

Entsorgungsbetrieb der Stadt Siegen (ESI)



Kläranlage Siegen (mit Anschluss der Kläranlage Weidenau) Machbarkeitsstudie

Elimination von Mikroschadstoffen

Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15
51580 Reichshof

Reichshof, 20.06.2016

S. Schilling
Dr.-Ing., Dipl.-Wirt.Ing., M.Tech.

0. Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Veranlassung	1-1
2.	Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroschadstoffen	2-1
2.1	Sand- und Trommel-/Tuchfiltration	2-1
2.2	Membranfiltration	2-6
2.3	Ozonung	2-15
2.4	Adsorption an Pulver- oder granulierter Aktivkohle	2-23
3.	Erprobte Verfahrensalternativen auf kommunalen Kläranlagen	3-1
3.1	Verfahrenskonzepte auf Basis granulierter Aktivkohle (GAK)	3-4
3.2	Verfahrenskonzepte auf Basis der Pulveraktivkohle (PAK)	3-8
3.3	Verfahrenskonzepte auf Basis einer Ozonung	3-13
4.	Darstellung der relevanten Randbedingungen auf der Kläranlage	4-1
4.1	Sandfiltrationsanlage	4-3
4.2	Belastungssituation der Kläranlagen Siegen und Weidenau und nach Zusammenlegung	4-12
4.3	Indirekteinleiter als mögliche „Quellen“ der Mikroschadstoffe	4-23
4.4	Ermittlung der zur Mikroschadstoffentfernung relevanten Abwassermenge	4-26
5.	Analysen zur Mikroschadstoffsituation sowie Eliminationspotenzial	5-1
5.1	Grundlagen der Förderbescheides/ Vorgaben	5-1
5.2	Durchgeführte Analysen mit Ermittlung der Indikatorsubstanzen	5-5
5.3	Darstellung der Monitoringergebnisse aus	5-9
5.4	Vergleich der Analyseergebnisse mit anderen Kläranlagen	5-12
5.5	Verfahrensspezifische Eliminationsleistungen/-möglichkeiten unter Betriebs.._..	5-14

6.	Verfahrenskonzeption mit Wirtschaftlichkeitsberechnung	6-1
6.1	Nutzung des vorhandenen Sandfilters als GAK/SF-Filter	6-10
6.1a	Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 4 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit je 6 Kammern als Variante 1a	6-12
6.1b	Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 4 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit 4 SF und 8 GAK-Kammern als Variante 1b	6-14
6.1c	Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 8 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit je 8 Kammern als SF und GAK-Filter Variante 1c	6-21
6.2	Neubau eines GAK-Filters im Anschluss an den vorhandenen SF	6-26
6.3	PAK-Zugabe vor den Sandfilter bzw. mit Kontakt- und Absetzbecken	6-30
6.3.1	PAK-Zugabe vor den erweiterten Sandfilter (4 Kammer) mit zusätzlichem Kontaktbecken als Flockungsraum	6-31
6.3.2	PAK-Dosierung nach der Nachklärung mit Kontakt- und Absetzbecken	6-35
6.4	Ozonierung mit nachgeschaltetem biologisch aktivem Sandfilter	6-36
6.5	Bewertung der ausgearbeiteten Verfahrenskonzepte zur Mikroschadstoffentfernung	6-42
7.	Zusammenfassung	7-1
8.	Literaturverzeichnis	8-1
9.	Anhang	9-1

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Erläuterung	ggf. Einheit
AFS	Abfiltrierbare Stoffe	[mg/l]
AK	Aktivkohle	
AOP(s)	Advanced oxidation processes	
BB	Belebungsbecken	
BET	Adsorptionsisotherme	
Br	Bromid	[µg/l] bzw. [ng/l]
BTA	Benzotriazol (Korrosionsschutzmittel)	[µg/l]
BV	durchgesetzte Bettvolumina	[m ³ /m ³]
c	Konzentration	
CBZ	Carbamazepin (Antiepileptikum)	[µg/l]
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf	[mg/l]
DCF	Diclofenac (Antirheumatikum)	[µg/l] bzw. [ng/l]
DOC	Gelöster organischer Kohlenstoff	[mg/l]
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.	
EBCT	Leerbettkontaktzeit	
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (Komplexbildner)	[µg/l] / [ng/l]
Fe	Eisen	
SF	Sand-Flockungsfilter/Flockungsfiltration	
FM	Fällmittel	[mg/l]
FHM	Flockungshilfsmittel	[mg/l]
FuE	Forschung und Entwicklung	
GAK	Granulierte Aktivkohle	[mg/l]
ISV	Schlammvolumen	
KA	Kläranlage	
k.A.	keine Angaben	
MET	Metoprolol (Betablocker)	[µg/l] bzw. [ng/l]
Methyl-BTA	Methylierte Benzotriazolverbindungen	
MID	Magnetisch induktives Durchflussmessgerät	
MP	Mischprobe	
NK / NKB	Nachklärung / Nachklärbecken	
n.v.	nicht verfügbar	
PAK	Pulverisierte Aktivkohle	[mg/l] bzw. [kg/m ³]
PE	Polymer	
Pges	Gesamter Phosphor	[mg/l]
PLS	Prozessleitsystem	

RKM	Röntgenkontrastmittel	
RW	Regenwetter	
SAK	Spektraler Absorptionskoeffizient	[1/m]
TCP	Tris(2-chlorisopropyl)phosphat	[µg/l] bzw. [ng/l]
tK	Kontaktzeit	
TNb	Gesamter gebundener Stickstoff	[mg/l]
TOC	Gesamter organischer Kohlenstoff	[mg/l]
TW	Trockenwetter	
v	Geschwindigkeit	[m/s] bzw. [km/h]

1. Einleitung und Veranlassung

In den aktuellen Betrachtungen zum Ausbau der KA Siegen wird unter dem Aspekt zukünftiger Anforderungen auch die Elimination von Mikroschadstoffen berücksichtigt. Das Ergebnis dieser Betrachtung kann/ wird auch direkten Einfluss auf die Bemessung der zu erweiternden Nachklärstufe als auch den Betrieb der Flockungsfiltration haben, da u.a. der Einsatz von PAK oder GAK in Kombination mit einer (Sand-)Filtration in verschiedenen Verfahrensalternativen/ Verfahrenskombinationen zur Elimination von Mikroschadstoffen in Frage kommt.

Die derzeit in der öffentlichen Diskussion unter dem Oberbegriff als „Mikroschadstoffe“ bzw. „Spurenstoffe“ gebündelten, im Abwasser befindlichen Inhaltsstoffe, wie Arznei- und Kontrastmittel, Östrogenen und Herbiziden, passieren ohne weitere Maßnahmen die herkömmlichen kommunalen Kläranlagen (gebaut und betrieben nach den aaRdT bzw. dem SdT) je nach Substanz mehr oder weniger ohne größere Eliminationsleistung.

Diese Substanzen reichern sich zum Teil (insbesondere die schwer abbaubaren) in Oberflächengewässern, Böden und Grundwässern an und finden sich dann u.a. auch im Rohwasser von Trinkwassergewinnungsanlagen wieder.

Erst durch die in den letzten Jahren verbesserten Analysemethoden wurden diese Mikroschadstoffe zunehmend nachgewiesen und somit Erkenntnisse über deren „Präsenz“ und Schädlichkeit ermittelt. Die biologische Stufe von Kläranlagen kann diese Inhaltsstoffe zum überwiegenden Teil nicht bzw. nur unzureichend abbauen. Grundsätzlich sind jedoch die Auswirkungen dieser Substanzen und die dazu notwendigen Grenz- bzw. Schadkonzentrationen noch weitgehend unerforscht; insbesondere auch deren Wirkung auf lebende Organismen.

Die derzeit bestehenden Schwellenwerte werden in der aquatischen Umwelt insbesondere im Umfeld/ Ablauf von Kommunalen Kläranlage oft überschritten, so dass die Notwendigkeit einer effizienten "4. Reinigungsstufe" als immer dringlicher angesehen wird. Dies wird aber unweigerlich zu einer Erhöhung der Abwassergebühr führen. Nach Kostenkalkulationen des Umweltbundesamtes /UBA 1/ - abhängig von der Größe der Kläranlage und den verschiedenen Randbedingungen (Filtration etc.) - sind spez. Kosten von 0,10-0,20 €/ m³ gemäß Tabelle 1-1 zu erwarten.

Tabelle 1-1 spezifische Kosten der Spurenstoffelimination /UBA 1/

Spezifische Kosten nach Größenklassen der Kläranlagen				
Größenklasse		Klassenmittel (EW)	Spezifische Kosten (€/m ³)	
			Spurenstoffstufe	Nachbehandlung
3	7.500	7.500	0,124	0,10
4	10.001–20.000 EW	15.000	0,108	0,08
	20.001–50.000 EW	35.000	0,092	
	50.001–100.000 EW	75.000	0,079	
5	100.001–200.000 EW	150.000	0,069	0,05
	200.001–500.000 EW	350.000	0,059	
	500.001–1.000.000 EW	750.000	0,051	
	> 1.000.000 EW			

Quelle: UBA, „Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in die Gewässer“ TEXTE 85/2014 aus Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 3712 21 225, UBA-FB 002037

Seit einigen Jahren werden daher verstärkt in Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg, aber auch in der Schweiz u.a. zielgerichtet FuE-Vorhaben, Untersuchungen und Versuche durchgeführt, um das effizienteste und wirtschaftlichste Verfahrenskonzept zur Elimination von Mikroschadstoffe unter den gegebenen Randbedingungen zu ermitteln.

Das Land Nordrhein-Westfalen fördert diese Untersuchungen/ Arbeiten unter dem Förderbereich 3 bzw. 6 (FuE-Vorhaben) zur Behandlung und Beseitigung der Mikroschadstoffe in öffentlichen Kläranlagen. Dies unter der Überschrift "Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW", in denen Richtlinien über die Gewährung von Zuwendungen unter dem Förderbereich 3 "Ertüchtigung öffentlicher Kläranlagen zur Elimination von Mikroschadstoffen und zum Rückhalt von Bakterien, Viren und Antibiotika-resistenten Keimen" aufgeführt sind. Dabei wird die Höhe des Zuschusses von bis zu 70 % auf die anfallenden Investitionen zur Mikroschadstoffentfernung als förderfähig benannt. Machbarkeitsstudien als ersten Schritt in das oben dargestellte Aufgabenfeld werden nach formloser Beantragung mit bis zu 80 % gefördert.

Diese Machbarkeitsstudie über die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten zur Mikroschadstoffentfernung wurde mit dem vorliegendem Ergebnis für die Kläranlage Siegen unter Berücksichtigung des Anschlusses der Kläranlage Weidenau erstellt.

2. Verfahrenstechnik zur Elimination von Mikroschadstoffen

Die in den folgenden Kapiteln 2.1-2.4 aufgeführten Verfahrenstechniken stellen den derzeit verfügbaren und als wirtschaftlich sinnvoll eingeschätzten technischen Rahmen zur Elimination von Spurenstoffen/ Mikroschadstoffen aus dem Abwasser/ Ablaufwasser einer kommunalen Kläranlage dar. Dabei können / ggf. sollten diese Verfahren sinnvoll kombiniert werden bzw. sind diese teilweise schon auf Kläranlagen vorhanden.

2.1 Sand- und Trommel-/Tuchfiltration

Für die Filtration vom Hauptstrom bzw. von Teilstömen des Kläranlagenablaufs kommen als sinnvolle Vorbehandlung von z.B. einer (UV)-Desinfektion, Ozonierung oder Aktivkohleadsorption drei Filtertypen in Frage:

- Sand- Kiesfilter als Tiefenfilter
- Gewebefilter als Flächenfilter, z.B. als Trommelfilter
- Membranfilter als Flächenfilter

Die beiden Erstgenannten werden im Folgenden kurz beschrieben. Durch eine Sandfiltration werden fest/flüssig-Systeme in ihre Bestandteile (Feststoffe und Flüssigkeit) getrennt. Dies erfolgt in Filtern durch die Wirkung von Trennkräften mittels eines flüssigkeitsdurchlässigen Filtermediums. Der Filtrationsprozess besteht aus dem mechanischen Siebvorgang und einer Summe von Einzelreaktionen wie Sorption, Agglomeration, Flockungen und Umladungen.

Die Abtrennleistung der Filter soll in etwa eine Konzentration von abfiltrierbaren Stoffen im Ablauf von $< 5 \text{ mg/l}$ bei durchschnittlichen Zulaufkonzentrationen des Filters/ Ablaufwasser der Nachklärstufe von etwa 20 mg/l gewährleisten. Zur kommunalen Abwasserreinigung wurden und werden zu diesem Zweck vorrangig Sand-Kiesfilter eingesetzt.

Insbesondere wurden (Flockungs-)Filter auf Kläranlagen im Wesentlichen dann eingesetzt, wenn es galt, Ablaufanforderungen an $P_{\text{ges}} < 0,5 \text{ mg/l}$ zu erreichen.

Sand-Kiesfilter als rückspülbare Tiefenfilter

Die typischen Kennzeichen eines Tiefenfilters oder auch Raumfilters sind die abwärts oder aufwärts gerichtete Durchströmung des Filterbettes, die Abtrennung von Partikeln aus dem Ablauf einer Abwasserreinigungsanlage auf Konzentrationen $< 5 \text{ mg/l}$ und Filtergeschwindigkeiten bis zu $7\text{-}10 \text{ m/h}$ für die „Dauerbelastung“ des Trockenwetterzuflusses und bis zu $15\text{-}16 \text{ m/h}$ temporär zur Filtration der Spitzenabwassermengen bei Regen. u.a. in /ATV 2/ /Böhm 1/.

In Abhängigkeit der Trennaufgaben und der Gesamtkapazität werden die Filter als Einschicht- oder Mehrschichtfilter betrieben. Abbildung 2-1 zeigt die beiden Verfahrensführungen von Sand-Kiesfiltern.

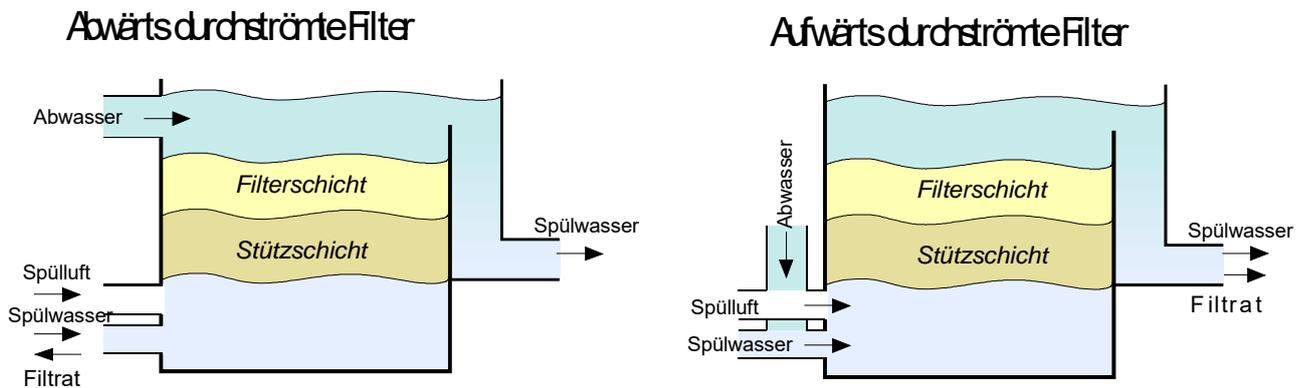
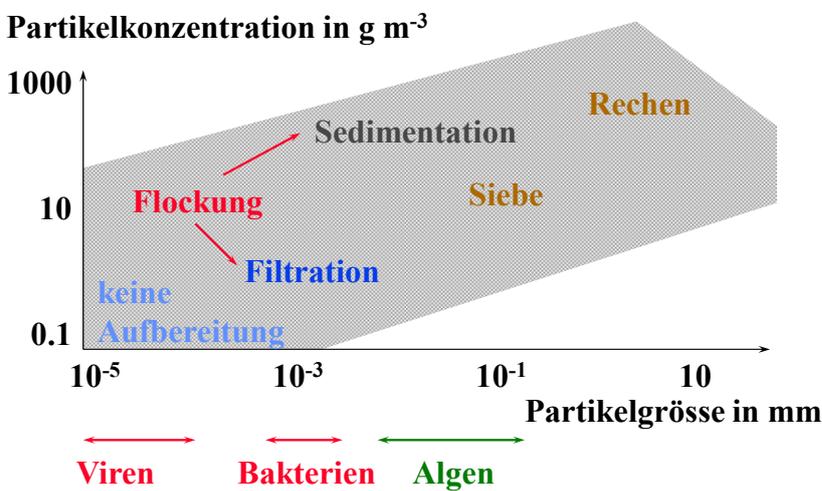


Abbildung 2-1 Sand-Kiesfilter als abwärts und aufwärts durchströmte, rückspülbare Filter

Zur weitergehenden Behandlung des Ablaufwassers aus Kläranlagen werden in der Regel abwärts durchströmte 1-2 Schichten Sand-Kiesfilter eingesetzt. Die Filterfeinheit eines Sandfilters beträgt in der Regel zwischen 20 und 30 μm . Abbildung 2-2 zeigt die Eliminationsleistung der verschiedenen technischen Anlagen (-teile) mit und ohne Flockung.

Partikelelimination



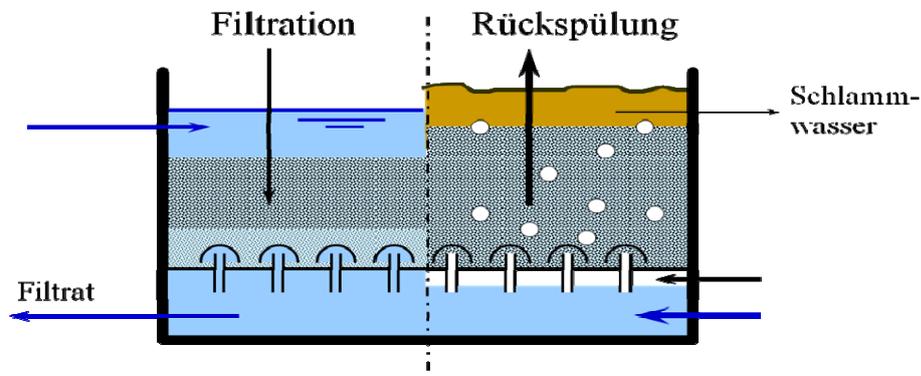
Nach Gujer 1999

Abbildung 2-2 Partikel-Eliminationsleistung verschiedenen Anlagenteile /Gujer 1/

Der vergleichsweise gute Partikel-Rückhalt von Sandfiltern, insbesondere in Kombination mit einer Flockung, ist gut erkennbar. Allerdings führt der gute Partikelrückhalt zu einer mit der Zeit abnehmenden Filtrationsgeschwindigkeit.

Damit dieser hydraulische Durchsatz der Sandfilter nicht zu stark abnimmt, werden diese zyklisch rückgespült in der Regel mit einem Luft-Wassergemisch.

Abbildung 2-3 zeigt diesen Vorgang schematisch.



Filtrerrückspülung nach Gujer 1

Abbildung 2-3 Phasen der Filtrerrückspülung /Gujer 1/

Da ansonsten der Druckverlust zu groß würde und die „Filtrierung“ der hydraulisch notwendigen Abwassermenge nicht mehr gegeben wäre.....

Den schematischen Zusammenhang von Filterbetriebszeit und wachsendem Druckverlust hier [mWs] zeigt die folgende Abbildung 2-4 für einen fein- und grober körnigen Sand /Gujer 1/.

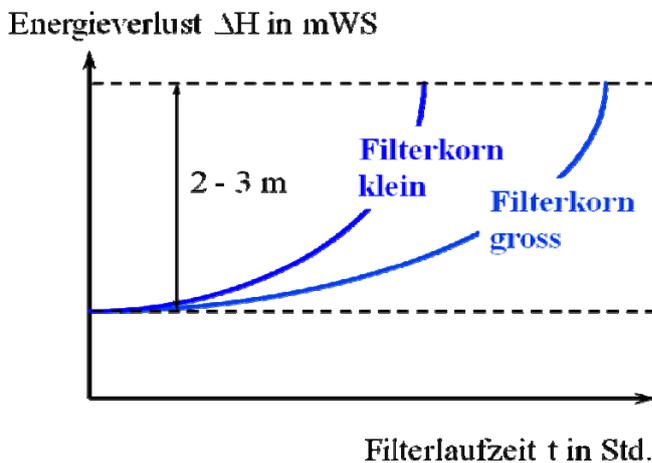


Abbildung 2-4 Verlauf des Druckverlust der Filtration nach /Gujer 1/

Gemäß den veröffentlichten Druckverlustkurven der Wasser Bau Gesellschaft /WBG 1/ für Sand- und Kiesfilter ergibt sich folgende Kurvenschar als Funktion der Sand-/ Kieskorngöße.

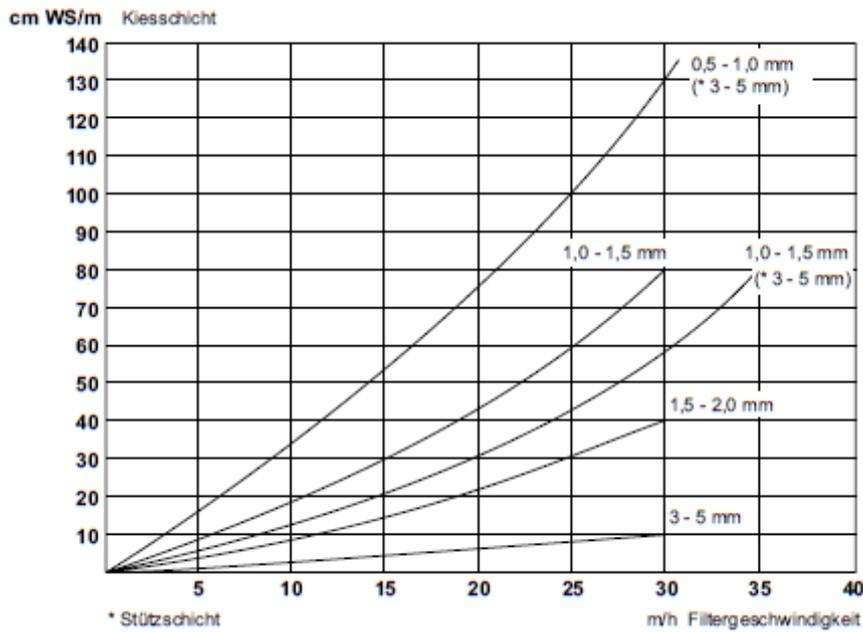


Abbildung 2-5 Kurvenschar zum Druckverlust als Funktion der Sand-/ Kies Korngröße /WBG 1/

Die folgenden Abbildungen 2-6 und 2-7 zeigen beispielhaft technische Skizzen zweier Hersteller zum Sandfilter /nordic-water 1/ und zum Tuchfilter /mecana 1/.

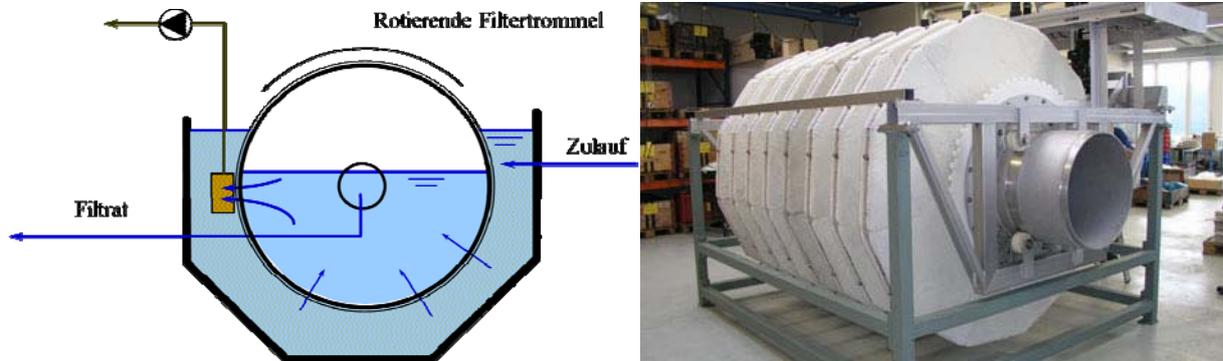


Quelle: www.nordic-water.de dyna-Sandfilter

Abbildung 2-6

Dyna-Sandfilter /nordic-water 1/

Abbildung 2-6 links zeigt beispielhaft einen Sandfilter in Stahl- bzw. rechts in Betonbauweise. Eine Alternative zur Sandfiltration stellen die Tuchfilter und Trommelsiebe dar.



Quelle: www.mecana.com Tuchfilter als Scheibenfilter

Abbildung 2-7

Schema und Foto eines Tuchfilters /mecana 1/

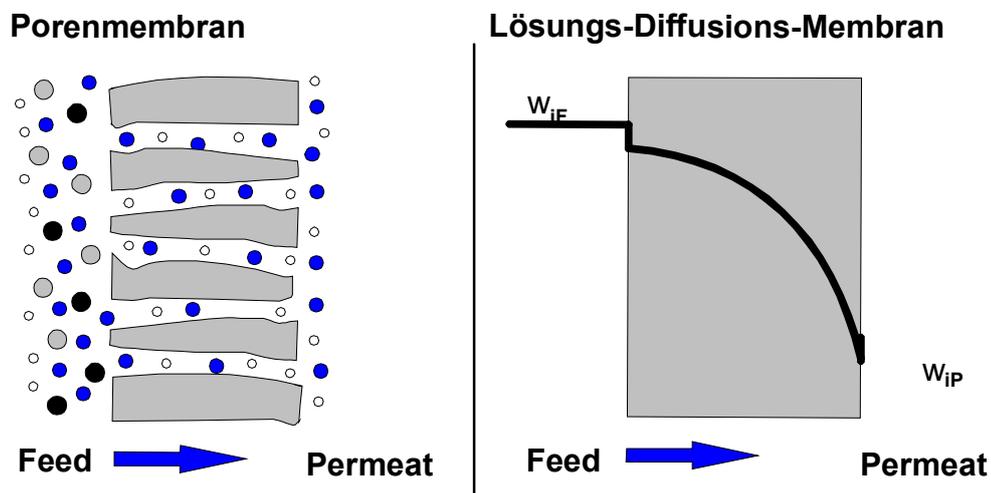
Die Filtration stellt im Rahmen der Spurenstoffelimination eine effiziente Alternative zum Rückhalt von PAK dar. Die Kammern einer Sandfiltration können vergleichsweise einfach als PAK-Filter „umgenutzt“ werden. Weitere Verfahrensalternative unter sinnvoller Nutzung einer Filtration sind in Kapitel 3 als weitere Bearbeitungsgrundlage aufgeführt.

Als weiterführende Literatur über die Sand- und Trommel-/Tuchfiltration sind u.a. die folgenden Quellen genutzt worden und hilfreich: /ATV 2/ /ATV 3/, /Böhm 1/, /Barjenbruch 1/, /Mönnich 1/.

In der folgenden Abbildung 2-9 ist die Einordnung zur Leistungsfähigkeit konventioneller Filtrationsverfahren (wie oben dargestellt) mit den Membranverfahren in Bezug auf die Elimination von Stoffen/ Stoffgruppen dargestellt.

2.2 Membranfiltration

Um die Transportmechanismen bei Membrantrennprozessen beschreiben zu können, wird idealisiert von einer Lösungs-Diffusions-Membran (einer „dichten“ Membran) mit einem elektrochemischen Potential als Triebkraft und einer reinen Porenmembran mit einer Druckdifferenz als Triebkraft ausgegangen. Abbildung 2-8 gibt schematisch die Transportmechanismen wieder. Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen sind idealisiert reine Porenmembranen, die im Weiteren relevanten Nanofiltration- und die Umkehrosmosemembranen sind Lösungs-Diffusions-Membranen. In der Praxis können sich diese beiden Transportmechanismen durch die Membranen durchaus überlagern /Melin 1999/. Für die Nanofiltration wird zur mathematischen Beschreibung des Stofftransportes neben dem diffusiven Anteil ein konvektiver Anteil berücksichtigt.



W_{iF} : Konzentration im Feed

W_{iP} : Konzentration im Permeat

Abbildung 2-8 Transportmechanismen bei Membrantrennprozessen

Der Trennmechanismus von Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen als reine Porenmembranen funktioniert prinzipiell wie der von Filtern bzw. Sieben (siehe Kapitel 2.1). Die Abtrennung der Inhaltsstoffe erfolgt nach dem Prinzip des Korngrößenausschlusses. In Abhängigkeit von der Größe der Inhaltsstoffe können diese die Membran entweder ungehindert passieren oder werden von ihr zurückgehalten. Physikalische Triebkraft für den Trennprozess bei der Mikro- und Ultrafiltration ist im Wesentlichen die Druckdifferenz über der Membran (transmembrane Druckdifferenz - TMP).

