt: Lageplan
Spurenstoffelimination
Variante 3, Ozonbehandlung

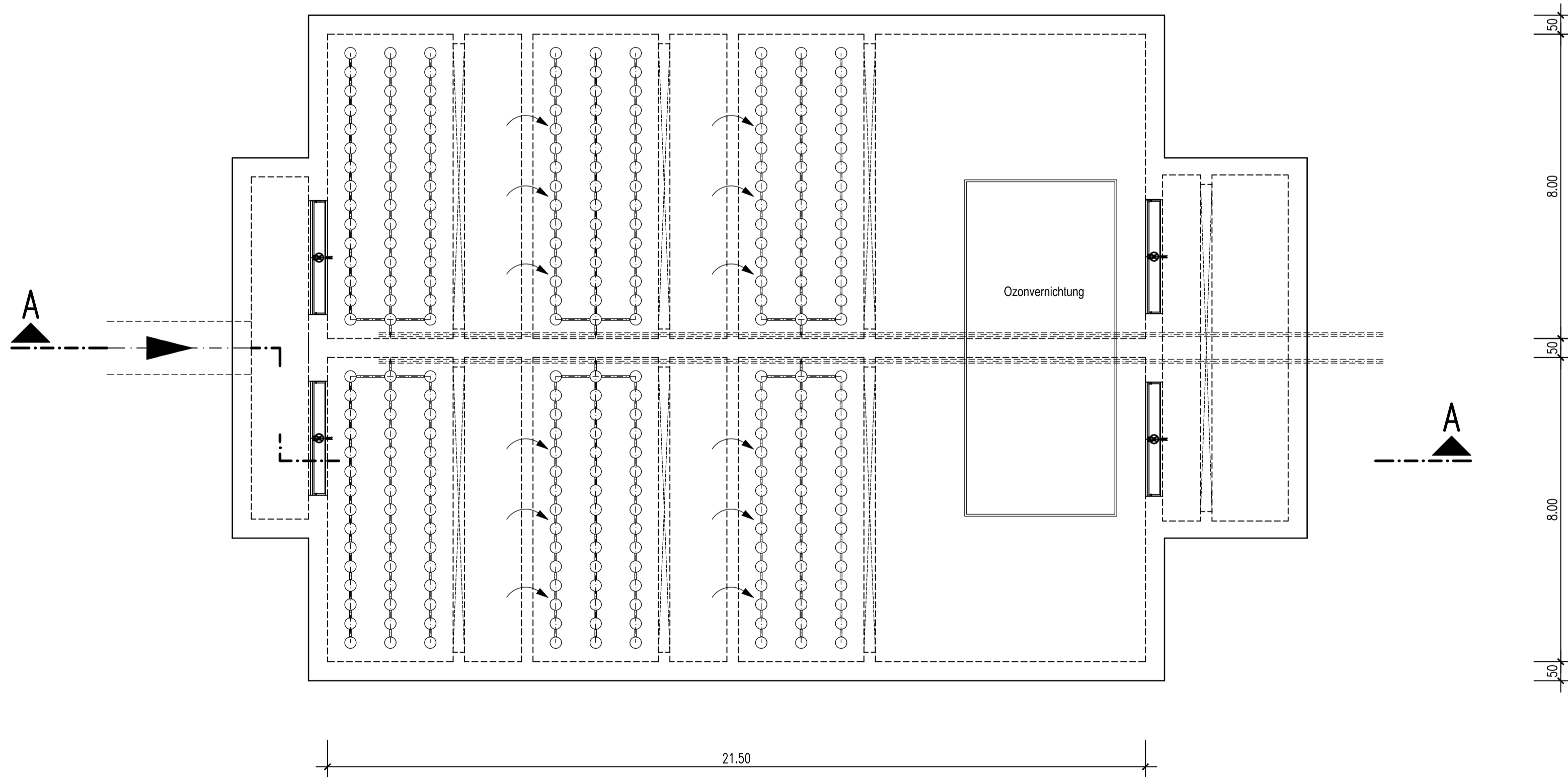
Revorgang:	Zeichnungs-Nr.:	Index:	Maßstab:
Studie	2702 / 01 E 03		1 : 250

SCHNITT A-A

Ozonreaktor 2 x 800 m³



DRAUFSICHT



Datum: Bestands-Engineure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG Bornsepen 7 45136 Essen Fon: +49 (0) 201.8967-0 Fax: +49 (0) 201.8967-123 www.dahlem-ingenieure.de			DAHLEM Aufgestellt: Essen, im Juli 2013
Gezeichnet Juli 2013	Bearbeitet Juli 2013	Geprüft Juli 2013	
Dateipfad H:\Projekte\2082\Zeich\01_Lage\ACAD\Austf2082_01A01c			

Der Empfänger dieser Zeichnung ist verpflichtet, diese vertraulich zu behandeln. Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts - auch auszugsweise - ist nicht gestattet, soweit nicht schriftlich zugestanden. Die hier gezeigten Anordnungen und Systeme sind unser geistiges Eigentum und stehen unter Urheberrecht. Alle Rechte vorbehalten.



Projekt
Erarbeitung eines Konzeptes zur Spurenstoffelimination in der vorhandenen Flockungsfiltration Gruppenklärwerk Paderborn-Sande

Inhalt
Ozonreaktor
Spurenstoffelimination
Variante 3, Ozonbehandlung

Planungsphase Studie	Zeichnungs-Nr. 2702 / 02 E 01	Index	Maßstab 1 : 100
-------------------------	----------------------------------	-------	--------------------