Die Elimination der gelösten Abwasserinhaltsstoffe, sofern sie biologisch abbaubar sind, wird entsprechend den Erfordernissen in der biologischen Stufe gewährleistet; der Rückhalt der verbleibenden, **gelösten Inhaltsstoffe** kann durch die **Mikro- oder Ultrafiltrationsmembranen nicht erfolgen**. Das erklärte und wirtschaftlich erreichbare Ziel für den Einsatz eines Membrantrennprozesses mit Mikro- oder Ultrafiltrationsmembranen zur kommunalen Abwasserbehandlung ist der vollständige Rückhalt aller abfiltrierbaren Stoffe (z.B. Belebtschlammflocken) und der weitgehende Rückhalt von Bakterien und Viren.

Abbildung 2-9 zeigt das Trennverhalten der Mikro (MF)- und Ultrafiltration (UF), u.a. für Bakterien und Viren sowie der Nanofiltration (NF) und Omkehrosmose (UO) für gelöste Stoffe, z.B. Salze. Es ist zu erkennen, dass beispielsweise mit der Ultrafiltration ein vollständiger Rückhalt an Bakterien erreicht werden kann. Gelöste Inhaltsstoffe, wie z.B. **organische Spurenstoffe/ Mikroschadstoffe, können alleine durch eine Mikro- oder Ultrafiltrationsmembran nicht zurückgehalten werden**.

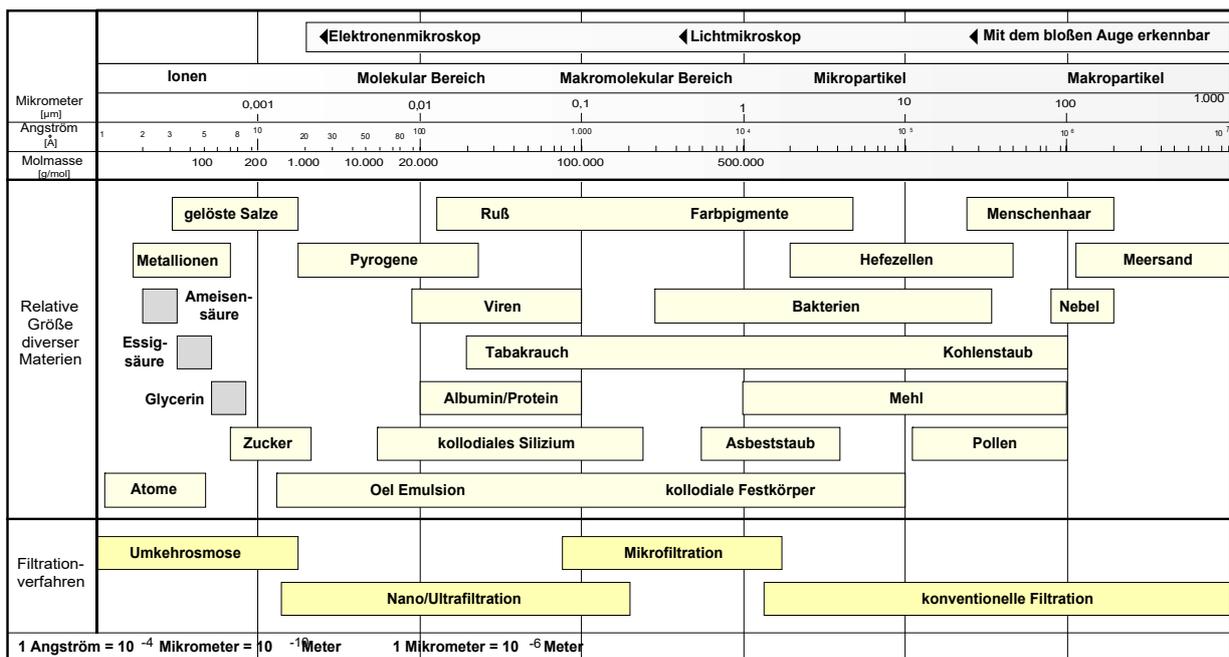
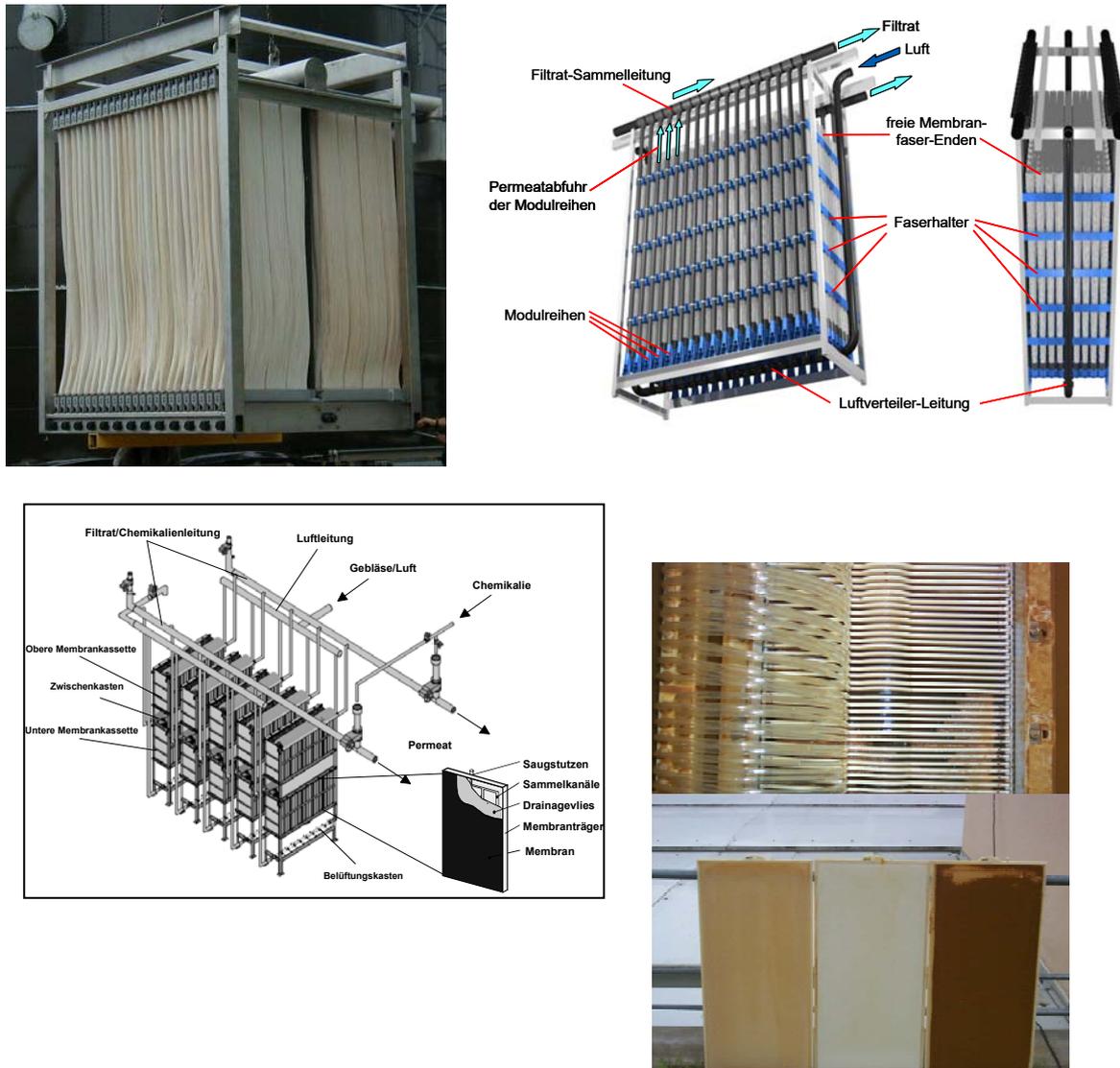


Abbildung 2-9 Trennverhalten der Mikro- und Ultrafiltration

Im Cross-Flow-Betrieb von NF und UO-Membranen werden Permeatflüsse von 30-150 l/(m²•h) bei Abwässern mit „höheren“ Feststoffanteilen vergleichsweise sicher erreicht. Für den Energiebedarf der Pumpen zur Erzeugung der nötigen Überströmgeschwindigkeit und der transmembranen Druckdifferenz von 1-10 bar muss ein spezifischer Energiebedarf von P' = 1,5 -4 kWh/m³Permeat kalkuliert werden.

Mit den unten in Abbildung 2-10 beispielhaft zusammengestellten, getauchten Membranen (Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen) lassen sich im „Unterdruck-Betrieb“ Filtratflüsse von 20-40 l/m² h unter deutlich geringerem spez. Energieaufwand erreichen.



Quelle: Zenon/ Puron/ Kubota

Abbildung 2-10 „getauchte“ Membranen zum Betrieb eines MBReaktors

Beim MBR Technology[®]-Verfahren werden z.B. eingetauchte Plattenmembranen über die unterhalb eines jeden Moduls permanent eingeblasene Luft und das Anlegen eines permeatseitigen Unterdrucks betrieben. Zwischen den Plattenmembranen bildet sich eine Cross-Flow ähnliche Überströmung aus Luft und Belebtschlamm aus. Die erzielbaren Filtratflüsse liegen durchschnittlich zwischen 25 - 30 l/(m²·h) bei einer Energieaufnahme von 0,4-0,8 kWh/m³Permeat .

Die oben dargestellten (getauchten) Membranverfahren werden zur kommunalen Abwasserbehandlung als Membranbelebungsverfahren in Kombination mit einem Belebungsreaktor eingesetzt. Es handelt sich dabei wie beschrieben um Mikro- oder Ultrafiltrationsmembranen mit einer Trenngrenze von 0,1-0,4 µm.

Bezüglich der Spurenstoffentnahme können **aufgrund des höheren Schlammalters** in MBR für einige Spurenstoffe verbesserte Abbauleistungen ermittelt werden. Ein Rückhalt von Spurenstoffen durch die Membran bzw. den Filterkuchen konnte nicht ermittelt werden.

Das Membranbelebungsverfahren ist auf Basis unterschiedlicher Membrantypen, z.B. GEZenon oder Kubota seit gut 15 Jahren zur kommunalen Abwasserbehandlung großtechnisch erprobt (siehe Erftverband/ Aggerverband etc.)

Zühlke /Zühlke 1/ ermittelte in vergleichenden Untersuchungen zur Spurenstoffelimination einer Membranbelebungs- mit einer konventionellen Belebungsanlage mit folgendem Ergebnis:

- Membranbelebungsanlagen erreichen keine signifikant höhere Spurenstoffentnahme als konventionelle Belebungsanlagen **gleichen Schlammalters**.

Membransysteme zur Filtration von Ablaufwasser bzw. als zweite Stufe

Zur Abtrennung von Partikeln, Bakterien und Viren im Ablaufwasser einer Kläranlage können Membransysteme nach dem Dead-End-Verfahren eingesetzt und betrieben werden. Es lassen sich prinzipiell zwei Arten von Membranen unterscheiden. Dies sind Schlauchmembranen und Plattenmembranen. Als Schlauchmembranen werden Hohlfaser-, Kapillar- und Rohrmembranen eingesetzt, die mit der Filtrationsrichtung von innen nach außen oder von außen nach innen betrieben werden.

Das Verfahrensschema einer von innen nach außen filtrierenden Rohrmembran zeigt Abbildung 2-11 oben. Das Permeat sammelt sich im Modul und wird von dort abgeleitet. Die Filtrationsrichtung kann aber genauso auch von außen nach innen gerichtet sein, so dass das Filtrat in der Kapillare abgeführt wird.

Der Auswahl des richtigen Membran-Innendurchmessers bei der Filtration von innen nach außen kommt in Anhängigkeit des Feststoffgehaltes des zu filtrierenden Rohrwassers eine besondere Bedeutung zu. Je nach Rohwasserbeschaffenheit können Permeatflüsse von 80-100 l/(m²·h) bei einem TMP von 1-1,5 bar erreicht werden.

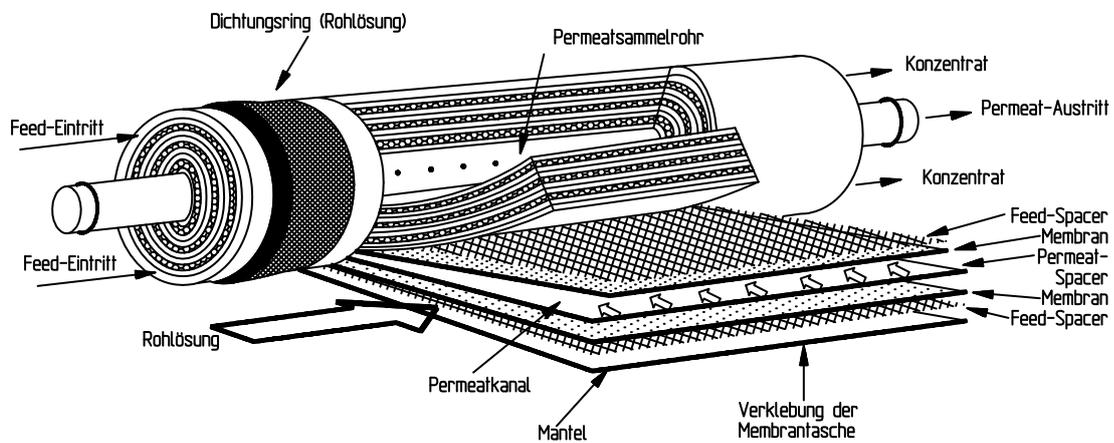


Quelle: Pall/ Berghof GmbH

Abbildung 2-11 Rohr und Kapillarmembranen zur Filtration des Ablaufwassers

Als Alternative bzw. in Kombination mit den oben aufgeführten Mikro- und Ultrafiltrationsmembranen sind für die Spurenstoffelimination die „dichten“ Nanofiltrations- und Umkehrosmosemembranen relevant.

Die folgende Abbildung 2-12 zeigt die Nanofiltrations-/ Umkehrosmosemembranen im Wickelmodul

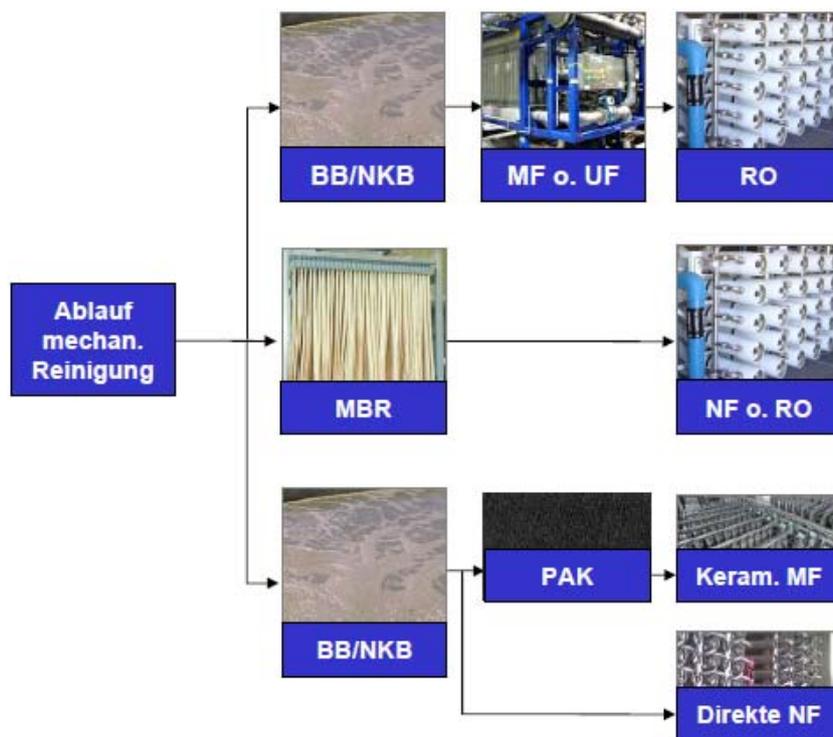


Quelle Dow

Abbildung 2-12 Nanofiltrationsmembran als Wickelmodul /DOW 1/

Die Einsatzmöglichkeiten, die betrieblichen und wirtschaftlichen Aspekte/ Randbedingungen sowie die erzielbaren Eliminationsleistungen von NF und UO, wurden in einigen Forschungsvorhaben mit folgenden, unten zusammengefassten Ergebnissen für die Spurenstoffelimination untersucht.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Mikromem“ /AVT 1/ zur Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen durch den Einsatz der Membrantechnik (Einzelauftrag 7) wurden die folgenden Varianten (siehe Abbildung 2-13)



Quelle: AVT 1

Abbildung 2-13

Nanofiltrationsmembran als Wickelmodul /AVT 1/

u.a. auf den Kläranlagen Aachen-Soers/ Xanten-Vynen/ Nordkanal und Seelscheid mit dem nachfolgenden Ergebnis erprobt:

- **Dichte Membranverfahren** (NF/RO) halten Spurenstoffe sehr weitgehend und zuverlässig zurück (i.d.R. > 90%).
- **Konzentratbehandlung** (für Organik und ggf. Anorganik) ist der Schlüssel zur erfolgreichen Umsetzung.
- **Hybridprozesse**, wie Adsorption + poröse Membran, erreichen ebenfalls hohen Spurenstoffrückhalt (ohne Konzentratproblem).
- **Optimierungsmöglichkeiten** zum Abbau von Spurenstoffen im Membranbelebungsverfahren:
 - Prozessbedingungen
 - Bioaugmentation
- Entscheidung „**pro Membranverfahren**“ ist abhängig von Rahmenbedingungen, z.B.:
 - Notwendigkeit zur gleichzeitigen Entkeimung oder Entsalzung
 - Bedarf an hoher Sicherheit
 - Hochwertige Wasserwiederverwendung

Quelle: AVT 1

Abbildung 2-14

Ergebnisse aus dem Betrieb von NF und UO /AVT 1/

Von Kazner /Kazner 1/ wurde im Rahmen seiner Arbeiten festgestellt, dass „Hybridverfahren aus einer Kombination von Aktivkohle und Nanofiltration“ für den Einsatz in der weitergehenden Abwasserbehandlung zur hochwertigen Wasserwiederverwendung vielversprechende Verfahrenskombinationen darstellen. Mit Schwerpunkt auf der Entfernung von Massenorganik und **organischen Spurenstoffen sind dies Pulveraktivkohle, gefolgt von Nanofiltration (PAK/NF), granuliert Aktivkohle, gefolgt von Nanofiltration (GAK/NF) und Nanofiltration, gefolgt von granulierter Aktivkohle (NF/GAK)**. Im Vergleich zu den Einzelverfahren, Nanofiltration oder Adsorption, lieferten alle drei Hybridverfahren deutlich bessere Produktwasserqualität mit DOC-Konzentrationen unterhalb von 0,5 mg/L und organischen Spurenstoffkonzentrationen nahe oder kleiner der Bestimmungsgrenze. Falls eine weitgehende Entsalzung nicht erforderlich ist, bilden Nanofiltration-Aktivkohle-Hybridverfahren eine verlässliche und wirtschaftliche Alternative **zu Doppel-Membranverfahren**, bestehend aus Ultrafiltration und Umkehrosmose, die den Stand der Technik darstellen. Die untersuchten Hybridverfahren sind gut geeignet für den Einsatz in der hochwertigen Wasserwiederverwendung. Aufgrund der geringeren Filtrationsdrücke weisen die Prozesse einen niedrigeren Energieverbrauch auf und produzieren weniger problematische Konzentrate, die im wesentlichen aus Organika und füllbaren, mehrwertigen Ionen bestehen. Die optimale Kombination von Nanofiltration und Aktivkohle hängt von den lokalen Rahmenbedingungen ab, wie beispielsweise Anlagengröße, Rohwassercharakteristik und Anlagenstandort. Angesichts wachsender Wasserknappheit und der Spurenstoffproblematik hat die Kombination von Aktivkohlebehandlung und Nanofiltration das Potential, in einer zunehmenden Zahl von Fällen eingesetzt zu werden.“

Als Ergebnis des FuE-Vorhabens /ISA 2/ -MikroMem- wurde festgestellt, dass

„Die Ergebnisse der sieben Arbeitspakete des Teilprojektes MIKROMEM zeigen, dass Membranverfahren sehr gut geeignet sind, um in Abwässern **vorkommende organische Spurenstoffe in hohem Maße zu entfernen**. Die niedrigsten Ablaufkonzentrationen lassen sich dabei mit den dichten Membranverfahren wie zum Beispiel der Nanofiltration erreichen. Bei der Verwendung poröser Membranen in MBR kann die biologische Elimination durch Bioaugmentation und optimierte Prozessführung gesteigert werden. Um mit MBR-Anlagen signifikant höhere Eliminationen als in der konventionellen Abwasserreinigung zu erzielen, ist hier jedoch eine **Kombination mit Adsorptionsmitteln nötig**. Pulveraktivkohle kann dabei entweder direkt in die Belebungsstufe des MBR gegeben werden oder vor einer Filtration des Kläranlagenablaufs zu dosiert werden.

Im FuE-Vorhaben des Abwasserverband Langen-Egelsbach /IWAR 1/ konnte festgestellt werden, dass

„Die nachgeschaltete Membranfiltrationsanlage zeigte, wie aufgrund technischer Merkmale (Stichwort: „Porenmembran“) zu erwarten war, keinen deutlichen Einfluss auf die Entnahme von Mikroverunreinigungen (MV). Die bei der Voruntersuchung beobachteten Konzentrationen lagen in den in der Literatur publizierten üblichen Bereichen. Für den Kläranlagenablauf und den membranfiltrierten Kläranlagenablauf fanden im Rahmen der Erprobung der unterschiedlichen Verfahrenskonfigurationen 25 bzw. 59 Analysen statt. In die Auswertung wurden nur die Werte einbezogen, die oberhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen lagen. Im Kläranlagenablauf und dem membranfiltrierten Kläranlagenablauf konnten 13 der 26 Humanpharmazeutikawirkstoffe regelmäßig über einer Bestimmungsgrenze von 50 ng/L beobachtet werden.....“Ein Einfluss der vorgeschalteten technischen Membranfiltrationsanlage (MF/UF) auf das Durchbruchverhalten der hier betrachteten Mikroverunreinigungen konnte nicht beobachtet werden. Der Vorteil der vorgeschalteten Feststoffentfernung zeigte sich in der Verminderung von Rückspulintervallen der GAK-Filter.“

Nach Einschätzung des Kompetenzzentrums BW /KomBW1/ wird die Relevanz von Membranverfahren derzeit wie folgt beschrieben:

„Bei den physikalischen Verfahren zur Spurenstoffelimination sind in erster Linie Membranfiltrationsverfahren, wie bspw. Nanofiltration oder Umkehrosmose, zu nennen. Beide Verfahren werden in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt. In der kommunalen Abwasserreinigung ist ihre Anwendung jedoch aufgrund mangelnder Betriebserfahrungen, der Entsorgungsproblematik des anfallenden Konzentrats sowie des hohen Energiebedarfs für den Betrieb der Verfahrenstechniken derzeit als nicht geeignet einzustufen.“

Auch in den Ausführungen der DWA /DWA 1/ wird festgestellt, dass „Erfahrungen mit Nanofiltration und Umkehrosmose in der kommunalen Abwasserreinigung weitgehend fehlen, liegen erst wenige verlässliche Zahlen zum Energieverbrauch, zu den Kosten und zum Betriebsverhalten vor.

„Dichte“ Membranen kommen für die Entfernung von Mikroverunreinigungen mit gleichzeitigem Rückhalt von Keimen aus dem kommunalen Abwasser theoretisch zwar in Frage, der hohe Energieverbrauch sowie die Erfordernis der Behandlung des Konzentrats sprechen jedoch gegen ihren Einsatz“.

FAZIT:

Die Nanofiltration und Umkehrosiose gehören damit zu den kostenintensiveren Verfahrenstechniken zur Spurenstoffelimination. Zudem erfordern diese eine Behandlung/ Entsorgung des zwangsläufig entstehenden Konzentrats. /Ivashechkin 1/ gibt für ausgelegte Modellkläranlage in der Größe 5.000, 25.000 und 100.000 E auf den Abwasseranfall bezogene spezifische (Brutto-) Kosten von 0,34 – 0,20 €/m³ für eine Nanofiltration und 0,37 – 0,23 €/m³ für eine Umkehrosiose an.

2.3 Ozonung

Die Ozonung als chemisches Oxidationsverfahren mit ihrer Relevanz für die Spurenstoff-/Mikroschadstoff abbauenden/ eliminierenden Wirkung für kommunales Abwasser wird mit ihren Anwendungsmöglichkeiten im Folgenden beschrieben. Ozon wird derzeit als effizientes Oxidationsmittel zur „Spurenstoffelimination“ betrachtet. Ozon ist ein vergleichsweise starkes Oxidationsmittel, das im wässrigen Milieu auf zwei Arten reagiert /Kom-BW1/:

- Selektive, direkte Reaktion mit Wasserinhaltsstoffen, die elektronenreiche Bindungen besitzen (z.B. Aminogruppen, Doppelbindungen und aktivierte aromatische Gruppen).
- Radikalkettenreaktion durch Spaltung des Ozons in Hydroxyl-Radikale, die sehr schnell und unspezifisch verschiedene Wasserinhaltsstoffe angreifen.

Ozon reagiert nicht nur mit den zu eliminierenden Spurenstoffen, sondern auch mit anderen Abwasserinhaltsstoffen, wie bspw. dem „restlichen“ DOC, Feststoffen oder Nitrit, was in der Regel nicht gewollt ist und je nach Stoff, wie die Reaktion von Bromid zu Bromat, besonderer Beachtung bedarf.

Grundsätzlich versteht man unter chemischer Oxidation - wie der Begriff schon deutlich macht - ein Oxidationsverfahren, das mit Hilfe chemischer Oxidationsmittel arbeitet. Ganz allgemein und gängigen Lehrbüchern entnommen steht die Oxidation für den Entzug von Elektronen aus einzelnen Teilchen, wie z.B. aus Atomen, Ionen oder Molekülen. Die Umkehrung der Reaktion, d.h., die Aufnahme von Elektronen wird als Reduktion bezeichnet.

Die ursprüngliche Bedeutung des Begriffs Oxidation ist am meisten verbreitet und in der täglichen Anwendung mit der „klassischen“ Verbrennung unter Sauerstoffverbrauch verknüpft. Als Erweiterung und Ergänzung der oben aufgeführten Ausführungen bezeichnet man Substanzen, die in der Lage sind, Sauerstoff abzugeben oder Elektronen zu binden, d.h., die in der Lage sind, andere Substanzen zu oxidieren, grundsätzlich als Oxidationsmittel.

Gängige Oxidationsmittel neben elementarem Sauerstoff (O_2) sind das für die Spurenstoff-/Mikroschadstoffelimination relevante Ozon (O_3), aber auch Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Fluor (F_2) oder Schwefelsäure (HNO_3). Das Maß für die Fähigkeit, andere Stoffe zu oxidieren, ist das Oxidations- bzw. Redoxpotential E , das gemäß dem Ansatz von NERNST wie folgt definiert ist:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{z} \ln [K]$$

Das Redoxpotential hängt somit von einem definierten Bezugspunkt E° , dem Standardelektrodenpotential, von der Temperatur T und der Gleichgewichtskonstanten K ab. Die Zahl z gibt die Anzahl der pro Formelumsatz ausgetauschten Elektronen an.

Je größer E ist, desto größer ist die oxidierende Wirkung. Zur Orientierung sind in folgender Abbildung 2-15 die Standardelektrodenpotenziale einiger Oxidationsmittel aufgeführt.

Substanz		Standard-Elektrodenpotential
OH-Radikal	OH·	+ 2,8 V
Ozon	O ₃	+ 2,07 V
Wasserstoffperoxid	H ₂ O ₂	+ 1,77 V
Salpetersäure	HNO ₃	+ 0,95 V
Sauerstoff	O ₂	+ 0,68 V
Fluor	F ₂	+ 2,87 V

Abbildung 2-15 Standard-Elektronenpotential ausgewählter Oxidationsmittel

Aus der Aufstellung ist zu erkennen, dass Ozon ein deutlich größeres Oxidationspotential als beispielsweise Sauerstoff hat. Fluor (F₂) stellt mit 2,87 V das stärkste Oxidationsmittel dar, gefolgt vom OH-Radikal mit 2,80 V. Neben dem Oxidationspotential des eingesetzten Oxidationsmittels sind auch die Parameter, wie die Temperatur, der Druck sowie die katalytischen Effekte bestimmter Substanzen von Bedeutung (siehe dazu u.a. Römpps Lexikon der Chemie)

Ozon hat mit 2,07 V ein sehr hohes Oxidationspotential und kann daher viele Substanzen oxidieren.

Der Oxidationsvorgang von Ozon mit organischen Substanzen wie die Mikroschadstoffe basiert auf zwei sich überlagernden Reaktionstypen deren Ablauf/ Reaktionskinetik durch den folgenden Ansatz beschrieben wird.

$$R = -k(T) \cdot C_A$$

R : Reaktionsgeschwindigkeit
 k : Geschwindigkeitskonstante
 C_A : Ausgangskonzentration

Als erster Schritt reagiert das Ozonmolekül mit den gelösten Substanzen. Diese direkte Reaktion ist äußerst selektiv, was an den steigenden Reaktionsgeschwindigkeiten des elektrophilen Ozons mit zunehmender Elektronendichte an der Doppelbindung und am aromatischen Ring oder entsprechend an den abnehmenden Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Zunahme elektronenziehender Substituten zu erkennen ist. Die zweite Reaktion wird über OH-Radikale geführt, die beim Zerfall des Ozons entstehen.

Diese OH-Radikale reagieren unselektiv in Millisekunden mit den Wasserinhaltsstoffen. Bei niedrigen pH-Werten überwiegt die erste, direkte Reaktion, während bei hohen pH-Werten fast ausschließlich die radikalische Reaktion abläuft /Enviro Consult 1/.

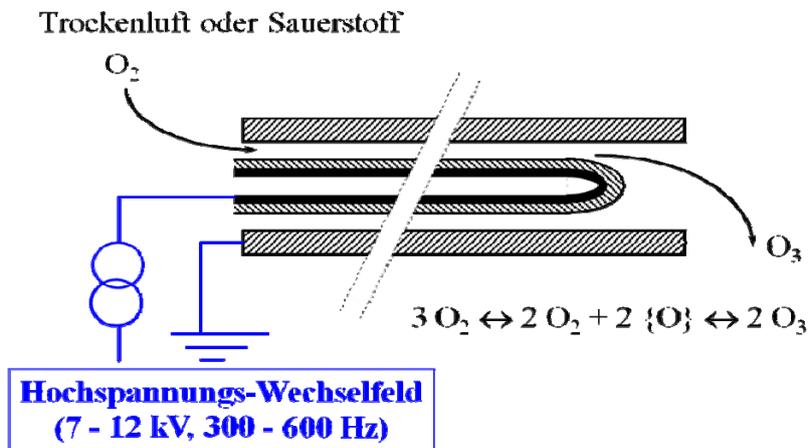
Die gute Reaktivität des Ozon mit einigen Spurenstoffen zeigt die Abbildung 2-16 von der Eawag /Eawag 3/ anhand der Struktur ausgewählter Spurenstoffe.



Abbildung 2-16 Beispielhaft ausgewählte Spurenstoffe mit hoher Reaktivität /EAWAG 3/

Da es sich bei Ozon um eine sehr energiereiche, metastabile Modifikation des Sauerstoffs handelt, erfolgt die Erzeugung meist beim Verbraucher vor Ort. Im Ozongenerator, der nach dem von W.v.Siemens entwickelten Verfahren der stillen elektrischen Entladung arbeitet, durchströmt ein sauerstoffhaltiges Gas bzw. reiner Sauerstoff einen Spalt, der von einer Außen- und Innenelektrode mit dazwischenliegendem Dielektrikum gebildet wird u.a. /Gujer 1/

Herstellung von Ozon



Quelle Gujer 1

Abbildung 2-17

Technische Herstellung von Ozon /Gujer 1/

Durch die an den Elektroden anliegende hohe elektrische Spannung werden von der negativen Elektrode Elektronen ausgesendet und beschleunigt. In einer Primärreaktion werden O_2 -Moleküle durch Stöße mit diesen Elektronen so aktiviert, dass sie zum Teil in O-Atome dissoziieren. Es folgt die Hauptreaktion mit Bildung von O_3 aus aktivierten O_2 -Molekülen und O-Atomen.

Bevor die Reaktion des Ozons mit den Wasserinhaltsstoffen erfolgen kann, muss es in die Wasserphase eingebracht werden. Sobald das Ozon in der Flüssigphase gelöst ist, kann die eigentliche Oxidation der Schadstoffe erfolgen. Geringe Ozonkonzentrationen in der Gasphase und schlechte Absorptionseigenschaften erschweren den Ozoneintrag.

Die Löslichkeit des Ozon kann bei geringen Konzentrationen durch das Henry-Gesetz beschrieben werden:

$$c_i^w = K_{Hi}(T) \cdot p_i$$

p_i : Ozon-Partialdruck in bar

K_{Hi} : Temperaturabhängige Henry-Konstante in mol/g·bar

c_i^w : Theoretische Ozon-Sättigungskonzentration im Wasser mol O_3 /g H_2O

$$p_i = \frac{c_i^G \cdot R \cdot T}{M_i}$$

c_i^G : Theoretische Ozon-Sättigungskonzentration in der Gasphase in g/mol

R : Universelle Gaskonstante: 8,3143 J/(molK)

T : Temperatur in Kelvin

M_i : Molmasse für Ozon in g/mol

Praktische Löslichkeiten liegen jedoch deutlich darunter, da die technischen Eintragungssysteme mit Verlusten behaftet (Wirkungsgrad < 1) sind und der auftretende Ozonzerfall nicht zu vernachlässigen ist.

Der Ozonzerfall kann in der Praxis vermindert werden, wenn die Ozonkonzentration so eingestellt wird, dass diese zur **Oxidation der Wasserinhaltsstoffe gerade noch ausreicht**. Hierbei sollte jedoch beachtet werden, dass mit der Zunahme der Zerfallsgeschwindigkeit auch eine Steigerung der Reaktionsgeschwindigkeiten des Ozons verbunden ist. Grundsätzlich ist für den Einsatz im Bereich der Abwasserbehandlung die Zielsetzung einer **vollständigen Reaktion des Ozons ohne einer Restozonkonzentration im Ablaufwasser wesentlich**.

Für die Temperatureinstellung gilt auf der einen Seite bei höheren Temperaturen eine niedrigere Ozonlöslichkeit, zum anderen aber auch den Ozonzerfall und damit die Bildung von reaktionsfreudigem atomarem Sauerstoff fördert.

Für die technische Umsetzung einer Ozonung in kommunalen Kläranlagen bedarf es u.a. nach /Kom-BW 1/ folgender Komponenten:

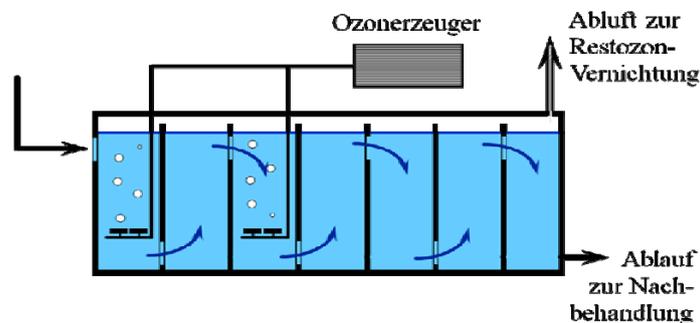
- Ozongenerator: Mit dem Ozongenerator wird das benötigte Ozon aus Sauerstoff oder Trockenluft vor Ort produziert. Die Ozonerzeugung ist energieintensiv und erzeugt so viel Wärme, dass eine Kühlung erforderlich ist.
- Kontaktreaktor: Im Kontaktreaktor wird das Ozon in das Abwasser eingeleitet. Hier reagiert das Ozon mit den Spuren- und anderen Abwasserinhaltsstoffen. Um eine hohe Eliminationsleistung und effiziente Nutzung des Ozons zu erzielen, muss die Verweilzeit im Reaktor ausreichend lang sein. Dies kann bspw. durch eine Kaskadierung des Reaktors erzielt werden. Der Reaktor muss gasdicht verschlossen sein, so dass keine Gefährdung des Betriebspersonals durch austretendes Ozon besteht.
- Abgasbehandlung: Diese Komponente dient der Vernichtung des Restozons in der Abluft des Reaktors.
- Nachbehandlung: Zur Entfernung der entstehenden Transformationsprodukte empfiehlt sich die Nachschaltung eines biologisch aktiven Verfahrens (z.B. Sandfilter, Schönungsteich...) oder eines Aktivkohlefilters.

- MSR-Techniken zur Prozessregelung.
- Sicherheitstechniken: Zum Schutz des Betriebspersonals vor dem stark reizenden Ozon sind geeignete Sicherheitstechniken zu installieren.

/KomBW 1/

Abbildung 2-18 zeigt einen solchen kaskadierten Ozonierungsreaktor nach /Gujer 1/ mit einem Ozoneintrag über Diffusoren.

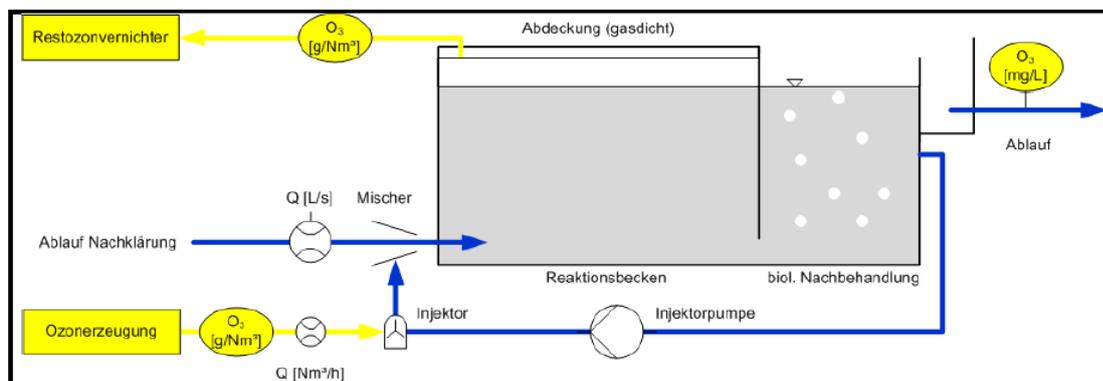
Ozonierungsreaktor: Kaskade



Quelle: /Gujer 1/

Abbildung 2-18 Beispielhaft dargestellter Ozonierungsreaktor /Gujer 1/

Im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung mit vergleichsweise großen Abwasserströmen werden alternativ Injektor- oder Diffusorsysteme eingesetzt. Die folgende Abbildung 2-19 zeigt die Eintragsystem nach /Grontmij 1/ schematisch, wie diese alternativ auf der Kläranlage Duisburg-Vierlinden erprobt wurden.



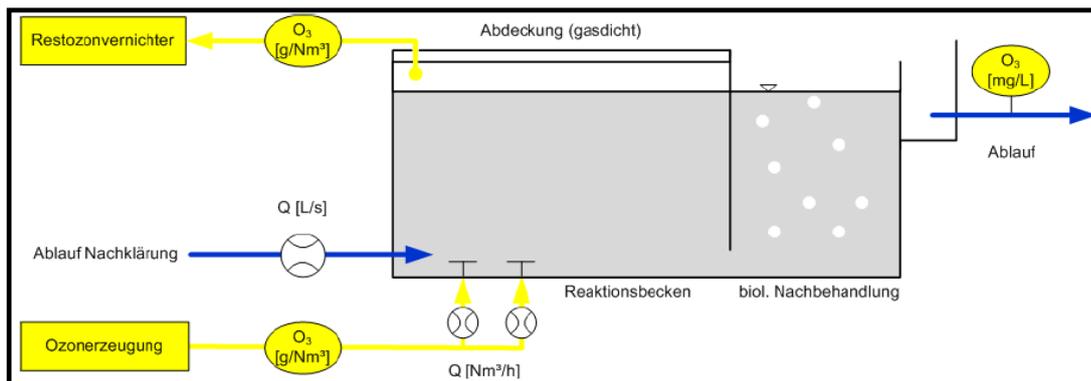


Abbildung 2-19 Alternative Verfahrensführung innerhalb einer Ozonierung /Grontmij 1/

Lieferanten und Hersteller von Ozon bzw. von Anlagen zur Ozonerzeugung- und dosierung sind in /Cluster Umwelt 2/ zusammengestellt worden. Beispielhaft sind hier die Firmen Pro Minent und Wedeco/xylem genannt, die im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung weitgehend aus anderen Anwendungen bekannt sind.

Die Abbildungen 2-20 und 2-21 zeigen die Anlagen zur Ozonerzeugung und einer Versuchsanlage der Firma xylem/Wedeco /Wedeco 1/



Abbildung 2-20: Ozon-Generator sowie eingepertelte Ozon-Blasen /Wedeco 1/

WEDECO Ozonsysteme wurden bereits für mehrere nationale wie internationale Projekte zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen eingesetzt und erprobt:

- EU-Projekt POSEIDON, Kläranlage Braunschweig Januar 2001 - Juni 2004 (Projekt-Nr. EVK1-CT-2000-00047)
- Nationales Projekt der Schweiz „Strategie MicroPoll“, Kläranlage Wüeri in Regensdorf, Juli 2007 -Oktober 2008
- Projekt „PILOTOX“, TU Berlin, Kläranlage Berlin Ruhleben, Dezember 2004 - Juli 2005
- EU-Projekt POSEIDON, EAWAG, Kläranlage Zürich/ Opfikon, November 2003
- Forschungsprojekt an der Universität Stuttgart, Kläranlage Bösau, Dezember 2003 - Mai 2005
- Projekt „KomOzon“, TU Wien, Kläranlage Wien, 2007 - 2009



WEDECO Ozonanlage auf der Kläranlage Wüeri in Regensdorf, Schweiz

Quelle: www.xylem.com/wedeco

Abbildung 2-21 Foto und Steckbriefe einer Versuchsanlage/ Wedeco 1/

Alternativ stehen, wie eingangs schon erwähnt und oben aufgeführter Liste (Abbildung 2-15), neben Ozon auch andere Oxidationsmittel zur Verfügung. Als Advanced oxidation processes (AOP) wird Oxidation der Abwasserinhaltsstoffe durch Hydroxyl-Radikale ($\cdot\text{OH}$) bezeichnet. Die Radikale sind hoch reaktiv (+2,8 V). Sie reagieren sehr schnell und unselektiv mit „allen“ organischen Verbindungen. Zum Einsatz in der Abwasserreinigung müssen sie vor Ort hergestellt werden. Folgende Verfahrenskombinationen werden für die Radikalbildung eingesetzt /Kom-BW 1/:

- Ozonung und Zugabe von Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
- Ozonung und Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV)
- Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV) und Zugabe von Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
- Bestrahlung mit ultraviolettem Licht (UV) und Zugabe von Titan(IV)-oxid (TiO_2)
- Fenton's Reagenz (Fe^{2+} und H_2O_2)

AOP werden oft zur Reinigung industrieller Abwässer, in denen problematische Stoffe in hohen Konzentrationen vorliegen, eingesetzt. **In der kommunalen Abwasserbehandlung finden sie jedoch kaum Anwendung. Die bisherigen Erkenntnisse basieren auf Laborversuchen und vereinzelt Pilotprojekten.**

AOP zeigen im Gegensatz zur Ozonung eine höhere Spurenstoffeliminationsrate. Sogar persistente Stoffe, die mit einer Ozonung nur schlecht zu entfernen sind, können zu einem relativ hohen Umfang im

Abwasser verringert werden. Die Effizienz der Verfahren hängt wiederum von der Abwassermatrix ab, da die OH-Radikale ebenfalls mit anderen Abwasserinhaltsstoffen reagieren /Kom-BW1/. Daher bieten diese AOP noch Potenziale, die aber erst noch erforscht und letztendlich auch für einen großtechnischen Einsatz erprobt werden müssen bzw., es muss geklärt werden, ob die technische Möglichkeit eines großtechnischen Einsatzes wirtschaftlich möglich ist.

2.4 Adsorption an Pulver- oder granulierter Aktivkohle

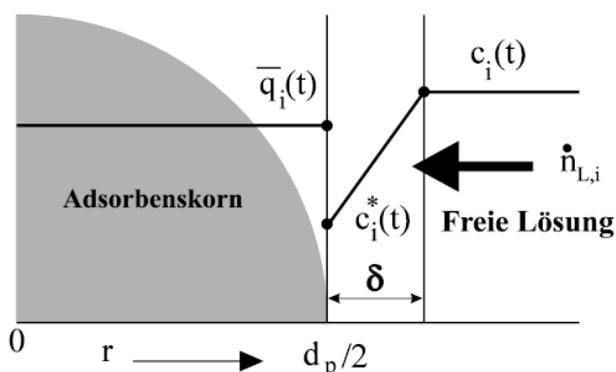
Bei der Adsorption handelt es sich um ein physikalisch-chemisches Trennverfahren. Unter Adsorption versteht man die Anlagerung einer Komponente (Adsorptiv) aus einem gasförmigen oder flüssigen Gemisch an der Oberfläche eines festen Stoffes (Adsorbens), hier die Aktivkohle.

Im Bereich der kommunalen Kläranlage ist die Adsorption an Aktivkohle u.a. zur Klärgasreinigung unter der Anforderung zur Schwefelwasserstoff und Siloxane elimination vor der Verbrennung im BHKW bekannt.

Zur Einstellung des Gleichgewichtes in/ an den Phasen müssen verschiedene Transportwiderstände überwunden werden; dabei laufen folgende Einzelschritte ab, die die Adsorptionskinetik bestimmen:

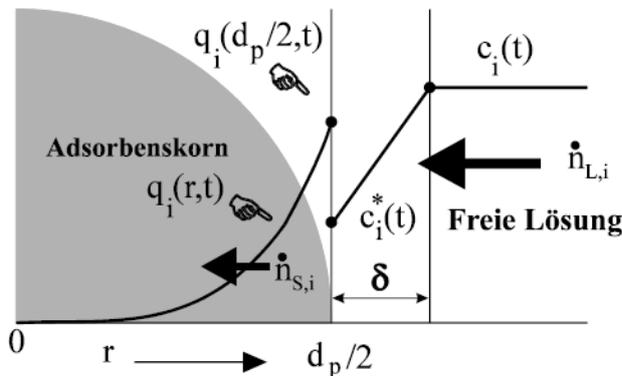
- Transport der Moleküle aus der Gas- oder Flüssigphase an die äußere Adsorbensoberfläche (Grenzfilmdiffusion)
- Porendiffusion in das Korninnere
- Adsorption der Moleküle.

Der Stofftransport eines Stoffes i aus der Lösung zum Adsorbens wird in /Hobby 1/ gemäß folgender Abbildung 2-22 dargestellt.



Quelle: /Hobby1/

Der Stofftransport eines Stoffes i in das Adsorbens erfolgt dann gemäß folgender Abbildung 2-23.



Quelle: /Hobby 1/

Abbildung 2-23 Konzentrationsprofil/ Stofftransport im Adsorbens /Hobby 1/

Da die Bindungskräfte zwischen den einzelnen Atomen des Feststoffverbandes nicht vollständig sind, entstehen sogenannte "aktive Zentren", wo bevorzugt Fremdmoleküle adsorbiert werden; hierbei wird Adsorptionswärme frei. Bei abnehmender Adsorptivkonzentration und zunehmender Temperatur nimmt die im Gleichgewichtszustand adsorbierte Stoffmenge ab.

Zur Abwasserreinigung setzt man Adsorptionsverfahren dann ein, wenn es darum geht, biologisch schwer oder nicht abbaubare Stoffe zu eliminieren bzw. toxische Einflüsse zu vermeiden. Aktivkohle wird z.B. schon seit langem erfolgreich bei der Trinkwasseraufbereitung eingesetzt /Hobby 1/.

Auch für die Behandlung vglw. schwieriger Abwässer der Industrie sowie der Sickerwasser aus Deponien wird das Verfahren der Aktivkohleadsorption seit Jahren eingesetzt. Oft sind aber in Fällen hoher Zulaufwerte/-konzentrationen die Ablaufwerte bei Einsatz der Aktivkohleadsorption **als Einzelverfahren unbefriedigend (schnelle Beladung/ Beladung mit den falschen Stoffen etc.) bzw. der Betrieb ist unwirtschaftlich**. Daher wird die Aktivkohle-Adsorption in diesen Anwendungsfällen in der Regel in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt.

Bei der Herstellung von Aktivkohle wird, wie aus dem Namen ableitbar, die Möglichkeit zur Aktivierung von „Kohlen“ genutzt. Unter einzustellenden Bedingungen (Temperatur etc.) werden Teile des Kohlenstoffgerüsts selektiv abgebaut. Durch die dabei entstehenden Poren, Spalten und Risse wird die auf das Volumen/ Masse der Aktivkohle bezogene Oberfläche erheblich größer. Die innere Oberfläche handelsüblicher Sorten liegt zwischen 400 und 1.500 m^2/g . /Enviro Consult 1/.

Abbildung 2-24 zeigt die Porenstruktur einer aktivierten Kohle /EAWAG 1/.

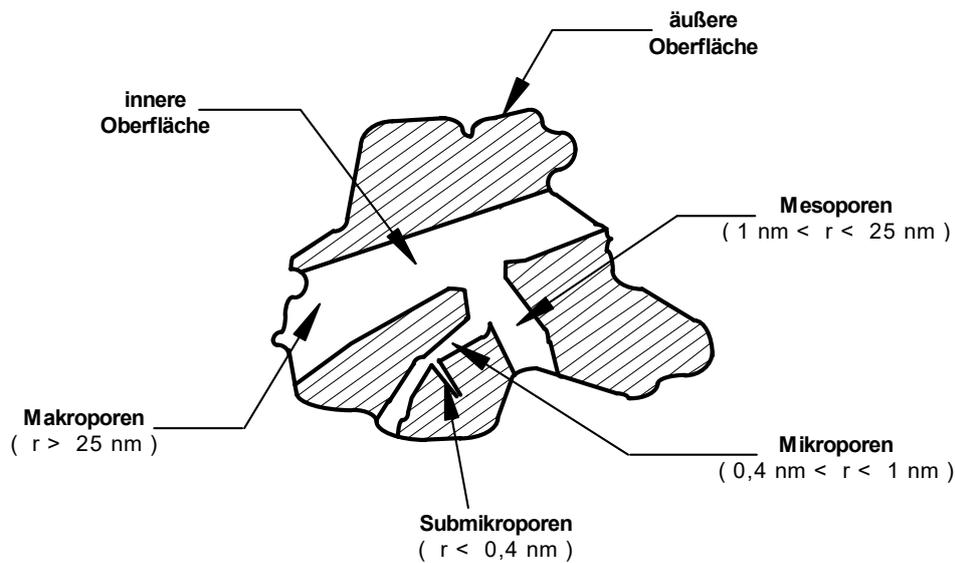


Abbildung 2-24 typische Porenstruktur von Aktivkohle /EAWAG 1/

Hergestellt wird die Aktivkohle entweder mittels Gasaktivierungsverfahren oder chemischer Aktivierung. Das Verfahren der Gasaktivierung geht von bereits verkohlten Rohstoffen aus. Holzkohle, Torfkoks und Kokosnusshohle, aber auch Steinkohle, Braunkohle und Lignit dienen als Ausgangsmaterial. Des Weiteren werden Olivenkerne als Rohstoff zur Herstellung von Aktivkohle verwendet. Bei Temperaturen zwischen 700 und 1.100 °C wirken Wasserdampf und Kohlendioxid bzw. ein Gemisch dieser Gase auf die kleinstückigen Rohstoffe teilweise unter geringer Luftzugabe ein.

Die zugrunde liegende Zusammensetzung der Rohstoffe beeinflusst die späteren Charakteristika und die Leistungsfähigkeit der Aktivkohle maßgeblich. Häufig wird das Ausgangsmaterial, i.d.R. in stark zerkleinerter Form, einer zweistufigen Pyrolyse ausgesetzt. Wobei in der ersten Stufe bei Temperaturen von >300°C die Abspaltung von Wasser erfolgt und ein Teil der unerwünschten flüchtigen Bestandteile ausgetrieben wird, wodurch erste Hohlräume und poröse Strukturen entstehen. Im zweiten Schritt wird das Material in Gegenwart von inerten Gasen bei Temperaturen von 600 - 900°C zu graphitähnlicher Struktur gebracht./Eawag 2/.

Dabei muss die Reaktion durch entsprechende Wahl der Verfahrensbedingungen so geführt werden, dass sich die innere Oberfläche und das Porenvolumen mit zunehmendem Abbrand bzw. Gewichtsverlust stark vergrößert. Der bei der partiellen Vergasung entstehende Gewichtsverlust an Kohlenstoff wird als Aktivierungsgrad bezeichnet. Die verschiedenen Variationsmöglichkeiten des Verfahrens und die Vielzahl der Ausgangsstoffe liefern eine nahezu unbegrenzte Anzahl von Aktivkohlesorten. Die folgende Abbildung 2-25 zeigt die Struktur der Aktivkohlen nach /Gujer 1/ je nach Einsatzstoff und Verfahren.

Aktivkohle

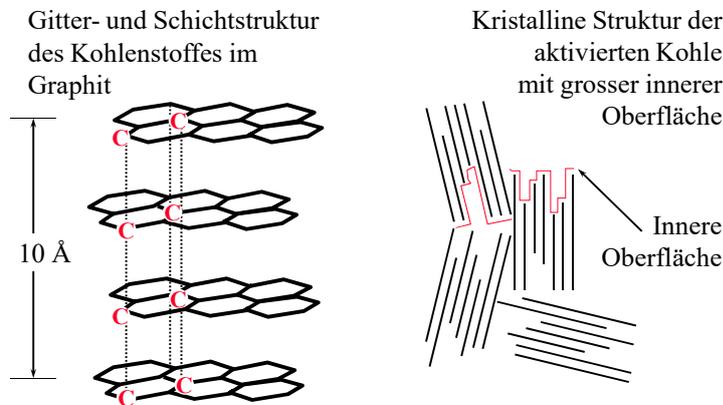


Abbildung 2-25

Strukturen der Aktivkohle /Gujer 1/

Für die chemische Aktivierung wählt man meist unverkohlte, pflanzliche Rohstoffe, wie z.B. Sägemehl oder Torf, die mit wasserentziehenden Chemikalien (Phosphorsäure oder Zinkchloridlauge) getränkt werden. Kennzeichnend für die chemische Aktivierung ist, dass ein unverkohlter Rohstoff mit einer wasserentziehenden Chemikalie gemischt und anschließend unter Luftabschluss bei 400 – 600 °C karbonisiert wird. Durch die chemische Aktivierung kann in nur einem Verfahrensschritt eine Aktivkohle mit guten Adsorptionseigenschaften hergestellt werden. Bei den eingesetzten Rohstoffen haben Torf und Holz (Sägemehl, zellulosehaltige Reststoffe) die größte technische Bedeutung erlangt. Nach der Entfernung der Aktivierungschemikalie durch eine Wäsche verbleibt eine Aktivkohle mit guten Adsorptionseigenschaften./www.CarboTech.de/

Beim Erhitzen wird den Rohstoffen Wasser entzogen, und es bleibt ein poröses Kohlenstoffgefüge zurück. Die Variationen der Maischeverhältnisse und die Art der Erhitzung führen auch hier zu sehr unterschiedlichen Aktivkohlesorten. Die Aktivkohledichte schwankt zwischen 0,4 und 0,8 g/cm³.

Zur Klassifizierung von Aktivkohlen werden u.a. folgende Parameter herangezogen:

- Dichte
- Jodzahl
- Methylenblauadsorption.

Die scheinbare Dichte ist die spezifische Masse einer Aktivkohle ohne Zwischenkornvolumen. Die erhaltenen Werte schwanken bei Aktivkohlen zwischen 0,4 und 0,6 g/cm³. Die wahre Dichte einer Aktivkohle ist die Dichte ihres Kohlenstoffgerüsts (im Festkörper, ohne Porenanteil). Diese liegen bei handelsüblicher Aktivkohlen bei 2,0 bis 2,1 g/cm³.

Unter der Jodzahl einer Aktivkohle versteht man die Jodmenge in Milligramm, die ein Gramm dieser Kohle in gepulvertem Zustand aus einer verdünnten Jodlösung zu adsorbieren vermag.

Die Adsorption von Methylblau erlaubt Hinweise auf die Oberfläche einer Aktivkohle, die in Poren mit Durchmessern größer als 15×10^{-10} m vorliegt. Der Methylblautiter wird mit einer Methylblaustandardlösung bestimmt, in dem 200 mg gepulverte, trockene Aktivkohle mit steigenden Mengen der Methylblaulösung jeweils 5 Minuten geschüttelt werden.

Entscheidend für die Adsorption ist der Stofftransport, der aufgrund des Konzentrationsgefälles zwischen den Phasen gasförmig/fest bzw. flüssig/fest stattfindet. In der Praxis haben sich zur Charakterisierung sogenannte Adsorptionsisothermen bewährt. Zwischen der adsorbierbaren Substanz und der in Lösung verbleibenden Restkonzentration stellt sich ein Gleichgewicht ein. Die Abhängigkeit der Beladbarkeit einer Aktivkohle von der Restkonzentration bei konstanter Temperatur wird in solchen Isothermen dargestellt. /Enviro Consult 1/ /Hobby 1/.

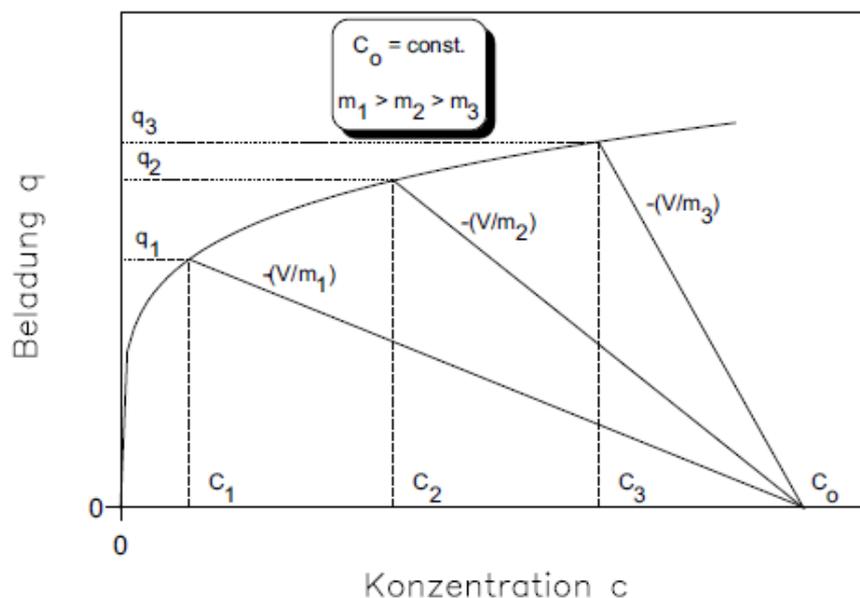


Abbildung 2-26

beispielhafte Adsorptionsisotherme /Hobby 1/

Bei der Adsorption handelt es sich um einen exothermen Prozess, bei dem die Phasenumwandlungsenergie frei wird (z.B. gelöster CSB-Anteil dann in der Pore als „Feststoff“ adsorbiert). Die gleiche Energie muss dem System bei der Desorption (z.B. der Regenerierung von A-Kohle vor der Wiederverwendung) zugeführt werden, um die adsorbierten Moleküle von der Oberfläche zu entfernen. Es können unterschiedliche Aktivkohlesorten eingesetzt werden, wobei Aktivkohle aus Kokosnussschale wegen ihrer Härte und Verschleißfestigkeit am häufigsten verwendet wird. Gemäß Abbildung 2-27 weist die A-Kohle, z.B. in Anhängigkeit des Korndurchmessers, recht unterschiedliche Beladungskapazitäten auf.

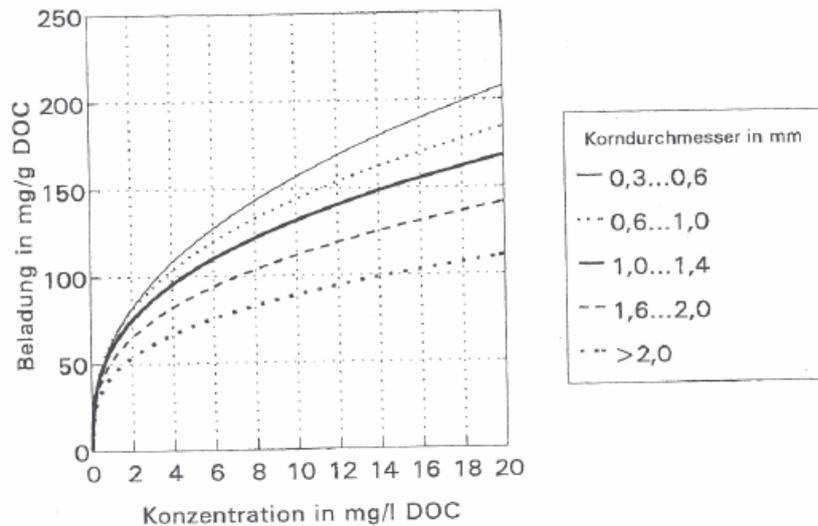


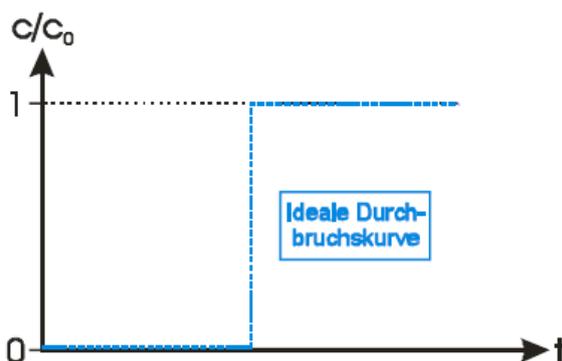
Abbildung 2-27 beispielhaft die Adsorptionsisotherme von DOC als f (Korngröße)

Der Auswahl einer geeigneten A-Kohle für den jeweiligen Anwendungsfall unter den technischen Randbedingungen kommt in Bezug auf die wirtschaftliche Spurenstoffelimination höchste Priorität zu.

Zur Spurenstoffeliminierung im kommunalen Abwasser zeigt sich z.B. nach /nordicwater 1/ steinkohlebasierte als effektivste Aktivkohle./www.nordicwater.de/.

Beladung und Durchbruch von A-kohle

Ist die Aktivkohle zum Zeitpunkt t_1 zu 100 % beladen, ergibt sich der folgende theoretische Fall des Durchbruchs eines Stoffes von „null auf hundert“ zu diesem Zeitpunkt gemäß Abbildung 2-28 /Hobby 1/.



Quelle: /Hobby 1/

Abbildung 2-28 theoretischer Durchbruch einer A-kohle / Hobby 1/ von null auf 100 % bei t_1

In der Praxis ist das Durchbrechen eines Stoffes ein über die Zeit / Beladung sich progressiv entwickelnder Prozess. Im Rahmen dieses „schleichenden“ Prozesses, erfolgt der Austausch der A-Kohle

zum Zeitpunkt t dann, wenn die durchbrechende Menge nicht mehr akzeptabel ist, bis eine Grenzkonzentration überschritten wird.

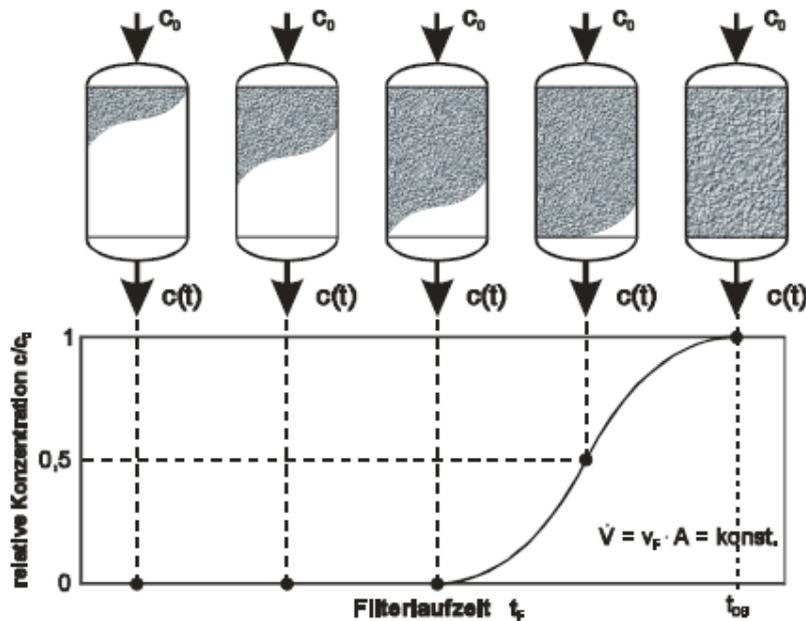


Abbildung 2-29 „schleichender Prozess des Durchbrechens“ einer A-Kohle /Hobby 1/

Als Entscheidungshilfe für oder gegen den Einsatz von PAK bzw. GAK können die im Folgenden aufgeführten Gesichtspunkte dienen /EAWAG 2/.

Tabelle 2-1 Vor- und Nachteile einer PAK Dosierung im Vergleich zu GAK /EAWAG 2/

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • Deutlich geringere Kohlemenge für die gleiche Eliminationsleistung erforderlich, da Aktivkohlefilter durch DOC-Vorbelegung an Sorptionskapazität verliert (Boller et al., 2008) 	<ul style="list-style-type: none"> • Regenerierung der Pulverkohle bislang unwirtschaftlich, Entsorgungsproblematik
<ul style="list-style-type: none"> • Schnellere Adsorptionskinetik aufgrund kürzerer Diffusionswege 	<ul style="list-style-type: none"> • Belastung des Wassers durch Feststoffe macht i.d.R. eine nachgeschaltete Filtration erforderlich
<ul style="list-style-type: none"> • Dosiermenge je nach Bedarf variierbar. Möglichkeit der zeitlich begrenzten Anwendung nach Bedarf. 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Zusätzliche Abscheidung von Trübstoffen
<ul style="list-style-type: none"> • Kein Konzentrationsanstieg über den Zulaufwert durch Durchbucheffekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Unter Umständen: Gefahr der Staubeentwicklung
<ul style="list-style-type: none"> • Bei Mehrstufiger Anwendung: Gute Ausnutzung der Adsorptionskapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • Bei einstufiger Anwendung: Schlechte Ausnutzung der Adsorptionskapazität aufgrund tiefer Ablaufkonzentration

In Abbildung 2-30 ist beispielhaft die Untersuchungsanlage auf der Kläranlage Rietberg dargestellt.



Quelle: www.nordicwater.com Kläranlage Rietberg „CarbonFilter“

Abbildung 2-30 GAK-Filteranlage auf der Kläranlage Rietberg /nordicwater 1/

Beispielhaft sind im Folgenden einige Anbieter von Aktivkohle sowie deren Aktivkohle-Produkte aufgeführt /Cluster Umwelt 1/. Die dort aufgeführte Firma Brockhaus Umwelt /Brockhaus 1/ macht u.a. folgende Angaben zu A-Kohlen, insbesondere auch zum Druckverlust eine GAK-Filter. Dieser Druckverlust ist für die Auslegung (Filtergeschwindigkeit/ Überstau etc.) der Filterfläche und der sinnvollen Filterbetthöhe von entscheidender Bedeutung. Zu beachten ist auch das „Bettausdehnungsverhalten“ der Kohlen bei unterschiedlichen Geschwindigkeit vor dem Hintergrund ausreichender Beckenvolumina.

Tabelle 2-2 technische Eckdaten von verschiedenen A-kohlen /Brockhaus 1/ K 835 u. K 814

Typische Eigenschaften		K835	K814
Aussehen		Kornkohle	Kornkohle
Körnung	mm	0,5 - 2,5	1,4 – 2,5
Schüttdichte	Kg/m ³	500 +/- 25	475 +/- 25
Wassergehalt, Abpackung, max.	%	5	5
Chlorhalbwertslänge, typisch	cm	3	5
Jodzahl, minimum	m/g	1050	1050
Spezifische Oberfläche, BET-Methode	m ² /g	1100	1100

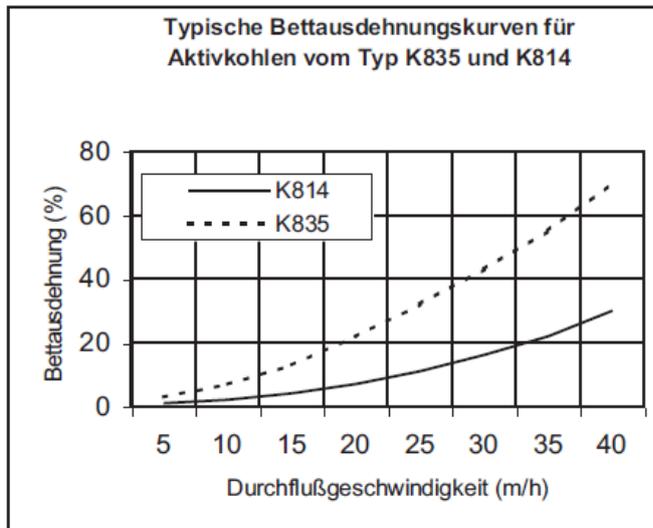


Abbildung 2-31 Betaausdehnung in als f (Durchflußgeschw.) /Brockhaus 1/ K 814 u. K 835

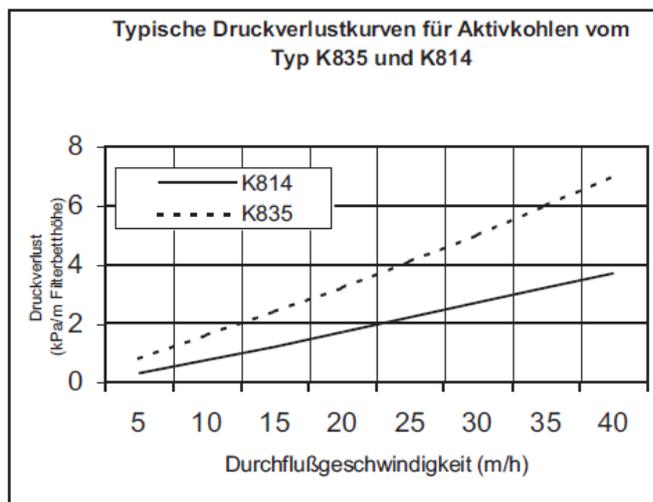


Abbildung 2-32 Druckverlust als f (Durchflußgeschw.) /Brockhaus 1/ K 814 u. K 835

Die folgenden Tabellen 2-3 und 2-4 geben einen beispielhaften Ausschnitt der verfügbaren A-Kohlen wieder /KomNRW 1/. Anhand dieser kleinen Auswahl ist zumindest eine erste Orientierung bzgl. der spezifischen Kennzahlen von A-Kohlen möglich.

Tabelle 2-4 zeigt technische Daten über die Aktivkohle auf Steinkohle-/ Kokosbasis der Fa. CarboTech AC GmbH

Tabelle 2-4 technische Eckdaten von A-Kohlen der CarboTech /KomNRW 1/

Produkte								
Aktivkohle (Kornkohlen):								
Bezeichnung	Spezifikation						Einsatzbereich	
	Rohstoff [-]	Form [-]	Wassergehalt [Gew.%]	Jodzahl [mg/g]	Korngröße (D ₅₀) [mm]	Rütteldichte [g/ml]	TW	AW
CarboTech DGF A 8x30/55 oder 12x40/55	Steinkohle	Granulat	max. 5	850	1,6 1,1	625	x	
CarboTech DGF AX 8x30/65 oder 12x40/65	Steinkohle	Granulat	max. 5	950	1,6 1,1	420	x	
CarboTech DGF AX 8x30/75 oder 12x40/75	Steinkohle	Granulat	max. 5	1.000	1,6 1,1	425	x	
CarboTech DGK 8x30/55 oder 12x40/55	Kokosnussschalen	Granulat	max. 5	1.000	1,6 1,2	520	x	
CarboTech DGK 8x30/60 oder 12x40/60	Kokosnussschalen	Granulat	max. 5	1.050	1,6 1,2	490	x	
CarboTech PAK C 1000 C	Kokosnussschalen	Pulver	max. 8	950	<0,1	500	x	
CarboTech Pool W1-3	Steinkohle	Granulat	max. 15	MB: 20	1,6	430		x

*TW = Trinkwasser; AW = Abwasser

Tabelle 2-5 zeigt beispielhaft die Aktivkohlendaten auf Steinkohle-/ Kokosbasis der Fa. Jacobi GmbH

Tab. 2-5 technische Eckdaten von A-Kohlen der Jacobi /KomNRW 1/

Produkte						
Aktivkohle (Korn- und Pulverkohlen):						
Bezeichnung	Spezifikation					
	Rohstoff [-]	Form [-]	Wassergehalt [Gew.%]	Jodzahl [mg/g]	Korngröße (D ₅₀) [mm]	Rütteldichte [g/ml]
AquaSorb 2000	Steinkohle	Granulat	max. 5	min. 950	1)	500 ²⁾
AquaSorb 6300	Steinkohle	Granulat	max. 5	min. 1.000	1)	430 ²⁾
AquaSorb 7300	Steinkohle/ Kokoskohle	Granulat	max. 5	min. 1.000	1)	470 ²⁾
AquaSorb CS	Kokoskohle	Granulat	max. 5	min. 1.000	1)	500 ²⁾
AquaSorb BP2	Steinkohle	Pulver	max. 5	min. 850	0,027 ³⁾	–
AquaSorb CP1	Kokoskohle	Pulver	max. 5	min. 1.000	0,027 ³⁾	–
AquaSorb 5000P	Braunkohle	Pulver	max. 5	min. 1.100	0,027 ³⁾	–

1) Versch. Körnungen erhältlich

2) Apparent density – typischer Wert

3) 50 für PAC-S – weitere Körnungen auf Anfrage

Als Fazit der nach aktuellem Kenntnisstand sinnvoll nutzbaren Verfahren wurde von Abelggen /Abelggen 1/ insbesondere für die Schweiz im Jahr 2012 Folgendes festgehalten:

- „ - Nach heutigem Kenntnisstand sind insbesondere der Einsatz von Aktivkohle oder Ozon für eine weitgehende Elimination von Mikroverunreinigungen geeignet und auch in bestehende Anlagen integrierbar. Dabei ist anzumerken, dass keine Verfahren bekannt sind, die alle Mikroverunreinigungen mit vertretbarem Aufwand vollständig zu entfernen vermögen.
- Sowohl die Behandlung mit Aktivkohle als auch mit Ozon erwiesen sich in Pilotversuchen als geeignet, eine große Zahl von Mikroverunreinigungen weitgehend aus dem Abwasser zu entfernen. Daneben wurde nachgewiesen, dass nachteilige Effekte auf Wasserlebewesen (z.B. Hormonaktivität) verringert werden und sich beispielsweise Regenbogenforellen besser entwickeln können.
 - Für andere Verfahren, wie beispielsweise GAK, dichte Membranen, AOP etc. liegen entweder noch nicht genügend Erfahrungen vor, um eine zuverlässige Aussage über deren Eignung zu machen, oder es sprechen heute noch ökonomische, technische und/oder betriebliche Gründe gegen ihren Einsatz. Mit steigender Erfahrung und fortschreitender technologischer Entwicklung werden in Zukunft weitere Verfahren zur Verfügung stehen.“

Ergänzend kann für die BRD festgehalten werden, dass u.a. mit den Anlagen „Obere Lutter“, Neuss-Ost und Düren-Merken sowie dem FuE-Vorhaben „Mikroflock“ bereits Projekte/ Erfahrungen aus dem Einsatz von GAK vorliegen /Mertsch 1/ /ISA 1/.

3. Erprobte Verfahrensalternativen auf kommunalen Kläranlagen

Zur Erarbeitung der verfahrenstechnischen Konzepte „Elimination der Mikroschadstoffe“ werden als Grundlagen-/ Basisdaten u.a. die vorhandenen baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten aufgenommen und analysiert sowie eine Laboranalyse der Leitsubstanzen erstellt (siehe folgende Kapitel 4 und 5). Es sind u.a. die folgenden Daten relevant:

- Betrachtung und Analyse von ggf. zu erwartenden, besonderen Belastungen aufgrund der Einleitersituation/ Einzugsgebietes
- Auswertung der Abwassermengen (u.a. DWA Merkblatt 198) und Ableitung der Bemessungswassermenge der biologischen Stufe/ Filterstufe/ Stufe zur Spurenstoffelimination.

Die ermittelten, für die Kläranlage Siegen relevanten Verfahrenskonzepte werden unter Berücksichtigung des Standes der Technik und der Wissenschaft (siehe im Folgenden aufgeführte, untersuchte und z.T. auch schon großtechnisch erprobte Verfahrenskonzepte) im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie als Lageplanskizze und Verfahrensschemata zeichnerisch umgesetzt.

Dabei hat sich die Auswahl geeigneter, wirtschaftlicher Verfahren in den letzten 10 Jahren gewandelt. Standen noch 2005 /siehe Tabelle 3-1 Dohmann 1/ u.a. die Membranverfahren (MBR mit MF oder UF sowie die NF oder UO ggf. als zweite Stufe als aussichtsreiche Technik im Focus der Fachwelt, sind es heute im Wesentlichen die „Ozonung“ und die „Aktivkohle“. Schlussendlich sind die Membranverfahren insbesondere die NF und UO nur unter erheblichem Energieaufwand zu betreiben, so dass sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die ökologische Seite derzeit kritisch zu bewerten ist.

Diesbezüglich sind die Erkenntnisse und Erfahrungen durch etliche Forschungsvorhaben mit Pilotanlagen und den ersten großtechnischen Realisationen deutlich gewachsen, siehe u.a. /Mertsch 1/. Dabei haben sich die Membranverfahren als Neukonzeption aufgrund des höheren Energieverbrauchs/ ökologische und wirtschaftlich (bisher) nicht durchgesetzt.

Tabelle 3-1 Bewertung der Verfahrenskombinationen zur Spurenstoffelimination /Dohmann 1/

Spurenstoffgruppe		Herkunft	prozentuale Anteile	Mögliche Verfahren zur Elimination	spezifische Kosten [€/m ³]
Gruppe I	Pflanzenbehandlungs- und schutzmittel PBSM	landwirtschaftliche Betriebe Kleingartenanlagen	> 95 %	Gruppe I: KA	0,30 - 0,50
Gruppe I+II	PAK	Ubiquitär		Gruppe I + II: KA <u>ergänzend</u> +SF + MBR(MF, UF)	0,30 - 0,50
	Zinnorganika	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Haushalte ▪ Industrie 	gering hoch		0,05 - 0,15 0,05 - 0,15
Gruppe II	natürliche Estrogene	Haushalte	> 80 %	Gruppe II: KA <u>ergänzend</u> +SF +MF, UF	0,30 - 0,50
	Chlorbenzole	Industrie	> 80 %		0,05 - 0,15
	synthetische Moschusduftstoffe	Haushalte	> 90 %		0,05 - 0,15
	nichthalogenierte Organophosphate	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Haushalte ▪ Industrie ▪ Auswaschungen aus der Luft 	ca. 40 % ca. 40 % ca. 20 %		0,05 - 0,15
Gruppe III	halogenierte Organophosphate , Weichmacher (Flammschutzmittel)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abschwemmung landwirtschaftl. Flächen 		Gruppe III: <u>Grundreinigung:</u> KA+(MF, UF) KA+SF <u>ergänzend</u> + AK +Ozon +UV	0,35 - 0,55 0,35 - 0,55
	Xenoestrogene Stoffe	Industrie	> 80 %		0,10 - 0,25 0,10 - 0,15 0,03 - 0,06
Gruppe I + II + III	Pharmaka	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diffus: Haushalte ▪ Punktuell: Krankenhäuser, Altenheime 	80 – 90 % 10 – 20 %	Gruppe I: KA Gruppe II: <u>ergänzend</u> +SF +MF, UF Gruppe III: <u>Grundreinigung:</u> KA+MF, UF KA+SF <u>ergänzend</u> + AK +Ozon +UV + NF	0,30 - 0,50 0,05 – 0,15 0,05 – 0,15 0,35 – 0,55 0,35 – 0,55 0,10 – 0,25 0,10 – 0,15 0,03 – 0,06 0,15 – 0,35
Anmerkungen: KA konventionelle Kläranlage MF, UF integrierte Mikro-Ultrafiltration NF Nanofiltration AK Aktivkohlefiltration		Hinweise: Es sind angegeben die Grundreinigungsverfahren und zusätzlich mögliche chemisch-physikalische Verfahren, die in Abhängigkeit vom zu eliminierenden Stoff ausgewählt werden müssen.			

Quelle: /Dohmann 1/ u.a. Gruppe I-III gemäß Klassierung nach MUNLV

Basis der aktuellen Arbeiten zur Mikroschadstoffentfernung stellen je nach Randbedingungen und Möglichkeiten die Ozonung oder Adsorption an Aktivkohle dar. Diese Verfahren werden dann in die in der Regel vorhandene Anlagentechnik (Belebungsstufe/ Nachklärbecken/ ggf. Filtration) einer Kläranlage integriert bzw. um eine Kontaktbecken/ Absetzbecken/ Filtrationsstufe ergänzt. Abbildung 3-1 zeigt die gemäß heutigem Wissenstand relevanten Verfahren (-kombinationen) /UBA 1/

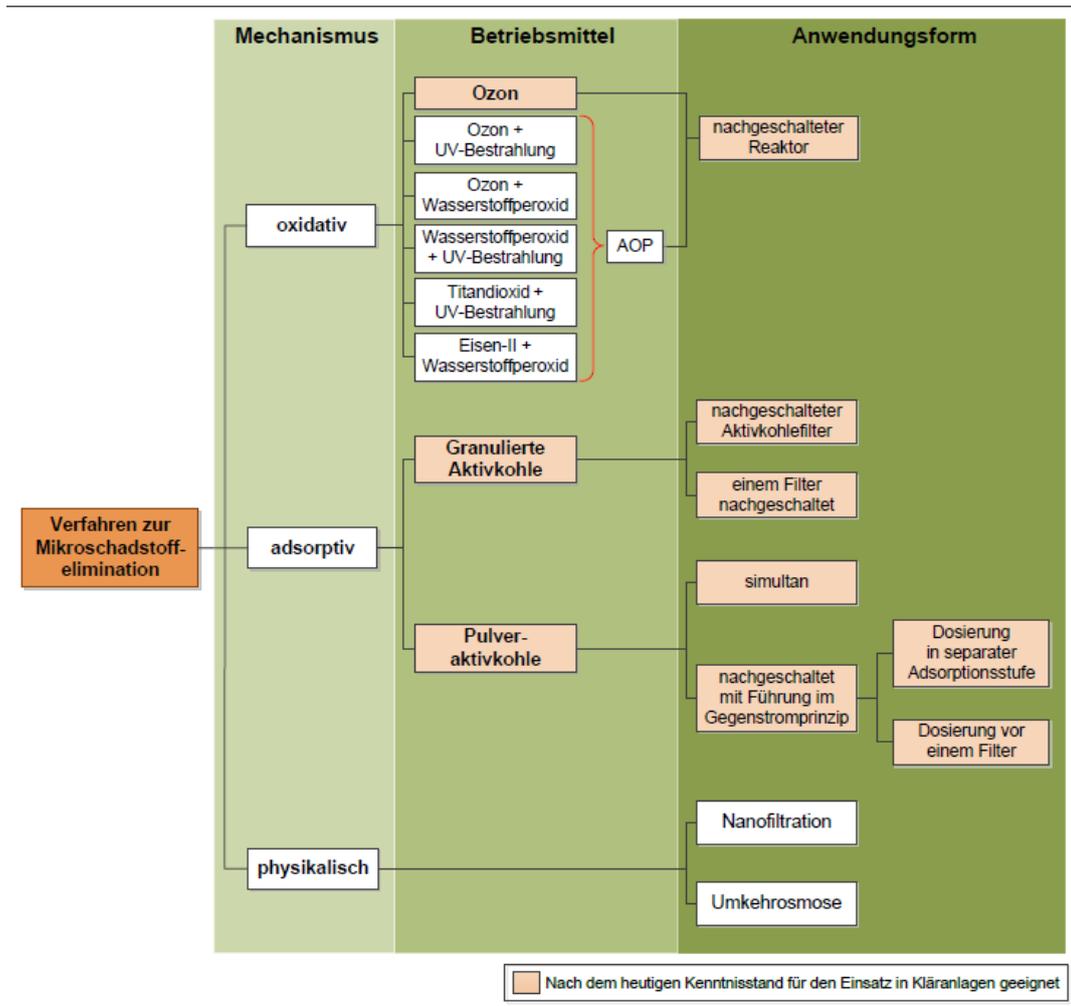


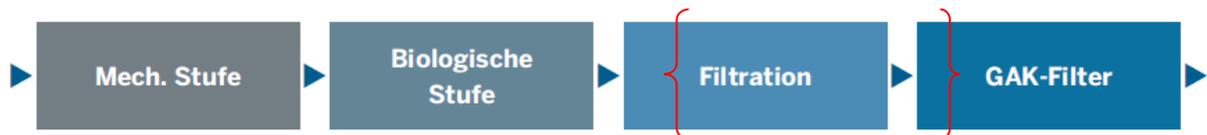
Abbildung 3-1

Übersicht der relevanten Verfahren /UBA 1/

3.1 Verfahrenskonzepte auf Basis granulierter Aktivkohle (GAK)

Wie im unten dargestellten Blockschemata gefasst, ergeben sich für die Aktivkohle als granuliertes Aktivkohle (GAK) der Einsatz als separater Filter einer konventionellen Filtration nachgeschaltet oder auch in direkter Kombination mit einem Sandfilter. Grundsätzlich kann ein GAK-Filter auch direkt der Belebungsstufe (biologische und Nachklärstufe) nachgeschaltet werden. Dann wird bezüglich der Aktivkohlebeladung und damit einem wirtschaftlichen Betrieb ein gutes Trennergebnis (fest-flüssig, DOC) in der Belebungsstufe/ Nachklärung wesentlich. Die abfiltrierbaren Stoffe (AFS) sollten im Mittel deutlich $< 15 \text{ mg/l}$ liegen /Kom-M. NRW/

Abbildung 3
Schematische Einbindung einer GAK-Anlage



Quelle: /Kom-M. NRW/

Abbildung 3-2 Blockschema zum Einsatz von GAK /Kom-M. NRW 1/

Diese Verfahrensweise wurde gemäß folgender Abbildung 3-3 auch im Rahmen des FuE-Vorhabens MikroFlock /ISA 1/ auf der Kläranlage Düren-Merken untersucht.

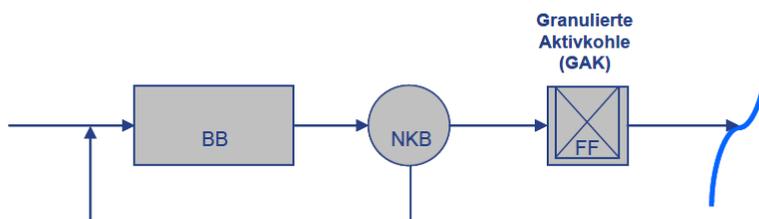
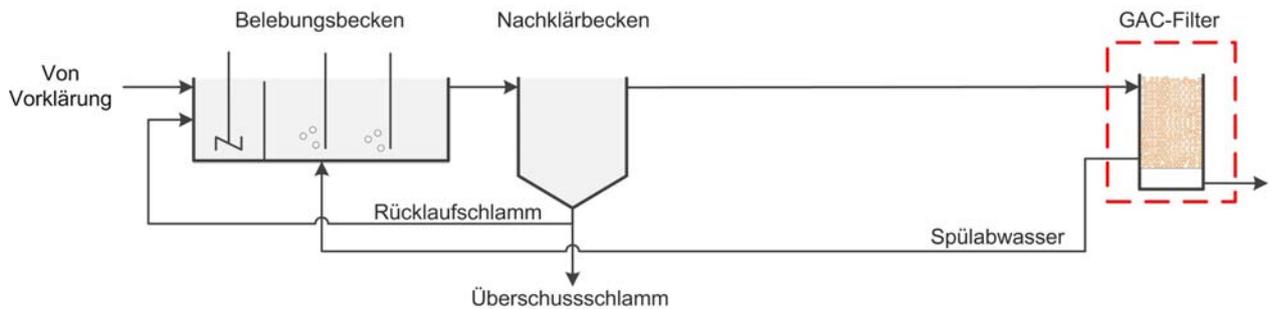


Bild 1.1: GAK als Filtermaterial (KA Düren-Merken)

Abbildung 3-3 Blockschema zum Einsatz von GAK /Kom-M. NRW 1/ /ISA 1/

Gemäß den Darstellungen des Kompetenzzentrum BW /Kom-M.BW1/ wird granuliertes Aktivkohle generell nach der biologischen Stufe eingesetzt. Es werden dabei zwei derzeit relevante Varianten der GAK-Anwendung unterschieden. Eine Variante besteht in der Umrüstung eines existierenden Sandfilters zu einem Aktivkohlefilter (wie unten dargestellt). Hierzu wird das bestehende Filtermaterial durch granuliertes Aktivkohle ersetzt. Diese Variante stellt für Kläranlagen, die keine räumliche Erweiterungsmöglichkeit haben, eine Option zur Spurenstoffelimination dar. Im GAK-Filter werden neben Spurenstoffen auch Feststoffe zurückgehalten. Die Feststoffeinlagerung der AFS im Filterbett des GAK verursacht jedoch einen erhöhten Druckverlust, so dass ein erhöhtes Maß an Rückspülung erforderlich wird. Prinzipiell wäre

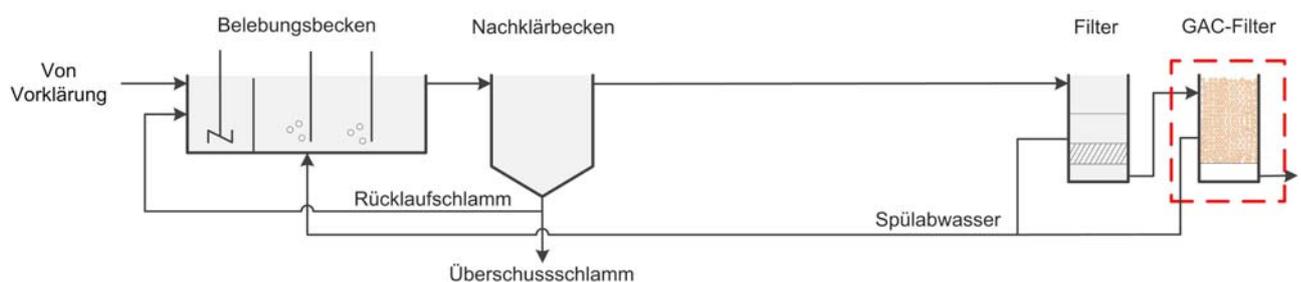
bei vorhandenem Sandfilter auch eine Teilentleerung der Sande mit Ersatz durch GAK denkbar bzw. nur der Austausch in einem Teil der Filterkammern, so dass beide Verfahrenskomponenten unter Inkaufnahme einer gewissen hydraulischen Überströmung/-lastung gemeinsam realisiert werden können.



Quelle: /Kom-M.BW1/

Abbildung 3-4 Blockschema zum Einsatz von GAK /Kom-M. BW 1/

Die zweite Variante ist die Anordnung eines GAK-Filters nach einem Filter wie dies u.a. auch in /Kom-M.NRW/ ausgeführt wurde (siehe oben). Durch den vorgeschalteten Filter werden die abfiltrierbaren Stoffe aus der Nachklärung zurückgehalten, so dass der GAK-Filter mit nahezu feststofffreiem Abwasser beaufschlagt wird. Dadurch verringert sich die Häufigkeit und die Art der Rückspülung und die Zeit bis zur vollständigen Beladung der GAK verlängert sich (siehe Bettvolumen BV).



Quelle: /Kom-M.BW1/

Abbildung 3-5 Blockschema zum Einsatz von GAK nach einem Filter /Kom-M. BW 1/

In dem FuE-Vorhaben auf der Kläranlage des Abwasserverbandes Langen/ Egelsbach/ Erzhausen /IWAR 1/ wurde ebenfalls bzgl. der Entfernung von Spurenstoffen auf den Stand der Wissenschaft/ Stand der Technik für den Betrieb eines GAK-Filters zurückgegriffen.

Tabelle 3-2 Übersicht erprobter bzw. festgestellter GAK-Filterparameter /IWAR 1/

Tabelle 3: Übliche GAK-Filtereigenschaften und Betriebsparameter

Parameter	Einheit	Kennwert
Kenndaten für Filterverfahren zur Wasseraufbereitung nach Sontheimer et al [1985]		
Filterschichthöhe	[m]	1-2,5
Filterkorndurchmesser	[mm]	1-2,5
Filtergeschwindigkeiten	[m/h]	5-15
theoretische Kontaktzeit (EBCT= t_A)	[min]	5-20
Typische Bemessungsdaten für GAK-Filter zur weitergehende Abwasserreinigung nach Metcalf & Eddy Inc. [2004]		
Filterschichthöhe	[m]	1,8-4
Filtergeschwindigkeiten	[m/h]	5-15
theoretische Kontaktzeit	[min]	5-30
Großtechnische Versuche an der Kläranlage „Obere Lutter“, Projekt MIKROFlock [Bornemann, et al., 2012]		
Filterschichthöhe	[m]	1,2-1,5
Filtergeschwindigkeiten	[m/h]	7,5-14,0
theoretische Kontaktzeit	[min]	11-14

Quelle: /IWAR 1/

Im FuE-Vorhaben /IWAR 1/ wurden die Aktivkohlefilter (GAK) wie folgt betrieben.

- Filtergeschwindigkeiten von 6-9 m/h,
- rechnerische Kontaktzeiten von 8,3-24,9 min und
- zwei unterschiedliche Kornaktivkohlen (Donau Carbon Hydriffin XC30, Norit NRS CABRON GA 0,5-2,5)

Als Ergebnis wurde im FuE-Vorhaben vom /IWAR 1/ ermittelt:

„Kornaktivkohle aus GAK-Filter 2, 1/2 von ca. 16 Gew.-%, die zu einer Verringerung der theoretischen Kontaktzeit von anfänglich 12,7 min auf abschließend 10,6 min führten und den neueren, teils noch unveröffentlichten Forschungsergebnisse, die offenbar zeigen, dass **Reaktivate gegenüber Frischkohlen besser zum Rückhalt von Mikroverunreinigungen geeignet** sind. Es wird derzeit vermutet, dass dies auf Veränderungen im Porensystem der Aktivkohlen durch die Reaktivierung zurückzuführen ist. Für den Parameter CSB_f (Index f = filtriert) konnte für alle GAK-Filter gezeigt werden, dass der Schwellenwert nach Abwasserabgabegesetz von 20 mg/L über die betrachtete Standzeit dauerhaft eingehalten werden kann. Es wurden über den Gesamtzeitraum gemittelte Konzentrationen von 12,0-13,7 mg/L im Ablauf der GAK-Filter beobachtet.“ /IWAR 1/.

Bezüglich der Reaktivierung von GAK ist pro Zyklus/ Reaktivierung mit einem Verlust von etwa 10-20 % der GAK zu rechnen /Alt 2/. Dieser Verlust ist dann entsprechend zu ersetzen und kostenmäßig zu erfassen /Nahrstedt 1/.

Als Eckdaten zur Auslegung von GAK-Filtern können wie in /Kom-S.NRW 1/ aufgeführt Leerbettkontaktzeiten von 5 bis 30 Minuten und einer Filterbettgeschwindigkeit von 5-15 m/h herangezogen werden. Erzielbare Bettvolumina (BV - in m³ Abwasser pro m³ Filtervolumen) von 3.000 bis ca. 16.000. Die Rückspülintervalle (insbesondere Luftspülung) der GAK-Filter sollen so groß wie möglich erfolgen, so dass die Abrasion der GAK-Partikel möglichst minimiert wird.

In der Zusammenstellung erreichbarer Bettvolumina (BV) wird von der DWA /DWA 1/ die Anlagen in Düren und Obere Lutter mit deren anlagenspezifischen Gegebenheiten angeführt. Nach Auswahl geeigneter A-Kohle konnten BV von 4.200-6.600 (Filterhöhe 1,5 m und Kontaktzeit 10-15 Min) je nach Eliminationsgrad und Spurenstoff ermittelt werden. Das fast AFS-freie Abwasser der Anlage obere Lutter wies in Bezug auf die CSB-Elimination ein BV von 9.000 (Filterhöhe 2,5 m und Kontaktzeit 45-75 Min) auf /Nahrstedt 1/. Sollten mehrere GAK-Filter parallel geschaltet werden, lassen sich die durchsetzbaren Bettvolumina (Laufzeitverlängerung) um 50-100 % steigern, da bei Erreichen des Grenzwertes immer nur die am höchsten beladene GAK-Filterzelle ausgetauscht wird.

Im Rahmen einer kritischen Diskussion der Verfahren werden in /DWA 1/ u.a. die folgenden für A-Kohle relevanten Aspekte angeführt „

Die Verfahren zur Spurenstoffelimination sind mit zusätzlichen Kosten für die Abwasserreinigung verbunden, wobei die Pulveraktivkohlebehandlung tendenziell höhere Kosten erwarten lässt, was sich vor allem durch die zusätzliche Dosierung von Fäll- und Flockungsmittel zur gesicherten Abtrennung der Pulveraktivkohle und die notwendige Behandlung und Entsorgung der höheren Klärschlammengen erklären lässt.

Beim Einsatz von granulierter Aktivkohle als Filtermaterial sind nach den bisherigen Erfahrungen die notwendigen Regenerierungen der granulierten Aktivkohle aufwendig. Praktikabel erscheint das Verfahren bei geringen Feststoffgehalten im Ablauf der Nachklärung und großem Filterbettvolumen.

„

Nach Kostenstand 2013 /Mertsch 1/ werden GAKen für einen Preis von brutto rd. 1.300 €/t und PAKen von brutto rd. 1.550 €/t geliefert u.a. /DWA 1/. Die Jahreskostenspanne für GAK-Anlagen liegt zwischen 0,07-0,25 €/ m³ Abwasser behandelt und damit etwas höher als für PAK-Anlagen /DWA 1/.

Das Qualitätskriterium ≥ 60 % Elimination konnte z.B. in laufenden Untersuchungen der EAWAG /EAWAG 1/ in der Schweiz für die meisten untersuchten Spurenstoffe nur für bis ca. 4.000 Bettvolumina eingehalten werden. Die kalkulierte spezifische **GAK-Menge von ca. 100 mg Aktivkohle pro Liter Abwasser liegt etwa 5- bis 10-mal höher als die benötigte Menge an PAK im Rezirkulationsbetrieb** /EAWAG 1/.

Gemäß den Untersuchungen auf der Kläranlage Neuss /Grontmij 1/ kam man zu dem Ergebnis:

„Für die weitere Betrachtung wird ein Austausch bzw. eine Regenerierung der granulierten Aktivkohle nach 3.000 Bettvolumen angenommen“ /Grontmij 1/.

Bezüglich der Regenerierung von GAK ist ein Verlust an GAK von 10-20 % technisch (Nachfüllen) und als Betriebskosten zu berücksichtigen. /Nahrstedt 1/.

Für die im Rahmen des Forschungsvorhabens „Mikroflocc“ untersuchten anlagentechnischen Alternativen zur Spurenstoffelimination mittels PAK und GAK kann eine GAK-Anlage erst ab Bettvolumina > 10.700 BV wirtschaftlich betrieben werden /ISA 1/.

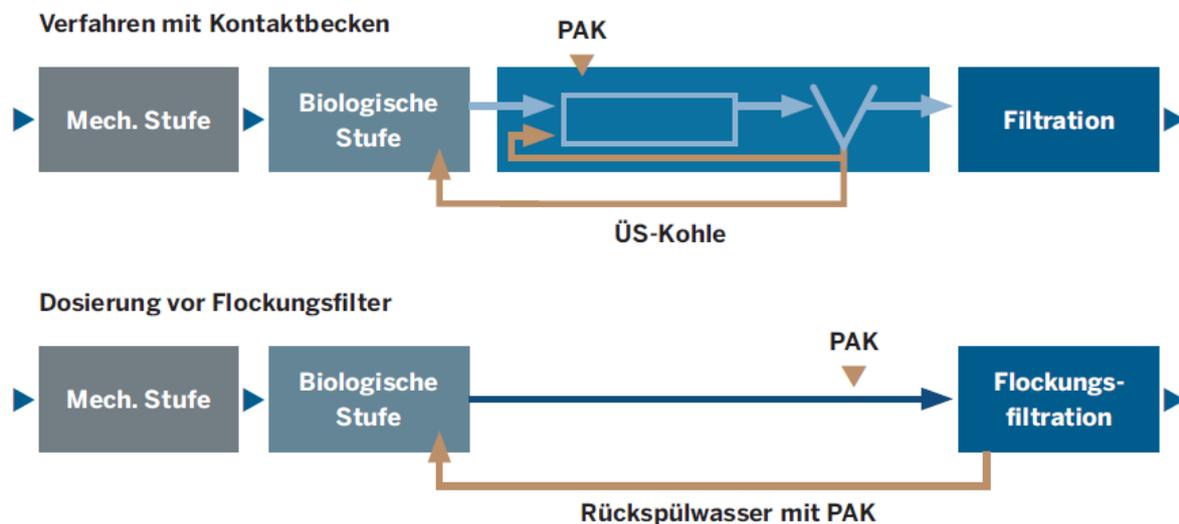
Der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) bietet im Vergleich zur GAK deutlich mehr relevante Verfahrensweisen/ -alternativen. Dies liegt in erster Linie daran, dass die zudosierte PAK sich frei im System Belebungsstufe mit nachgeschalteten Stufen „bewegen“ kann bzw. gemäß den physikalischen Gegebenheiten „bewegt“.

3.2 Verfahrenskonzepte auf Basis der Pulveraktivkohle (PAK)

Zwei grundsätzliche Möglichkeiten der Dosierung und Kreislaufführung von Pulveraktivkohle (PAK) mit Ausschleusung sind wie in Abbildung 3-6 /Kom-M.NRW 1/ dargestellt. Dazu gibt es sowohl in der Theorie als auch in der Praxis noch Variationen siehe u.a. /Kom-BW.NRW 1/ / FH Biberach 1/.

Abbildung 2

Schematische Einbindung einer PAK-Anlage



Quelle: /Kom-M. NRW/

Abbildung 3-6: Blockschema zum Einsatz von PAK /Kom-M. NRW 1/

Diese Verfahrensweise zur PAK-Dosierung und „Kreislaufführung mit Ausschleusung“ wurde auch im Rahmen des FuE-Vorhabens MikroFlocc /ISA 1/ auf der Kläranlage Wuppertal-Buchenhofen und der Forschungskläranlage Stuttgart-Büsenau gemäß Abbildung 3-7 untersucht.

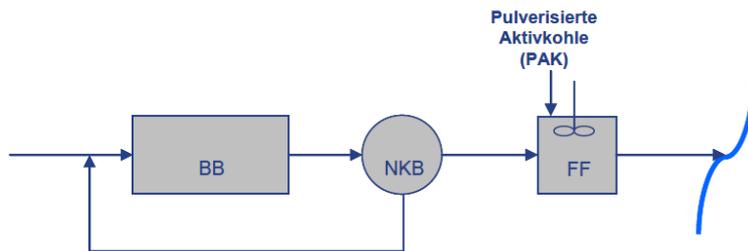


Bild 1.2: PAK in den Filterüberstau (KA Wuppertal-Buchenhofen)

Abbildung 3-7a: Blockscha zu Einsatz von PAK /ISA 1/

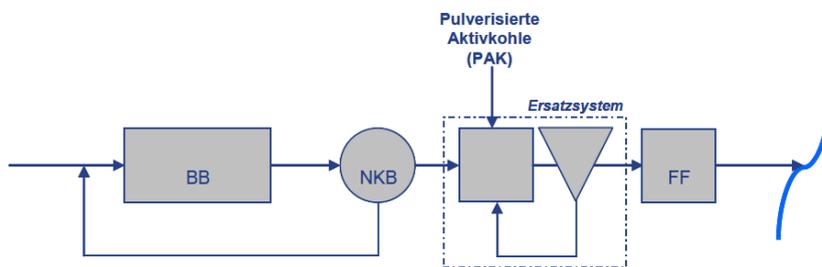


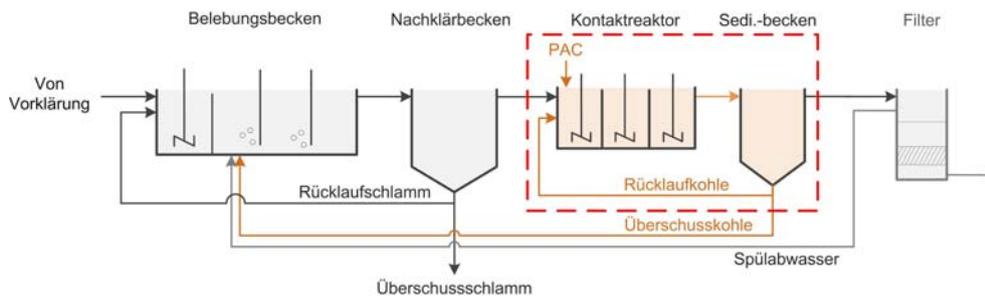
Bild 1.3: Modifiziertes AFSF-Verfahren (Forschungskläranlage Stuttgart-Büsnau)

Abbildung 3-7b: Blockscha zu Einsatz von PAK /ISA 1/

Die PAK-Dosierung in einer separaten Adsorptionsstufe erfolgt nach /Kom-BW1/ in einigen Kläranlagen in Baden-Württemberg bereits großtechnisch. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem Kontaktreaktor und einem Sedimentationsbecken. Die PAK wird zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Bereich des Kontaktreaktors zugegeben. Im anschließenden Sedimentationsbecken wird sie unter Zugabe von Metallsalzen und Polymeren (Fällung/ Flockung) vom Abwasser abgetrennt.

Der abgesetzte „Kohleschlamm“ wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle wieder als „Rücklaufkohle“ in den Kontaktreaktor zurückgeführt. Dadurch wird eine Entkopplung der Aufenthaltszeit der PAK im System von der Aufenthaltszeit des Abwassers erzielt. Die Überschussskohle kann gemäß dem Gegenstromprinzip in die Biologie zurückgeführt werden, um die restliche Adsorptionskapazität der Aktivkohle auszunutzen.

Ein Filter nach dem Sedimentationsbecken trennt die nicht sedimentierte Pulveraktivkohle vom gereinigten Abwasser ab.“/Kom-BW 1/ siehe Abbildung 3-8.

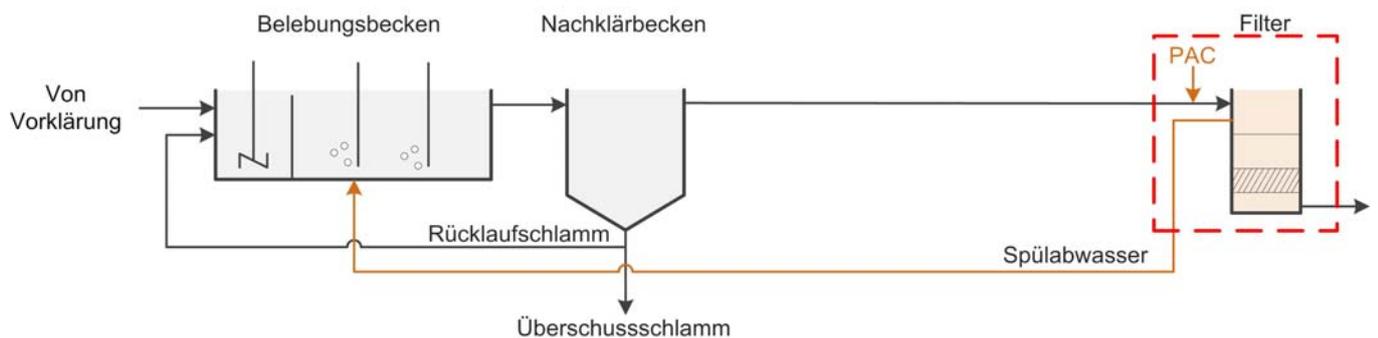


Quelle: /Kom-BW1/

Abbildung 3-8 Blockschema zum Einsatz von PAK in separaten „Becken“ /Kom-M. BW 1/

„Eine weitere Anwendungsform nach /Kom-BW 1/ ist die **PAK-Dosierung vor einen Filter**. Der Überstauraum eines Sandfilters wird/ muss dabei gleichzeitig als Raum für den Kontakt der Aktivkohle mit dem Abwasser herangezogen werden. Im nachfolgenden Filterbett erfolgt die PAK-Abtrennung. Die Einlagerung der PAK im Filterbett ermöglicht eine weitere Adsorption der Abwasserinhaltsstoffe. Über die Rückführung des Spülabwassers in die biologische Stufe kann die Verweilzeit der PAK im Reinigungssystem erhöht werden, um eine effiziente Nutzung der PAK zu erzielen. Durch die Rückführung erhöht sich wie bei der direkten Zugabe in die Belebungsstufe der TS-Gehalt in der Verfahrensstufe.

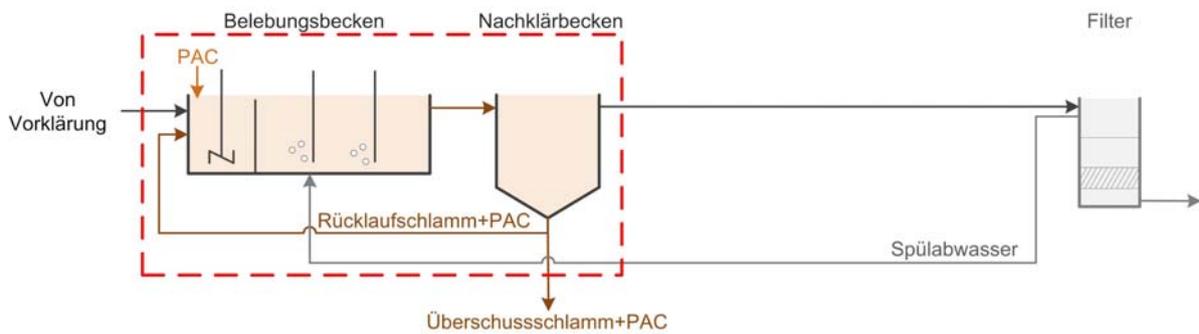
Der Vorteil dieser Anwendungsform besteht in der einfachen Integration der adsorptiven Reinigungseinheit in Anlagen mit einer bestehenden Filteranlage.“ /Kom-BW1/



Quelle: /Kom-BW1/

Abbildung 3-9 Blockschema zum Einsatz von PAK vor einem/ in einem Filter /Kom-M. BW 1/

Bei der **simultanen** Anwendungsform wird nach /Kom-BW1/ die PAK direkt in das Belebungsbecken zugegeben. Das Belebungsbecken dient gleichzeitig als Kontaktraum für die adsorptive Reinigung. Die PAK wird in den belebten Schlamm eingebaut und mit dem Überschussschlamm aus der Reinigungsstufe entfernt. Bei unzureichendem Rückhalt der Pulveraktivkohle im Nachklärbecken ist ein Filter nachzuschalten.



/Kom-BW1/

Abbildung 3-10 Blockschema zum Einsatz von PAK direkt in der Belebungsstufe /Kom-M. NRW 1/

Auf der Kläranlage Steinhäule wurde das Prinzip der Adsorptionsstufe mit Mehrfachbeladung der Aktivkohle bereits erprobt. Hierzu wird die Pulveraktivkohle (PAK) zunächst dem biologisch gereinigten Abwasser im Bereich des Kontaktreaktors zugegeben. Um die Kohle im anschließenden Sedimentationsbecken abtrennen zu können, müssen dem Abwasser zusätzlich Fällmittel (Fe) zum Aufbau einer absetzbaren Flocke als auch Polymere (Flockungshilfsmittel) zudosiert werden. Der im Sedimentationsbecken abgesetzte „Kohle-Schlamm“ wird zur besseren Ausnutzung der Aktivkohle wieder als „Rücklaufkohle“ in den Kontaktreaktor zurückgeführt. /FH Bieberach 1/

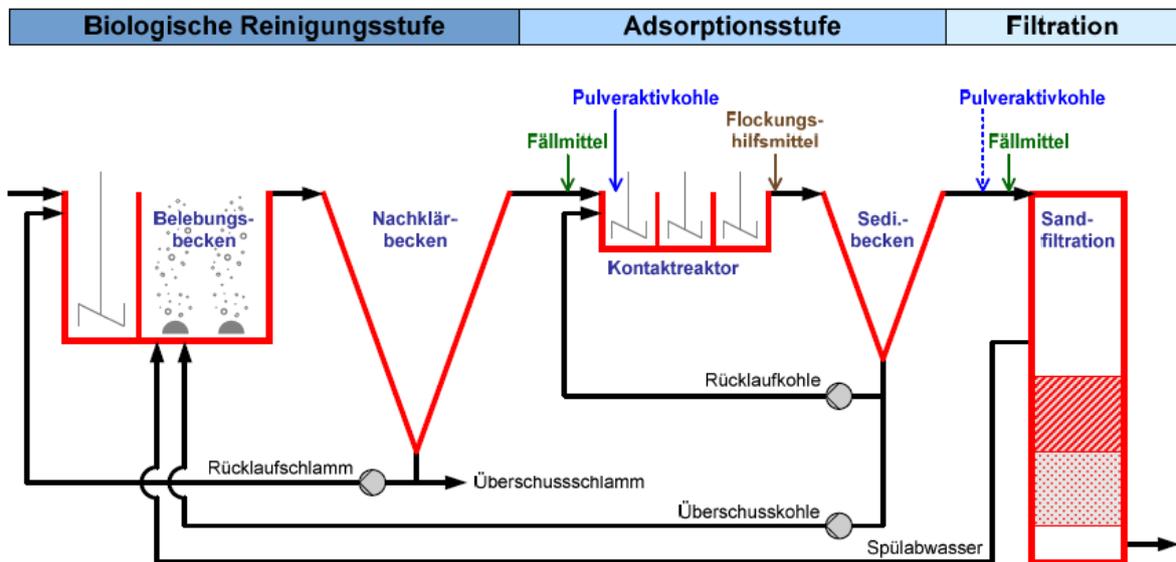


Abbildung 1-1: Einbindung der Adsorptionsstufe in den Reinigungsprozess

Abb. 3-11: Blockschema zum Einsatz von PAK /FH-Bieberach 1/

Der Betrieb einer Adsorptionsstufe nach der Nachklärung erfordert zugleich die Nachschaltung einer Filtration zur Sicherstellung eines weitestgehenden Rückhaltes der PAK. Den halbertechnischen Untersuchungen im Klärwerk Steinhäule zufolge, muss die Filtration hierzu als Flockungsfiltration

betrieben werden, d.h., dem Abwasser muss vor dem Filter nochmals Fällmittel zugegeben werden. Sowohl das Spülabwasser als auch die aus der Adsorptionsstufe abgezogene Überschussschleim werden zur weiteren Ausnutzung der Adsorptionskapazität der Pulverkohle in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Zusammen mit dem biologischen Überschussschlamm wird die PAK aus dem Reinigungsprozess entfernt /FH Bieberach 1/

Im Rahmen des von /IWAR 1/ im Pilotmaßstab untersuchten Pulveraktivkohle-Kontaktverfahrens“ konnte eine Reduktion von ≥ 80 % bei einer PAK-Dosis von rd. 5 mg/L und Aktivkohleverweilzeiten bis 48 h für die meisten untersuchten Mikroverunreinigungen nicht erreicht werden. Bei der maximal erprobten Verweilzeit von 48 h wurden die 5 Humanpharmazeutikawirkstoffe (50 % der betrachteten Stoffe) *Carbamazepin*, *Atenolol*, *Bisoprolol*, *Metoprolol* und *Sotalol* zu ≥ 80 % reduziert. Eine moderate Reduktion (30- ≤ 80 %) konnte für 4 Stoffe *Sulfamethoxazol*, *Bezafibrat*, *Diclofenac* und *4-AAA* beobachtet werden. Das Röntgenkontrastmittel *Amidotrizoesäure* konnte bei den erprobten Betriebseinstellungen nur schlecht (max. 9 %) reduziert werden. Es konnte gezeigt werden, dass sich höhere Aktivkohleverweilzeiten positiv auf die Reduktionsleistung auswirken“.

Als Fazit des FuE-Vorhabens /ISA 1/ -MikroFlock- konnte, wie unten zitiert, ermittelt werden, dass

„Durch die Nutzung von Aktivkohle bei der Abwasserreinigung können Spurenstoffe in erheblichem Umfang aus der gelösten Phase eliminiert werden. Die auf einer Vielzahl großer Kläranlagen verfügbaren Filtrationsanlagen bieten sich für einen solchen Einsatz an: Die baulichen Strukturen bestehen bereits, die Filter werden häufig mit weitgehend partikelfreiem Abwasser beaufschlagt und durch die Filtration wird ein Austrag von beladener Aktivkohle in das Gewässer vermieden...“

Bei den Spurenstoffen ergibt sich durch die PAK-Zugabe für die Stoffe **Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol eine gute Elimination von ca. 80 – 90 %**, bezogen auf den Zulauf zur Filtration. Bei **schlechter adsorbierbaren Substanzen kann die Elimination durch die PAK-Dosierung kaum gesteigert werden.**

Von den vorgeschalteten Abscheideeinrichtungen zeigt die Tuchfiltration die interessanteste Alternative auf, um PAK effektiv aus Abwasser zu entfernen. Auch der Einsatz von Mikrosieben zeigt gute Ergebnisse. Nach einem Wirtschaftlichkeitsvergleich sind Tuchfiltration und Mikro-Siebung die kostengünstigsten Verfahren zur Abscheidung von Pulveraktivkohle, gefolgt von Lamellenabscheidung und mit großem Abstand der Flotation.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb einer GAK-Filtration sind die erreichbaren Bettvolumina (BV) von entscheidender Bedeutung. Bei der PAK-Dosierung ist die gewählte Dosierkonzentration die entscheidende Größe für die Kosten. In beiden Verfahrensvarianten dominieren die Kosten für den Aktivkohleverbrauch die Betriebskosten und diese wiederum die Jahreskosten. Dabei ergeben sich für die im Rahmen dieses Projektes verwendeten Aktivkohleprodukte und bei den untersuchten Kläranlagenstandorten, die ihre jeweiligen Spezifika aufweisen, deutlich höhere Jahreskosten beim Einsatz der GAK als beim Einsatz von PAK. Um zu **ähnlichen spezifischen Kosten zu gelangen, musste die Standzeit der GAK von 4.200 auf 10.700 BV deutlich erhöht werden.**“

3.3 Verfahrenskonzepte auf Basis einer Ozonung

Die folgende Abbildung 3-12 zeigt im Blockschema den Einsatz von Ozon zur Spurenstoffentfernung mit dem „effizientesten“ Einsatzpunkt nach einer Sand-/Filtration, da alle die Reaktion störenden AFS entfernt sind und der DOC am geringsten ist.

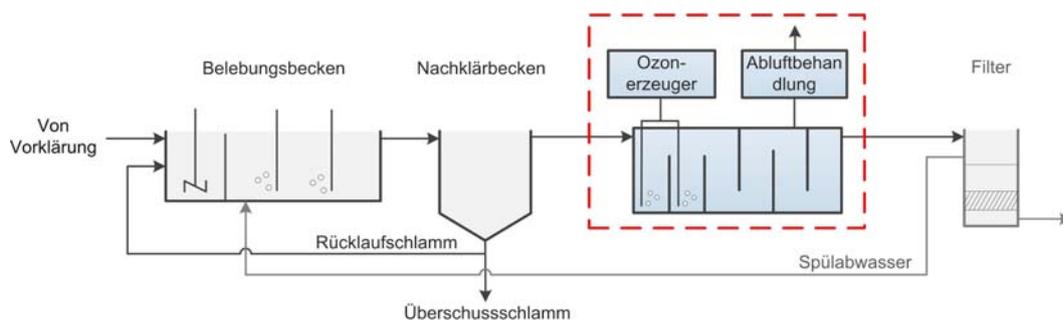
Abbildung 1
Schematische Einbindung einer Ozonung



Quelle: /Kom-M. NRW/

Abbildung 3-12 Blockschema zum Betrieb einer Ozonung /Kom-M. NRW 1/

Abbildung 3-13 zeigt den möglichen Einsatz einer Ozonung nach der Nachklärung und vor der Filtration mit schematisch skizzierter Anlagentechnik aus Ozonerzeugung/ Reaktionsbecken mit Kaskadierung und Abluftbehandlung und –behandlung.



Quelle: /Kom-BW1/

Abbildung 3-13 Blockschema zum Betrieb einer Ozonung vor einem Filter /Kom-M. BW 1/

Eine Vielzahl von Versuchen hat gezeigt, dass durch die Ozonung ein breites Spektrum von Spurenstoffen aus dem Abwasser entfernt werden kann. Die Eliminationsrate ist von dem betrachteten Stoff und der dosierten Ozonmenge abhängig /Kom-BW1/.

Bezüglich der notwendigen Ozondosis werden, wie in Abbildung 3-14 aus /Kom-M.NRW 1/ entnommen, in Abhängigkeit des vorgefundenen, restlichen DOC folgenden Mengen angegeben. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass für den effizienten Betrieb einer Ozonung AFS < 15 mg/l wünschenswert sind. Bei mittleren AFS-Konzentrationen von 15-20 mg/l steht die Optimierung der Nachklärung an.

dass eine Ozondosis von 0,7 – 0,9 mg O₃/mg DOC für die Elimination der meisten Spurenstoffe ausreichend ist. Barjenbruch und Firk (2014) geben als Auslegungsgröße eine spezifische Dosierung $Z_{\text{spez.}}$ von 0,6 bis 0,8 g O₃/g DOC an.

Auf Grundlage der zugeführten Ozonkonzentration c_{O_3} über

$$C_{\text{O}_3} = Z_{\text{spez.}} \times C_{\text{DOC}}$$

kann die benötigte Produktionskapazität $B_{\text{O}_3, \text{max}}$ der Ozonerzeuger unter Berücksichtigung der Auslegungswassermenge Q_{Bem} (siehe Kapitel 2.2) mit

$$B_{\text{O}_3, \text{max}} = Q_{\text{Bem}} \times c_{\text{O}_3}$$

ermittelt werden. Zur Auslegung des Eintragungssystems ist ferner die minimale Ozonerzeugung $B_{\text{O}_3, \text{min}}$ zu ermitteln:

$$B_{\text{O}_3, \text{min}} = Q_{\text{T,2h, min}} \times c_{\text{O}_3}$$

Der effiziente Betrieb einer Ozonanlage erfordert eine stabile Nitrifikation in der vorausgehenden biologischen Stufe, da durch Ozon Nitrit zu Nitrat chemisch oxidiert wird. Der spezifische Ozonbedarf beträgt hierfür 3,43 g O₃/g NO₂-N. Um das Ozon effektiv und zielgerichtet für die Mikroschadstoffelimination zu nutzen, ist eine gut funktionierende Nachklärung erforderlich. Bei schlechten Ablaufwerten (z. B. mittlere AFS > 15-20 mg/L) sollte eine Optimierung der Nachklärung erfolgen.

Quelle: Kom-M.NRW 1/

Abbildung 3-14 Vorgaben zur Dosierung von Ozon /Kom-M. NRW 1/

Als Ergebnis und Fazit für die Vorgehensweise zur Errichtung einer Ozonungsanlage kann gemäß /IWW 1/ u.a. festgehalten werden, dass

- die Ozonzehrung und Hydroxylradikalbildung im Vorfeld untersucht werden sollte,
- die Bildung von Bromat und Nitrosaminen in der Regel unkritisch ist, aber untersucht werden sollte,
- eine Nachbehandlung nach der Ozonung in einer biologisch aktiven Stufe erfolgen sollte. Zu beachten ist dabei die vollständige Zehrung des Ozons vor der biologischen Stufe.

Nach den Ausführungen und Quellenangaben von Studienergebnissen in /Kom-M.NRW 1/ können die Reaktionsprodukte einer Ozonung durch eine biologische Nachbehandlung entfernt werden /Abegglen 1/. Relevante ergänzende Verfahren sind dazu biologisch aktive Sandfilter/ biologisch-adsorptive GAK-Filter oder Festbett/- Wirbelbettreaktoren. Auch die Nachschaltung von Schönungsteichen ist denkbar.

FAZIT:

Im FuE-Vorhaben der EAWAG /EAWAG 2/ kommt man zusammenfassend u.a. zu folgendem Ergebnis:
„Neben der Ozonierung des Ablaufs der Kläranlagen **ist die Behandlung mit Pulveraktivkohle ebenfalls ein effizientes und gleichwertiges Verfahren.** Aufgrund der spezifischen Merkmale der eingesetzten Kohle ist eine Anwendung in verschiedenen Verfahrenskonzepten möglich, so dass die PAK-Behandlung unterschiedlich auf den Kläranlagen integriert und realisiert werden kann. Die verschiedenen Varianten lassen sich unter Berücksichtigung der spezifischen örtlichen Verhältnisse einfach in bestehende kommunale Kläranlagen integrieren, wobei der spezifische Platzbedarf für die Verfahrensvarianten unterschiedlich ausfällt. **Bei entsprechender Dimensionierung der Anlagen bzw. der Dosiermenge kann der überwiegende Teil der betrachteten organischen Spurenstoffe zu über 90 % bzw. für viele Stoffe bis zu 100 % adsorbiert werden bzw. werden die Spurenstoffe via Überschussschlammabzug mit der Pulveraktivkohle sicher aus dem System entfernt und in der nachfolgenden Behandlung verbrannt.**“

Das SWA /SWA 1/ kommt im Rahmen seiner Bewertung der relevanten Verfahren zur Spurenstoffentfernung zu folgendem Ergebnis:

„Alle untersuchten Verfahren (NF, UO, PAK, GAK, Ozon) können Mikroverunreinigungen ausreichend reduzieren; vorausgesetzt, Auslegung, Betrieb und Verfahrenskombinationen sind an die örtlichen Randbedingungen angepasst. Aufgrund der bereits gewonnenen Erkenntnisse aus der Literatur und den Beurteilungen aus den halbtechnischen sowie großtechnischen Versuchen scheidet die Membranfiltration **(NF, UO) für eine großtechnische Anwendung auf bayerischen Kläranlagen aufgrund ihrer derzeitigen Unwirtschaftlichkeit, des relativ hohen Betriebsaufwandes und der Entsorgungsproblematik der Filtrate aus.** Diese Verfahren sind deutlich teurer als die anderen Verfahren und sind daher derzeit nicht für den Einsatz in Bayern zu empfehlen. Die Mikrofiltration, wie sie z.B. beim Membranbelegungsverfahren eingesetzt wird, weist ein unzureichendes Rückhaltevermögen für Spurenstoffe auf.“

PAK, GAK und Ozonierung sind bezüglich der spezifischen Jahreskosten vergleichbar (0,013 – 0,47 Euro/m³). Die spezifischen Behandlungskosten können bei der Aktivkohlefiltration mit 0,01-0,32 Euro/m³ angesetzt werden. Für die Ozonierung liegen die spezifischen Kosten im Mittel zwischen 0,01 und 0,3 Euro/m³. Die Zusammenfassung aus /SWA 1/ zeigen die folgenden Tabellen 3-3 bis 3-6.

Tabelle 3-3 Verfahrensvergleiche zur Spurenstoffelimination /SWA 1/

Tabelle 29: Zusammenfassende Übersicht der Verfahren		PAK-Kontaktverfahren – Variante 1		GAK-Filtration – Variante 2		Ozonierung – Variante 3/4	
Einsatzort auf der KA	Nach der Nachklärung und vor der Sandfiltration		Nach der Nachklärung (Austausch des Filterbettes des Sandfilters)		Nach der Nachklärung und vor der biologische Stufe (Variante 3) bzw. vor der GAK-Filtration (Variante 4)		
Betriebsparameter¹ und Bemessungsgrundlagen	Zufluss	Q l/s; m ³ /h	Zufluss	Q l/s; m ³ /h	Zufluss	Q l/s; m ³ /h	
	PAK-Dosierung	10-20 g/m ³	Filtergeschwindigkeit	(3)5-15 m/h	Ozondosis/Regelbereich	0,4-5 g/m ³	
	Kontaktzeit	15-30 min	Kontaktzeit Aktivkohlebett	5-30 min	spez. Ozondosis	0,7-0,9 g _{os} /g _{doc}	
	PAK-Verweilzeit	4-9 d	Filterstandzeit	4.000 bis < 12.000 BVT	Kontaktzeit	10-30 min	
	Rücklaufkohle	ca. 50 %					
	<ul style="list-style-type: none"> • FM/FHM-Dosierung • Abzugsrate Rücklaufkohle und Bemessung Rücklaufkohle • Filtergeschwindigkeit des Sandfilters • Aktivkohleart • Energieeintrag im Kontaktbecken 		<ul style="list-style-type: none"> • Art des Filterbetriebes • Filteranzahl, Filterfläche, Betthöhe • Aktivkohleart • Leerbettkontaktzeit und durchgesetzte Bettvolumina • Filterspülgeschwindigkeit • Kriterium für Rückspülung • Rückspülintervall 		<ul style="list-style-type: none"> • Behandlungsvolumen • Ozonproduktion (wie und wieviel) • Ozoneintragssystem • Abwassereigenschaften (DOC, Nitrit, AFS) • Regelungsstrategie bedarfsgerechte Ozondosierung (SAK, Q, DOC, O₃) 		
Steuerung	Steuerung/Regelung PAK-Dosierung		Steuerung/Regelung Rückspülung Filter		Steuerung/Regelung Ozon-Dosierung		
	<ul style="list-style-type: none"> • TOC, DOC • Durchflussproportional • SAK 		<ul style="list-style-type: none"> • Zeitkriterium • Volumenkriterium • Differenzdruck 		<ul style="list-style-type: none"> • SAK als Prozesssteuerungsparameter • DOC-Fracht • Durchflussproportional 		

Quelle /SWA 1/

Tabelle 3-4 Verfahrensvergleiche zur Spurenstoffelimination /SWA 1/

Tabelle 3-4		PAK-Kontaktverfahren – Variante 1		GAK-Filtration – Variante 2		Ozonierung – Variante 3/4	
	<u>Gesamtes Verfahren</u>		<u>Ohne Vorfiltration</u>		<u>Ozonierung</u>		
	ca.	0,01-0,06 kWh/m ³	ca.	0,01-0,08 kWh/m ³	ca.	0,04-0,3 kWh/m ³	
Energieverbrauch	ca.	5 kWh/(E·a)	ca.	7 kWh/(E·a)	ca.	0,6-27 kWh/(E·a)	
					<u>Biologische Stufe – Nachbehandlung (z.B. Sandfilter)</u>		
					ca.	0,05 kWh/m ³	
					ca.	4,5 kWh/(E·a)	
Behandlungskosten	ca.	0,01-0,47 Euro/m ³	ca.	0,01-0,32 Euro/m ³	ca.	0,01-0,3 Euro/m ³	
Investitionskosten		<ul style="list-style-type: none"> • 0,7 bis 5,2 Mio. Euro (Herbst & Hilbig 2012) bei 280.000 EW • 1,76 Mio. Euro (Beermann et al., 2012) bei 80.000 EW • 42 Mio. Euro (Hiller, 2010) bei 445.000 EW • 1,6 Mio. Euro (Mannheim) bei 145.000 EW • 4,7 Mio. Euro (Bö-Sifi) bei 250.000 EW • 2,28 Mio. Euro (Alt & Kuhlmann, 2012) bei 135.000 EW 		<ul style="list-style-type: none"> • 0,8 bis 2,12 Mio. Euro (Beermann et al., 2012) bei 80.000 EW • 1,7 bis 3,1 Mio. Euro (Cluster Umwelttechnologien NRW, 2012) bei 125.000 EW • 1,29 Mio. Euro (Alt & Kuhlmann, 2012) bei 135.000 EW 		<ul style="list-style-type: none"> • 0,95 Mio. Euro (Beermann et al., 2012) bei 80.000 EW • 1,5 Mio. Euro (Duisburg) bei 30.000 EW • 1,6 Mio. Euro (Regensdorf) bei 30.500 EW • 1,0 Mio. Euro bei 13.000 EW • 1,57 Mio. Euro (PAK + Ozon, Schwerte) bei 50.000 EW • 1,03 Mio. Euro (Alt & Kuhlmann, 2012) bei 135.000 EW 	

Quelle /SWA 1/

Tabelle 3-5 Verfahrensvergleiche zur Spurenstoffelimination /SWA 1/

	PAK-Kontaktverfahren – Variante 1	GAK-Filtration – Variante 2	Ozonierung – Variante 3/4
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Breitbandwirkung CSB-Reduktion Anpassung der Dosierung möglich Weitergehende P-Elimination (Fällmittel) Großtechnische Betriebserfahrungen vorhanden Verbesserung Sedimentier- und Entwässerbarkeit des Klärschlammes Erhöhung des Klärschlammheizwertes 	<ul style="list-style-type: none"> Breitbandwirkung + CSB-Reduktion im allg. höhere Beladungen als PAK Entfärbung möglich Zusätzlicher weitergehender biologischer Abbau in Filter möglich Reaktivierung der Aktivkohle möglich Zusätzliche Suspensaentnahme Ausgereifte Technik (Wasserwerke) Geringer Steuerungs- und Kontrollaufwand 	<ul style="list-style-type: none"> Breitbandwirkung CSB-Reduktion Anpassung Dosierung möglich Desinfektion möglich Entfärbung möglich Großtechnische Erfahrungen (Schweiz und NRW)
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Große Bauvolumina Großer apparativer Aufwand Zusätzlicher Fällmittel-/Polymereinsatz polare Stoffe werden nicht ausreichend reduziert (z.B. Röntgenkontrastmittel) Konkurrenzadsorption, Verdrängungsprozess unterschiedlicher adsorbierbarer Stoffe Landwirtschaftliche Schlammverwertung nicht mehr möglich Reaktivierung der Kohle nicht möglich Hoher Steuerungs- und Regelungsaufwand (Dosierung, Kontrolle) 	<ul style="list-style-type: none"> Polare Stoffe werden nicht ausreichend reduziert (z.B. Röntgenkontrastmittel) Verdrängungsprozesse unterschiedlich adsorbierbarer Stoffe Weitestgehende Entnahme von Suspensa im Kläranlagenablauf für Filtertrieb vorteilhaft (Vorfiltration notwendig) Großtechnische Betriebserfahrungen derzeit nur im Wasserwerksbereich Entsorgung der GAK 	<ul style="list-style-type: none"> Bildung von meist unbekanntem Transformationsprodukten durch Ozonierung (Bildung des kanzerogenen Bromat (BrO_3^-) oder Nitrosaminen (biologisch gut abbaubar), Minderung der Toxizität durch Sandfilter umstritten) Erhöhung BSB₅ Apparativer höherer Aufwand (Verfahrenstechnik) Alkalinität beeinflusst Ozonstabilität Carbonat und Bicarbonat sowie Huminstoffe gelten als Radikalfänger und reduzieren die Wirksamkeit der Hydroxylradikale Wahrscheinlich höherer Steuerungs- und Regelungsaufwand (Dosierung, Kontrolle)

Quelle /SWA 1/

Tabelle 3-6 Verfahrensvergleiche zur Spurenstoffelimination /SWA 1/

	PAK-Kontaktverfahren – Variante 1	GAK-Filtration – Variante 2	Ozonierung – Variante 3/4
Betriebs-hinweise	<ul style="list-style-type: none"> Art der Dosierung → gravimetrische Dosierung wird empfohlen Mehr Schlammanfall durch PAK Feststoffeintrag in nachgeschalteten Filter kann sich erhöhen PAK-Dosierung beeinflusst Wirkungsgrad der Filtration PAK kann abrasiv wirken Geringer Eiseneinsatz kann zur Entstabilisierung der PAK-Partikel führen Zugabe von FM/FHM beeinflusst Feststoffeigenschaften Rückführung der Überschussskohle Art und Weise der Adsorbensführung und der Dosierstelle beeinflussen die Reinigungsleistung Aktivkohlesorte und Beladungszustand beeinflussen Wirkungsgrad 	<ul style="list-style-type: none"> Filterrückspülung in bestimmten Intervallen notwendig Filteraustausch regelmäßig notwendig Zu hohe Filtergeschwindigkeiten können zu Feststoffdurchbrüchen führen Lange Laufzeiten können die Filterwirkung positiv beeinflussen Geringer Rest-BSB im Filterzulauf ist vorteilhaft Oxidation von Ammonium zu Nitrit kann die Eliminationsleistung des Filters beeinflussen Betriebsweise der Luft und Wasserspülung (Reinigung für Filter) beeinflussen den Austrag von Biomasse 	<ul style="list-style-type: none"> Hydraulische Aufenthaltszeit beeinflusst die Reaktionskinetik der analysierten Substanzen Sehr starker Entfärbungsprozess Berücksichtigung der Wassermatrix und ihrer Schwankungen ist unverzichtbar für die Steuerung und Regelung einer Ozonanlage für kommunales Abwasser Nitritgehalt erhöht den Ozonbedarf, vollständige Nitrifikation ist daher vorteilhaft Alkalinität beeinflusst den Zerfall von Ozon, je niedriger desto instabiler ist Ozon Nachgeschaltete Stufe wird empfohlen (Abbau reaktiver Oxidationsprodukte) Sicherheitsvorkehrungen (Raumluftüberwachung etc.) notwendig

Quelle /SWA 1/

Aus den praktischen Untersuchungen auf den Kläranlagen Köln Rodenkirchen und Köln Stammheim lassen sich die folgenden Auslegungsdaten /Baur 1/- wie in Tabelle 3-7 dargestellt - ableiten.

Tabelle 3-7 Auslegungsparameter Kontakt-/ Verweilzeiten Spurenstoffelimination /Baur 1/

		GAK-Filter	Ozonreaktor	Bio. Nachbeh.	Referenz
Filterbetthöhe (inkl. Stützschicht)	m	2,50	---	3,20	
Kontaktzeit (empty bed contact time)					
bei Q_{max}	min	19	---	16	37
bei Q_{mittel}	min	31	28	25	61
Filtergeschwindigkeit (Hydraulische Aufenthaltszeit)					
bei Q_{max}	m/h	8,0	17,3	12,4	5,1
bei Q_{mittel}	m/h	4,9	28,2	7,6	3,1
Abmessungen					
Länge	m	5,25	3,40	3,38	8,18
Breite	m	5,00	2,40	5,00	5,00
Filterbetthöhe	m	2,50	7,40	3,20	3,20
Filterfläche	m ²	26,3		16,9	40,9
Filterbettvolumen	m ³	65,6	60,4	54,1	130,9

→ Festlegung von Filtergeschwindigkeit und Kontaktzeit als Ausgangspunkt für klärtechnische Bemessung

Quelle /Baur 1/

Als Fazit und Übersicht der in den Kapitel 2 und 3 auf Basis einer Literaturrecherche zur angestrebten Darstellung des Standes von Technik und Wissenschaft aufgeführten Daten und Ergebnisse kann festgehalten werden,

- dass PAK und GAK einsetzbare Verfahren zur Spurenstoffentfernung darstellen,
- die Ozonung in Kombination mit einer biologischen Nachbehandlung ebenfalls eine leistungsfähige Alternative darstellt,
- die Membranverfahren NF und UO derzeit keine relevanten Verfahren zur Spurenstoffentfernung darstellen.

In der Veröffentlichung des Kompetenzzentrums Baden-Württemberg /Koms-BW 2/ sind die grundsätzlichen, relevanten Verfahrenstechniken wie in Abbildung 3-15 aufgeführt abschließend zusammengefasst.

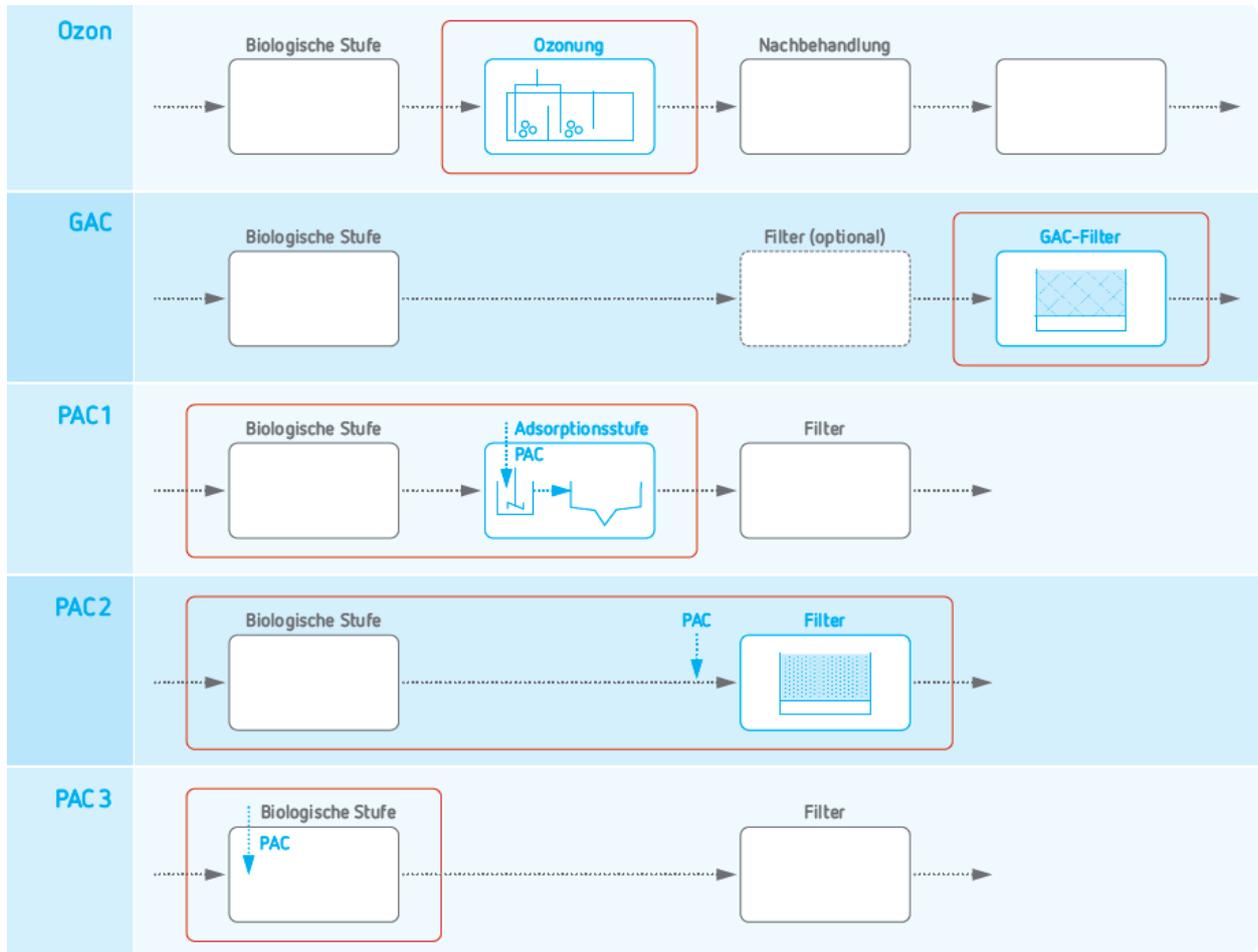


Abbildung 1: Mögliche Verfahrenstechniken der 4. Reinigungsstufe

○ »Wirkungsraum« der 4. Reinigungsstufe

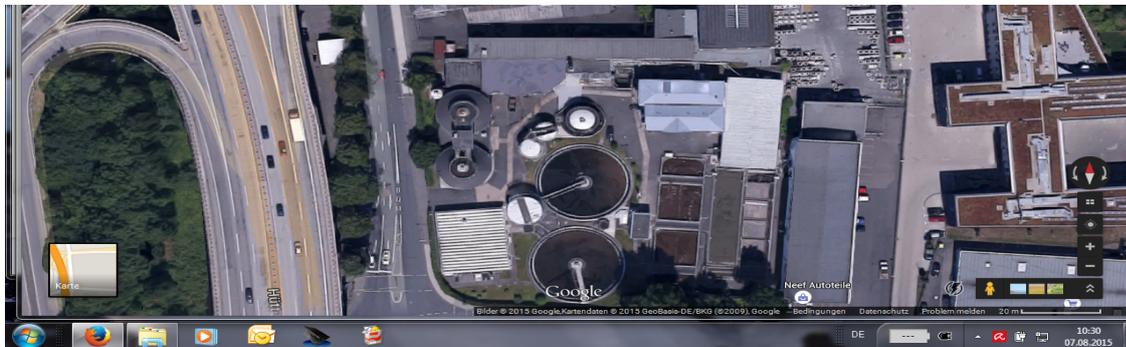
Quelle: /Koms-BW 2/

Abbildung 3-15: Blockschema mit Übersicht der Verfahren /Kom-M. BW 2/

Bezüglich der veröffentlichten Auslegungsgrößen etc. und den erzielbaren Betriebsergebnissen werden für die weitere Konzepterstellung u.a. folgende Quellen /Mertsch 1/, DWA 1/ /Kom-M.NRW 1/ /Kom – M.NRW 2/, /Kom BW 1/, Kom-BW2/, /ISA 1/, /ISA 5/, /ISA 6/ herangezogen.

4. Darstellung der relevanten Randbedingungen auf der Kläranlage

Die ESI betreibt neben der Kläranlage Siegen (aktuelle Belastung ~ 80.000 EW) u.a. noch die Kläranlage Siegen-Weidenau (aktuelle Belastung ~ 48.500 EW). Die Kläranlage Siegen-Weidenau soll gemäß vorliegender Wirtschaftlichkeitsbetrachtung 1 im Ortsteil Siegen-Weidenau siehe Abbildung 4-1 aufgegeben und mittels Verbindungssammler/ Druckleitung an die Kläranlage Siegen (Ortsteil Eiserfeld) angeschlossen werden.



Quelle: GoogleEarth – Standort Kläranlage Siegen Weidenau

Abbildung 4-1

Standort der Kläranlage Siegen Weidenau

Aber auch die Kläranlage Siegen weist unter den örtlichen Gegebenheiten (Platzsituation/ Stützen der Brücke etc.) deutliche Einschränkungen bzw. Beschränkungen auf. Mit einem Belebungsbeckenvolumen von in Summe knapp 30.000 m³ sowie einem Faulraumvolumen von 2 x 3.000 m³ verfügt diese nach erster Abschätzung hier weitgehend über ausreichende Kapazitäten für die aktuellen Anforderungen. Bauliche (notwendige Beton-Sanierung) und verfahrenstechnische Schwächen (unzureichende 2/3 Tiefe/ Zulaufbauwerke) in der Fest-Flüssig-Separation werden durch den Neubau eines Nachklärbeckens und der Nachrüstung höhenadaptiver Einlaufbauwerke in den beiden „ordentlichen“ runden Nachklärbecken behoben.

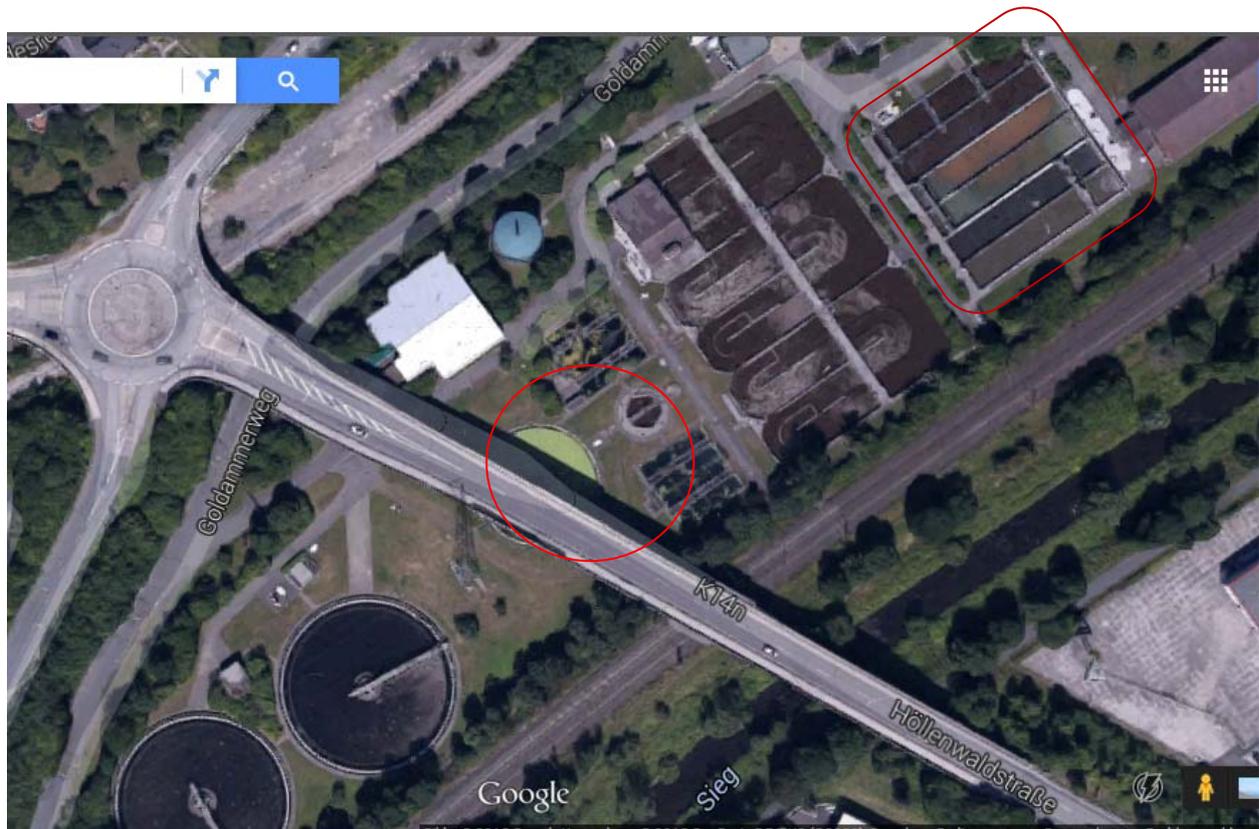


Abbildung. 4-2

Standort der Kläranlage Siegen im Ortsteil Eiserfeld

Die Abbildung 4-2 zeigt die Kläranlage Siegen mit der das Gelände/ NKBs überspannenden Brücke (siehe Problematik –Nutzbarkeit der Freiflächen- Stützpfeiler in Abbildung 4-3). Die mechanisch-biologische Stufe verfügt über die folgenden Bauwerke/ Anlagenteile bzw. wird derzeit mit dieser Bau- und Anlagentechnik betrieben:

2 x Vorklärbecken mit je V = 765 m³

2 x Denitrifikationsbecken mit je V = 725 m³ (alte VKB)

3 x Belebungsbecken (Carroussel) mit je V ca. 9.500 m³ damit Summe BB ~ 30.000 m³

5 x Nachklärbecken mit 2 x A = 365 m², 1 x A = 700 m² und 2 x A = 1.562 m²

1 x Sandfiltration = 8 Kammern mit zusammen A_{SF} ~ 256 m² und V_{SF} ~ 460 m³

Davon sollen die drei alten (kleinen) NKBs durch ein **neues (großes) NKB** ersetzt werden.

Neben den beiden Vorklärbecken liegen noch zwei Prozesswasserspeicherbecken mit

2 x V = 750 m³ (ebenfalls alte VKB).

Die Sandfiltration wird aktuell als Flockungsfiltration betrieben und als maßgeblich relevante Einheit zur Mikroschadstoffentfernung im Folgenden detaillierter beschrieben.

4.1 Sandfiltrationsanlage

Die auf der Kläranlage Siegen vorhandene Sand-/Flockungsfiltration wird seit nunmehr gut 20 Jahren betrieben. Grundsätzlich läuft die Anlage sicher und weitgehend störungsfrei. Ein Stillstand der Anlage bzw. einzelner Kammern/ Becken ergibt sich aufgrund notwendiger Sanierungsmaßnahmen etc. Grundsätzlich wird durch die guten Reinigungsleistungen der Belebungsstufe die Einhaltung der Ablaufanforderungen bereits gewährleistet.

Für den Betrieb der Sandfiltrationsanlage ist u.a. ein relevanter energetischer Aufwand notwendig, der unter den gegenwärtigen Randbedingungen mit dem Ziel einer Mikroschadstoff-/ Spurenstoffentfernung noch sinnvoller darstellbar wäre.

Die Bau- und Anlagentechnik der Sandfiltrationsanlage bietet sich vor dem Hintergrund einer Spurenstoffentfernung, wie in den Kapiteln 2 und 3 ausgeführt, damit an, in das Verfahrenskonzept integriert zu werden. Für die sinnvollen Verfahrensvarianten/-ergänzungen bietet die vorhandene Sandfiltration gute Kombinationsmöglichkeit bzw. ist diese für einen sicheren Betrieb einer Anlagentechnik zur Spurenstoffelimination (Ozonung/ PAK/ GAK) „gut nutzbar bis unerlässlich“.

Die folgenden Abbildungen 4-3 bis 4-12 zeigen die Sandfilteranlage (betrieben als Flockungsfiltration) mit Baujahr 1993-94.

Abbildung 4-3 zeigt den Rohrleitungskeller, das Kammergebäude mit der Halle sowie eine „leere“ Kammer.





Abbildung 4-3 Sandfilteranlage einzelne Kammern/ leere Kammer/ Rohrkeller

Die Sandfilteranlage verfügt über 8 mit Sand gefüllte Kammern siehe Abbildung 4-3 unten rechts der Abmessungen:

LxBxH	8,00 m x 4,00 m x	Filterboden	227,40 müNN
A = 32 m ²		Sand OK	229,20 müNN
Filterhöhe 1,80 m		Schwelle Zulauf Abwasser	231,44 müNN
		Unterwasser Filterkammer max.	231,38 müNN
		Wsp. Kammer	230,69 müNN (laut Plan)
		OK Bauwerk	232,73 müNN
		Klarwasserbecken OK	225,60 müNN
		Sieg Wsp. HH	226,50 müNN (aus VF)

Damit ergibt sich eine Filterfläche A_{SF} von $8 \times 8 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 256 \text{ m}^2$

Das Sandfiltervolumen V_{SF} beträgt nach derzeitiger Füllung ca. von $8 \times 8 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 1,80 \text{ m} \sim 460 \text{ m}^3$

Das freie theoretische Überstauvolumen über dem Sand ca. von $8 \times 8 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 2,18 \text{ m} \sim 558 \text{ m}^3$

Somit das max. theoretische Beckenvolumen: $460 \text{ m}^3 + 558 \text{ m}^3 \sim 1.020 \text{ m}^3$

Die Spülwasserpumpen/ Gebläse etc. mit der Verrohrung sowie Filtrat-/Spülwasser und Schlammwasserspeicher befinden sich im KG des Gebäudes. Mit einem Teil des Filtrates wird derzeit über Druckpumpen das Brauchwassernetz der Kläranlage gespeist. Eine kleine Ozonungsanlage von der Fa. Grünbeck dient der Hygienisierung des Brauchwassers siehe Abbildung 4-4.



Abbildung 4-4 Verrohrung der Sandfilteranlage Luft/Wasser-Rückspülung/ Brauchwasseranlage

Die Schaltanlage ebenfalls aus dem Baujahr 1993/94 mit einem Alter von gut 20 Jahren muss in Kürze für einen sicheren Weiterbetrieb der Anlage erneuert werden. Lediglich die Steuerung ist bereits in einem neuen Schaltschrank auf SPS S7 mit Touch-Panel umgerüstet worden. Diese ist im Zuge der Ertüchtigung des PLS mit einem LWL an die Schaltwarte angebunden worden. Abbildung 4-5 zeigt die Schaltschranksituation.



Abbildung 4-5 Schaltanlage der Sandfiltration/ mit einem neuen Schaltschrank/ Siemens S7

Die vorhandenen beiden Hebeschnecken (eine abgedeckt) wurde bereits teilweise erneuert (Getriebe). Da der normale Trockenwetterzufluss über eine Schnecke abgedeckt wird, steht eine der beiden Schnecken zu etwa 70-80 % der Zeit. Die Tröge der Schnecken bedürfen nach erster Einschätzung einer Sanierung.

Grundsätzlich ist an den Stahlbetonbauteilen wenig Sanierungsbedarf nach einer ersten Sichtung zu erkennen. In den Filterkammern müsste der exakte Bedarf noch ermittelt werden. In den Trog der Schnecken kann alternativ Fäll-/ und Flockungsmittel zugegeben werden.

Abbildung 4-6 zeigt die Zulaufschnecken, die Tröge und einen Teil der Dosiertechnik.



Abbildung 4-6 Hebeschnecken Sandfilteranlage/ Dosieranlage Eisensalz/ Polymer

Gemäß techn. Beschreibung von Sulzer /Sulzer 1/ ist die Sandfilteranlage

- auf einen Trockenwetterzufluss von 450-1.946 m³/h bzw. 32.780 m³/d sowie
- Regenwetterzufluss von max. 4.176 m³/h bzw. 90.000 m³/d ausgelegt.

Die Zulaufkonzentrationen wurden für CSB mit 60 mg/l, P mit 2,5 mg/l und AFS zwischen 20-30 mg/l angenommen.

Standzeit Filter bei Trockenwetter: 24 h

Filtergeschwindigkeit gemäß Auslegung:

Trockenwetter: 7,6 m/h

Regenwetter: 16,3 m/h

Spülgeschwindigkeit gemäß Auslegung (immer nur eine Filterkammer):

Luftspülung: ~ 100 m/h bei 32 m² -> 3.200 m³/h

Luft-/ Wasserspülung ~ 100 m/h sowie 15 m/h

Wasserspülung: ~ 80 m/h bei 32 m² -> 2.560 m³/h

Die folgende Abbildung 4-7 zeigt die Sandfilteranlage in der 3-D-Ansicht sowie in Abbildung 4-8 im Grundriss. /Klapp-Müller 1/



Abbildung 4-7

3-D Darstellung der Sandfilteranlage mit Zu- und Ableitung

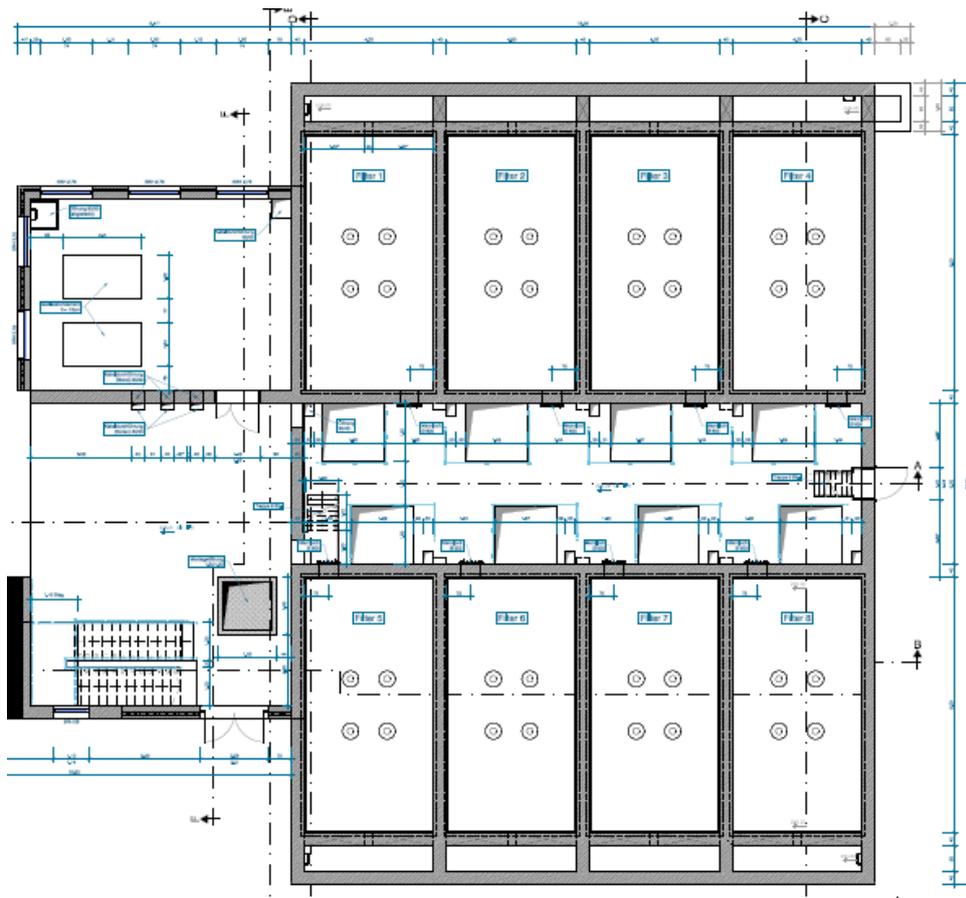


Abbildung 4-8 Grundriss des Sandfiltration zum EG mit den SF-Kammern

Die Vorlage „Spülwasser“ und der Speicher „genutztes Spülwasser“ befinden sich als Stahlbetonbauwerk unter den Sandfilterbecken im KG des Gebäudes/ Bauwerks wie in Abbildung 4-9 und 4-10 dargestellt.

3D Schnitt 1

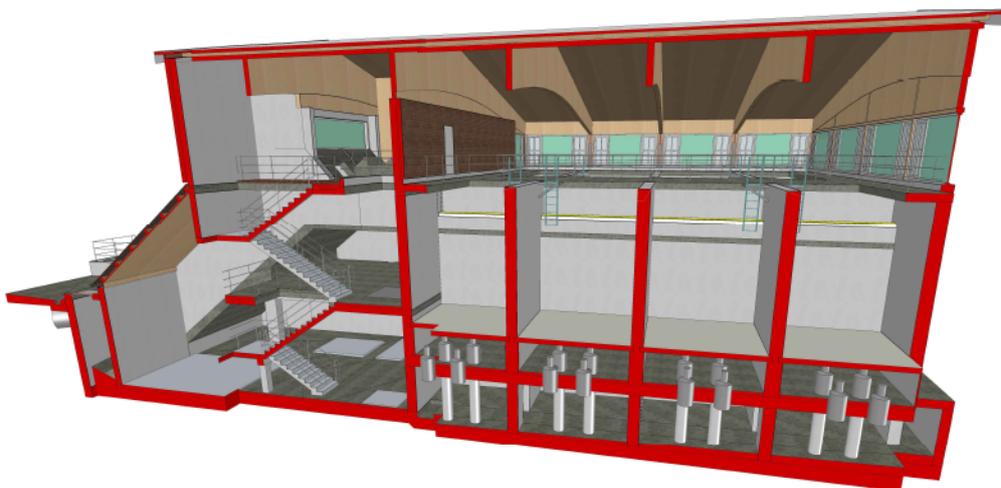


Abbildung 4-9

3-D Schnitt Sandfilteranlage

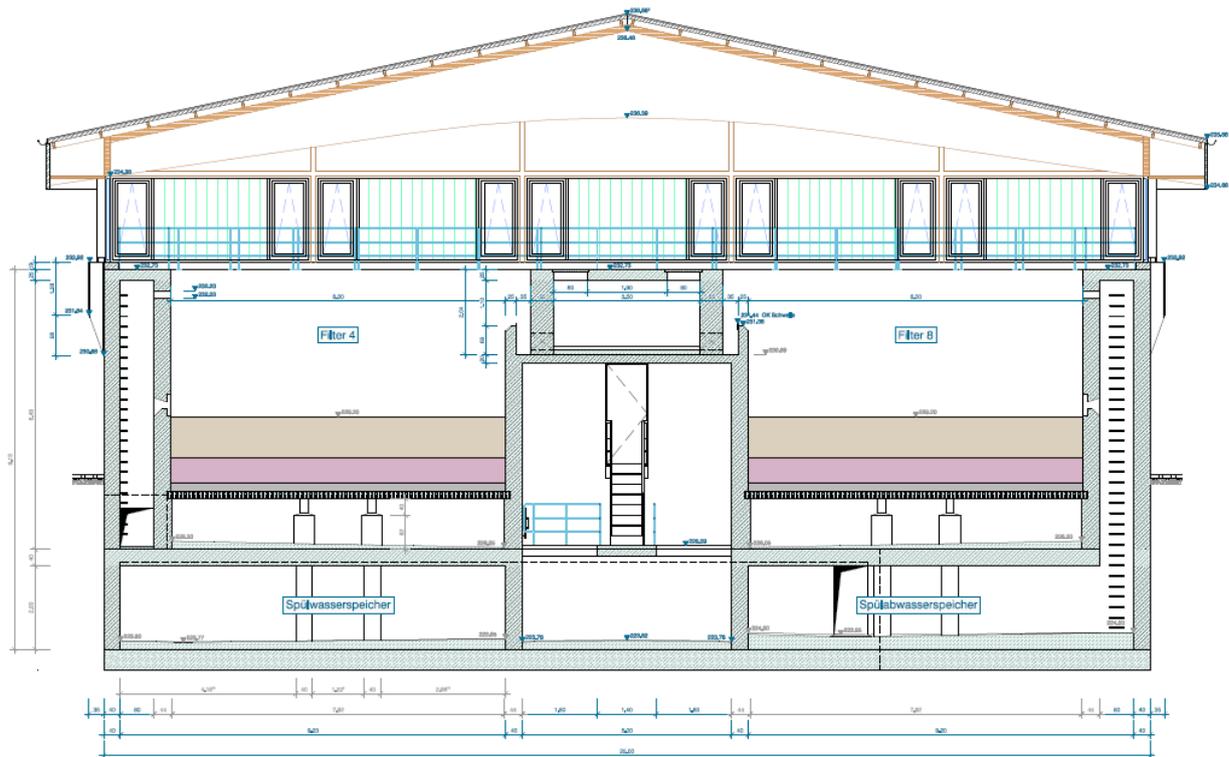


Abbildung 4-10

Schnitt der Sandfilteranlage

Die Filter werden gemäß dem unten in Abbildung 4-11 aufgeführten Verfahrensschema /Sulzer 1/ von oben nach unten durchströmt. Das Heben des Abwassers erfolgt über Schnecken. Zur Rückspülung des Filtermaterials steht Filtrat-/ Ablaufwasser der Kläranlage sowie eine Gebläsestation/ Lufteinblasung zur Verfügung. Die Filter können jeweils nur nacheinander gespült werden. Das zur Rückspülung eingesetzte Filtratwasser wird über ein Absetzbecken vom Filtratschlamm getrennt. Der Filtratschlamm wird zur Überschussschlammeindickung, das Überstandwassers zur Behandlung in die Belebungsstufe gepumpt.

Durch die Stillstandszeit während der Rückspülung und den Verlust des Rückspülwassers (etwa 5 %) wird die Ausbeute der Sandfiltration negativ beeinflusst.

Am Kopf der Schnecken kann dem Überstau der einzelnen Filterkammern ein Fäll-/ Flockungsmittel, z.B. Eisensalz/ Polymer zugegeben werden.

Gemäß dem Verfahrensschema stehen für die Funktion Rückspülung der einzelnen Kammern zwei Rückspülpumpen und zwei Rückspülgeläse zur Verfügung. Dazu wird ein „kleiner Teil“ des sandfiltrierten Abwassers im Spülwasserbecken als Vorlage für die Rückspülung und zur Brauchwasserentnahme gespeichert.

4.2 Belastungssituation der Kläranlagen Siegen und Weidenau und nach Zusammenlegung

Die nach Anschluss der Kläranlage Weidenau dann für die Kläranlage Siegen-Eiserfeld (summierte nominale Belastung ~ 128.500 EW) u.a. relevante Mischabwassermenge Q_m wird **1.050 l/s bzw. 3.780 m³/h** betragen. Aus den summierten Frachten (**inklusive der Rückbelastung ~ 15 %, bezogen auf Stickstoff**), ergeben sich je nach Parameter und Belastungszustand umgerechnet ähnliche Werte.

Die angenommene prozentuale Rückbelastung durch die Schlammwässer aus der anaeroben Schlammbehandlung bzgl. der Stickstoffbelastung mit etwa 15 % entspricht den belastbaren Literaturwerten und den praktischen Erfahrungen. Allerdings wird die ESI hier kurzfristig durch eigene Analysen/ Bilanzierung die tatsächliche Rückbelastung ermitteln.

So wird in /DWA 2/ festgestellt, dass „

Die Stickstoff-Rückbelastung kommunaler Kläranlagen aus der Schlammbehandlung beträgt etwa $1,5 \text{ g N}/(\text{EW} \cdot \text{d})$ bzw. etwa 15 % bis 25 % bezogen auf den Gesamtstickstoff im Zulauf zur biologischen Stufe (Bild 1). Die Ablaufkonzentration der biologischen Stufe kann damit in

Tabelle 4-1 weist die sich ergebenden Abwassermengen für die Kläranlagen Siegen und Weidenau sowie nach Zusammenlegung für die Kläranlage Siegen aus /Klapp-Müller 1/. Wesentlich für die Bemessung der Verfahrenstechnik zur Spurenstoffelimination sind die in Tabelle 4-1 angegebenen Abwassermengen sowie die Parameter AFS, TOC, DOC und Nitrit sowie Bromid (siehe Kapitel 5) im Ablauf der Nachklärbeckenstufe.

Für den mittelfristig anvisierten Belastungszustand (siehe Prognose) werden gemäß Tabelle 4-1 etwa 136.000 EW und

ein Mischwasserzufluss von $1.050 \text{ l/s} - 3.780 \text{ m}^3/\text{h}$

ein Trockenwetterzufluss Q_{T24} $360 \text{ bzw. } 337 \text{ l/s} - 1.213 \text{ m}^3/\text{h}$

sowie eine Trockenwettermenge von $\sim 31.000 \text{ bzw. } 29.100 \text{ m}^3/\text{d}$ (Prognose)

zu Grunde gelegt. Diese Daten sind dann auch Grundlage für die Konzeption zur Spurenstoffelimination.

Es werden im Laufe der nächsten Jahre in Bezug auf die Reduzierung der Fremdwassereinträge ins Netz entsprechende Maßnahmen unternommen, so dass die oben angegebenen Daten erreicht werden.

Tabelle 4-1 Hydraulische Belastung der Kläranlagen Siegen mit Weidenau
(einzeln und angeschlossen)

 Erweiterung Kläranlage Siegen Auswertung aktuelle Netzplanung und Schmutzfrachtnachweis BauPlan Ingenieurbüro vom 12.12.2014		 KLAPP + MÜLLER GMBH Ingenieurbüro für Bau- und Umwelttechnik Auftrags-Nr.: 1053	
	Ist-Zustand (Stand 2010)	Zuwachs (bereits erschlossene Gebiete)	Prognose-Zustand
Abwassermengen			
KA Siegen:			
Mischwasserzufluss Q_m	900 l/s		
Trockenwetterzufluss Q_{t24}	222,3 l/s		
Tagestrockenwettermenge Q_d	19.207 m ³ /d		
KA Weidenau:			
Mischwasserzufluss Q_m	358 l/s		
Trockenwetterzufluss Q_{t24}	139,6 l/s		
Tagestrockenwettermenge Q_d	12.061 m ³ /d		
Gesamt KA Siegen:			
Mischwasserzufluss Q_m	1.050 l/s		1.050 l/s
Trockenwetterzufluss Q_{t24}	361,9 l/s		336,9 l/s (inkl. FW-Reduzierung)
Tagestrockenwettermenge Q_d	31.268 m ³ /d		29.108 m ³ /d

Der Umbau zum Anschluss der Kläranlage Siegen Weidenau sieht u.a. als eine Alternative dann folgende Stufen vor:

2 x Vorklärbecken mit je $V = 765 \text{ m}^3$

2 x Kaskade 1 Becken mit je $V = 725 \text{ m}^3$ (TS-7,06 g/l sowie 44 % Zulauf)

1 x Kaskade 1 Becken (Carroussel) mit je $V = \text{ca. } 9.630 \text{ m}^3$ (TS-7,06 g/l sowie 44 % Zulauf)

1 x Kaskade 2 Becken (Carroussel) mit je $V = \text{ca. } 9.520 \text{ m}^3$ (TS-5,64 g/l sowie 30 % Zulauf)

1 x Kaskade 3 Becken (Carroussel) mit je $V = \text{ca. } 9.280 \text{ m}^3$ (TS-4,80 g/l sowie 26 % Zulauf)

damit Summe BB $\sim 30.000 \text{ m}^3$

3 x Nachklärbecken mit 1 x $A = 2.123 \text{ m}^2$ und 2 x $A = 1.562 \text{ m}^2$

Neben den beiden Vorklärbecken liegen noch zwei Prozesswasserspeicherbecken mit

2 x $V = 750 \text{ m}^3$.

Ergänzend wäre auch eine separate Behandlung zur Schlammwasserbehandlung denkbar bzw. wird diese derzeit alternativ bedacht.

Der Zulauf zur Sandfiltration erfolgt vom Bauwerk - MID-Schacht - mit einer DN 1200 Leitung. Der Ablauf nach der Sandfiltration erfolgt dann wieder zurück zum Bauwerk – MID-Schacht – ebenfalls über eine DN 1200 Leitung.

Abbildung 4-13 zeigt den geplanten Neubau des Nachklärbeckens sowie die Abwasserverteilung (Quellschacht) auf die NKBs 1-3 mit der Rücklaufschlammführung in die Kaskade 1 bzw. die Alternativen zur Kaskade 2 und 3 bzw. direkt in den Quellschacht vor die Belebungsstufe (möglicher Parallelbetrieb der Belebungsstufen 1 bis 3). Die Rezirkulation erfolgt aus den Zonen nach der Nitrifikation Kaskade 1 bis 3 vor das Denitrifikationsbecken 1.

Oberhalb des neuen NKBs liegt auf der gegenüberliegenden Seite der Zufahrt die Sandfiltration. In Richtung der in zwei Reihen hintereinanderliegenden Sandfilterkammern mit jeweils 4 pro Reihe steht in geringem Abstand der kürzlich sanierte Gasspeicher.

Das Kläranlagen-Gelände ist im Bereich der Sandfiltration durch die Zuwegungen auf der Anlage, die vorbeiführende Straße sowie u.a. die Brückenpfeiler begrenzt.

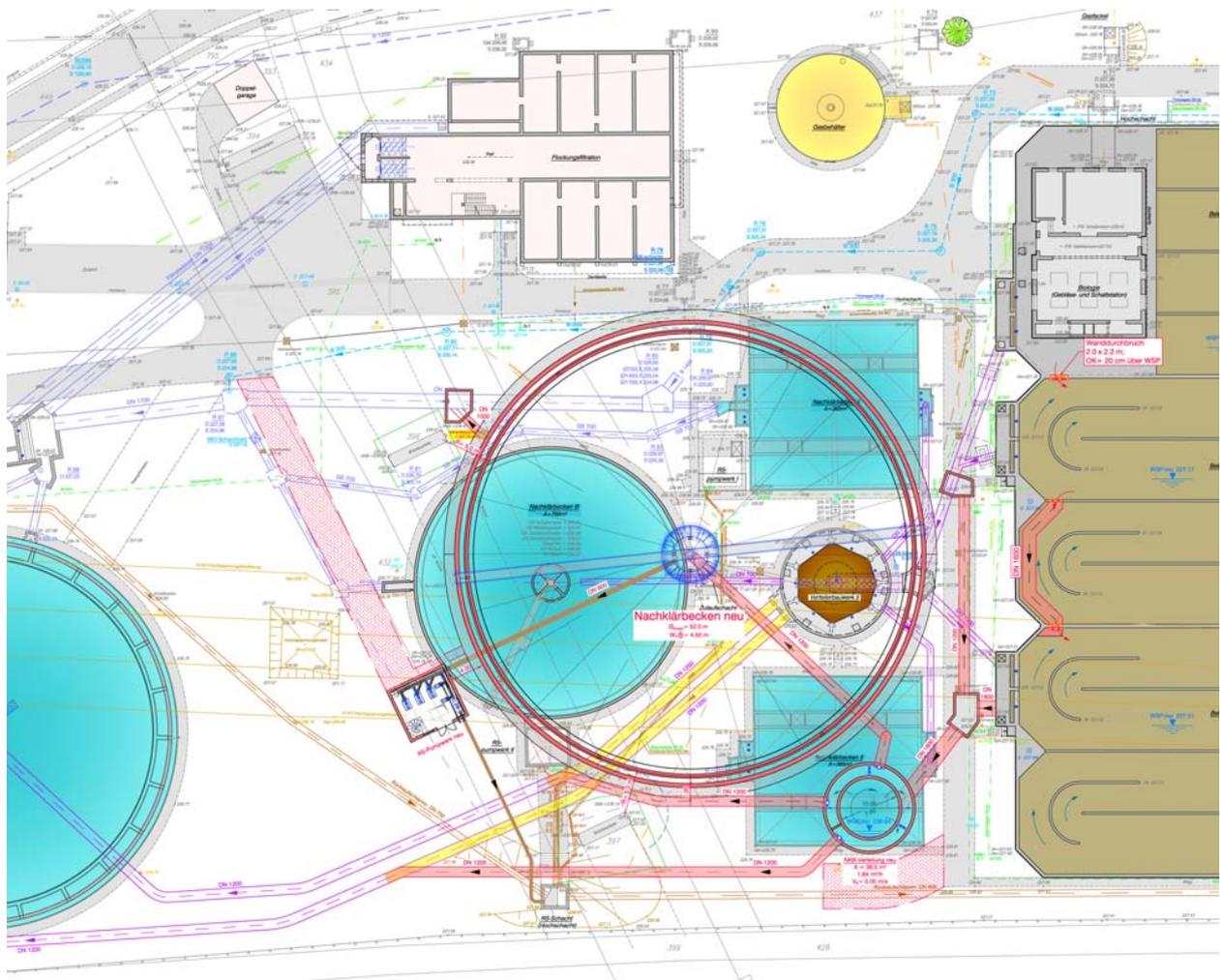


Abbildung 4-13

Lageplan des geplanten neuen, dann dritten NKB

Die derzeit auf der Kläranlage Siegen betriebene Belebungsstufe mit Nachklärbecken weisen im Ablauf vergleichsweise gute Werte bzgl. CSB/ DOC und AFS auf. Ein Teil der Nachklärbecken sind altersbedingt allerdings zu sanieren bzw. ist es wirtschaftlicher, ein neues NKB zu bauen. Damit kann dann die Nachklärstufe an die Erfordernisse zum Anschluss der KA Weidenau angepasst werden.

Die durchschnittliche Ablaufkonzentration für den CSB liegt im Jahr 2014 bei rund 19 mg/l. Dabei bewegen sich die Ablaufkonzentrationen gemäß folgender Abbildung 4-14 in einer Bandbreite von 5-35 mg/l. Als Abschätzung kann ein Verhältnis von CSB/ DOC mit 2-3 angesetzt werden, so dass eine mittlere DOC-Konzentration von 7-10 mg/l zugrunde gelegt werden kann.

Die mittleren AFS-Konzentrationen betragen rund 4-5 mg/l. Diese „niedrigen“ Konzentrationen an CSB/DOC und AFS sowie auch Nitrit (siehe auch Abbildung 4-6) bieten grundsätzlich gute Voraussetzungen für eine effiziente Spurenstoffelimination durch Ozonung oder eine Aktivkohle-Adsorption.

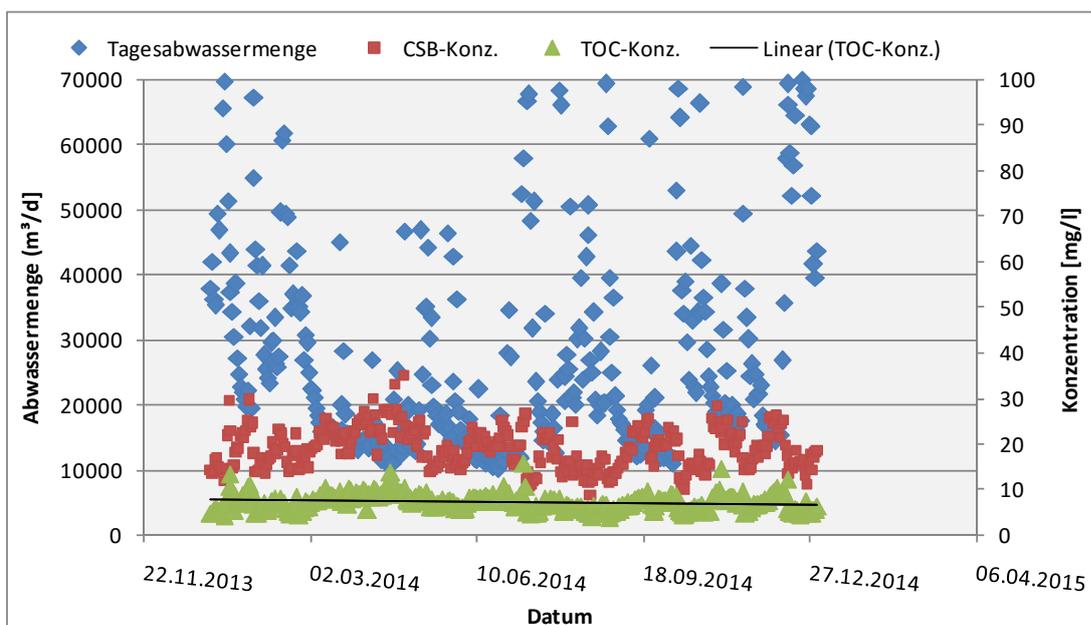


Abbildung 4-14 Tagesabwassermenge, CSB- und TOC-Konzentrationen im Ablauf der KA Siegen (24 h Mischprobe)

Die Schwankungsbreite der CSB-Ablaufkonzentration bewegt sich im Wesentlichen zwischen 12 und 25 mg/l, die TOC-Ablaufkonzentration zwischen 4 und 10 mg/l.

Die durchschnittliche CSB-Konzentration im Ablauf betrug im Jahr 2014 18,9 mg/l, für die TOC-Konzentration beträgt diese 7,14 mg/l.

Abbildung 4-15 zeigt die durchschnittlich erreichten AFS-Konzentrationen von 4 mg/l der Jahre 2011 bis 2014. Die relevante Schwankungsbreite der AFS-Konzentration bewegt sich in einem Bereich von 1,5 bis etwa 7 mg/l.

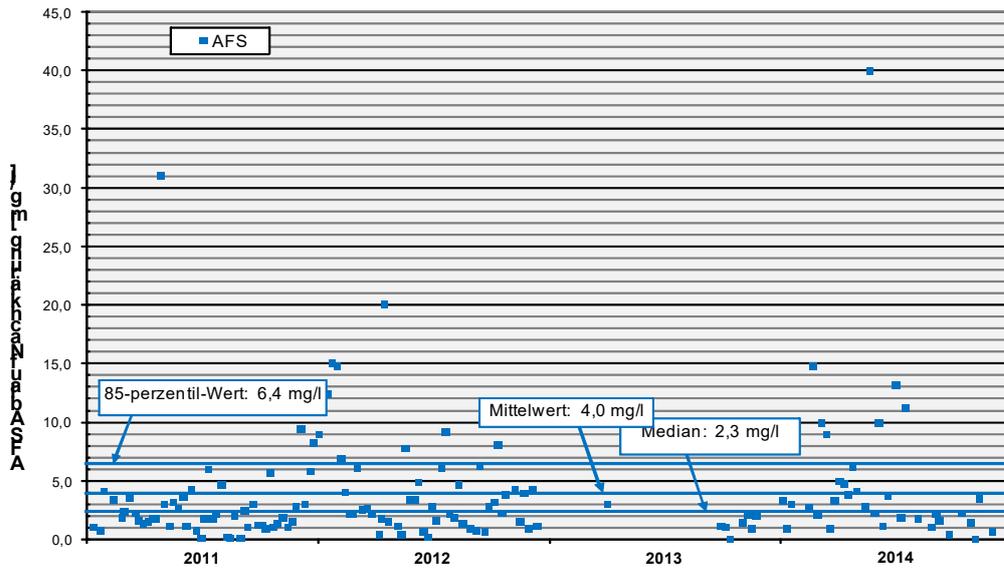


Abbildung 4-15 Konzentrationen an AFS im Ablauf der KA Siegen (24 h Mischprobe)

Aus Abbildung 4-16 ist erkennbar, dass die Nitrikonzentrationen im Jahr 2014 im Wesentlichen unter 0,1 mg/l lagen. In der Umstellungsphase der Biomasse im Frühjahr/ Herbst wurden im März/April sowie November/ Dezember Nitrikonzentrationen von bis zu 0,2 mg/l ermittelt.

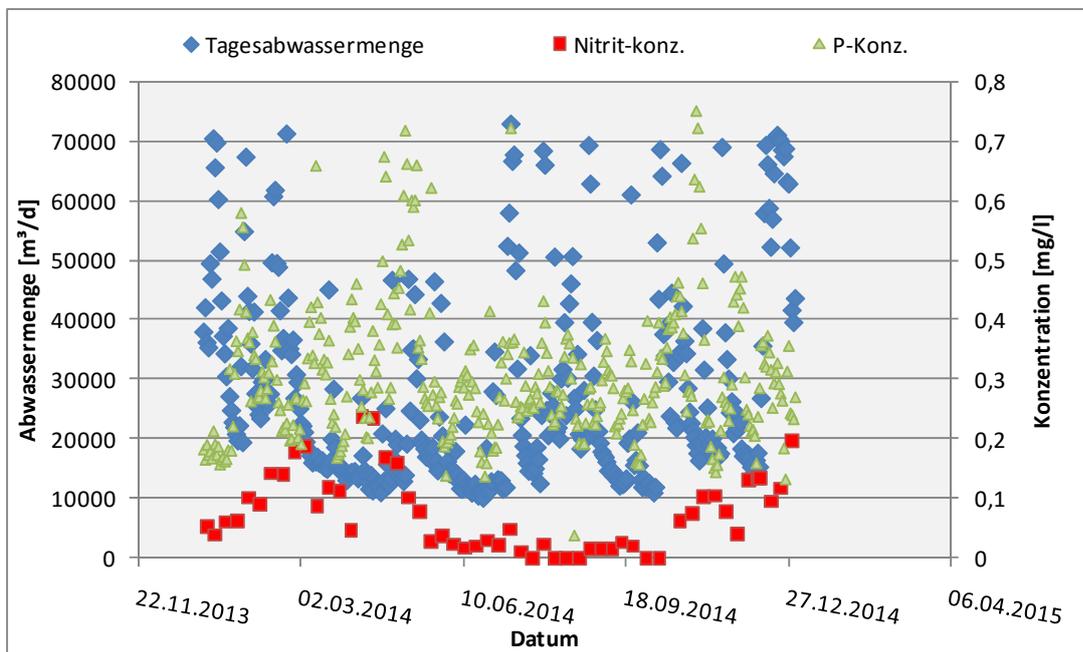


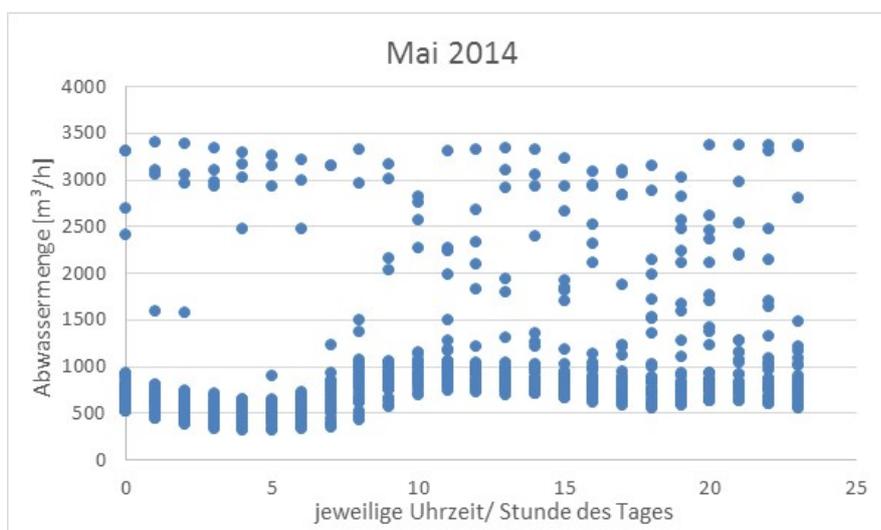
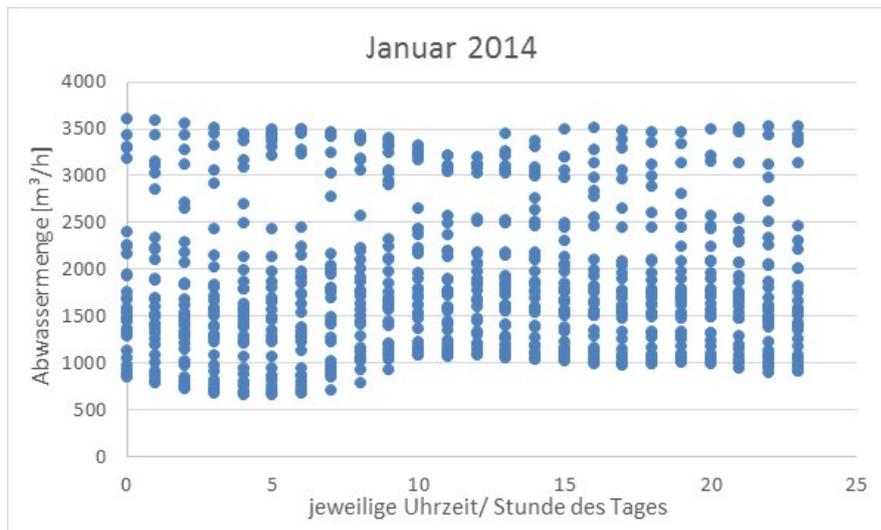
Abbildung 4-16 Nitrit und P_{ges} Ablauf-Konzentrationen der KA Siegen (24 h Mischprobe)

Die Konzentration im Ablauf der Nachklärung liegt für P_{ges} durchschnittlich bei 0,31 mg/l. Die Wesentliche Schwankungsbreite von P_{ges} liegt bei Konzentrationen von 0,15 bis 0,5 mg/l. Wenige Ausreißer gehen auf Werte von 0,6 bis 0,8 mg/l „hoch“.

Die durchschnittliche täglich behandelte Abwassermenge beträgt in 2014 rund 27.640 m³/d. Die 85-Perzentil-Menge liegt bei etwa 46.000 m³/d.

Die in den Jahren 2011-2014 durchschnittlich behandelte Jahresabwassermenge beträgt für **die KA Siegen rund 11.000.000 m³/a.**

Für das Jahr 2014 wurden einige ausgewählte Monate bzgl. der tatsächlichen **Abwassermengen in m³/h** der Kläranlage Siegen für die jeweiligen Stunden von 0-24 Uhr in folgenden Grafiken Abbildung 4-17 dargestellt.



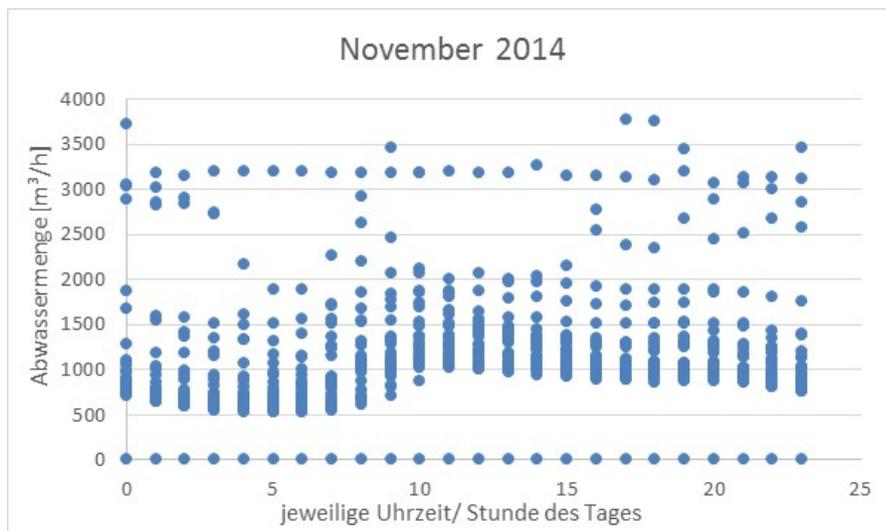


Abbildung 4-17 stündliche Abwassermengen im Tagesverlauf (0-24 Uhr) im Ablauf der KA Siegen

Aus Abbildung 4-17 bzw. dem Anhang ist für den jeweiligen Monat, z.B. April oder Mai 2014, ein Nachtzufluss der KA Siegen auf 500 m³/h und geringer abzulesen. Abbildung 4-18 zeigt diese Verhältnisse im Zeitablauf (Stunden 0-190 beginnend bei 0 Uhr) der jeweiligen ausgewählten Monate in 2014 für die KA Siegen.

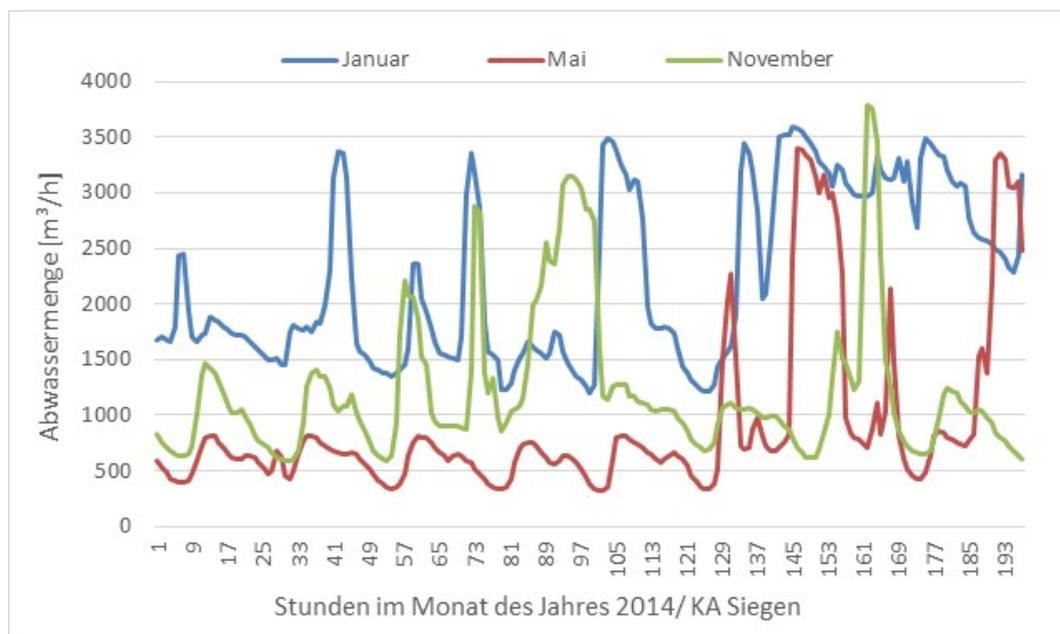


Abbildung 4-18 stündliche Abwassermengen im Stundenverlauf (0 Uhr beginnend) im Ablauf der KA Siegen

Abbildung 4-19 zeigt die täglichen Abwassermengen **der Kläranlage Siegen-Weidenau**. Diese betragen bei Regenwetter zwischen 20.000 und 30.000 m³/d und Trockenwetter etwa 10.000-15.000 m³/d.

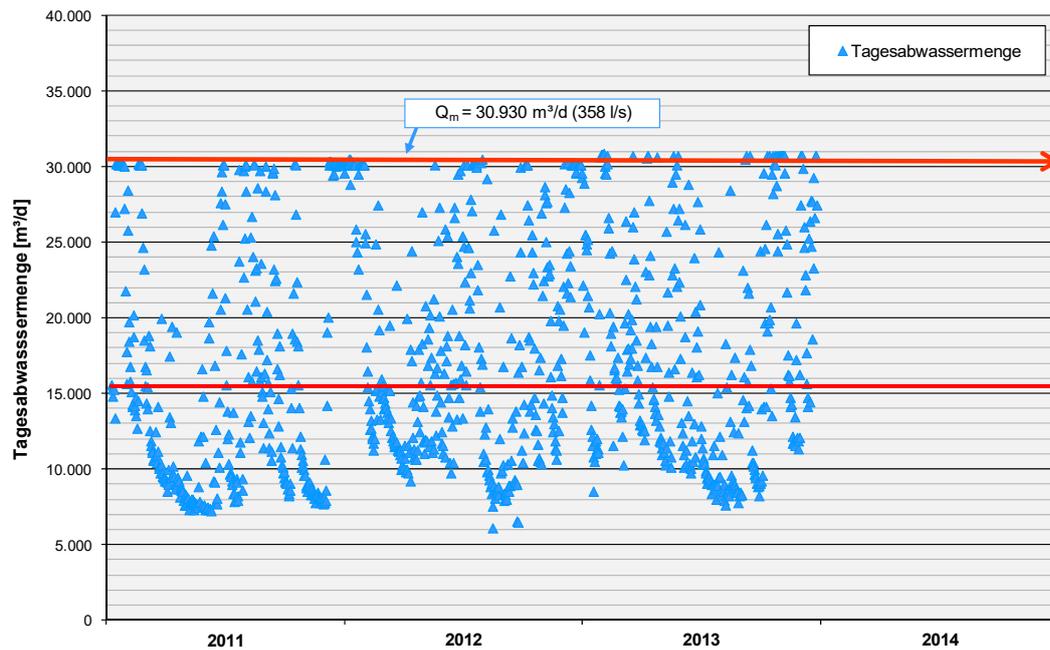
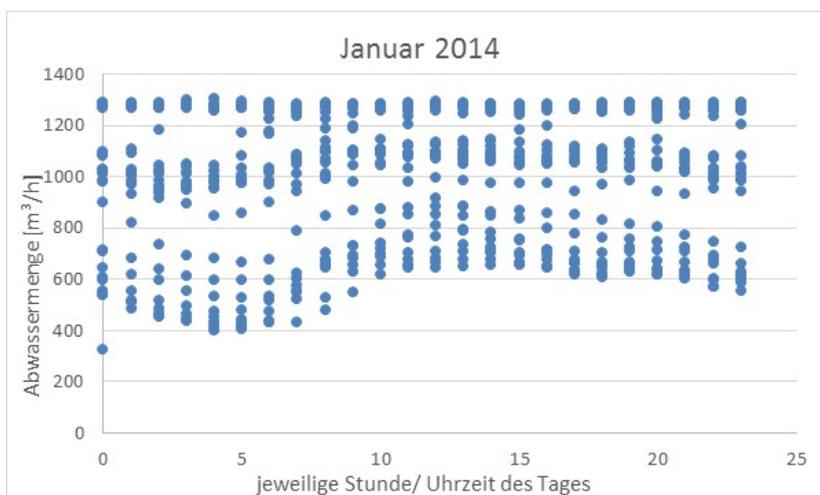


Abbildung 4-19 Tagesabwassermengen im Ablauf der KA Weidenau

Die insgesamt in den Jahren 2011-2013 behandelte durchschnittliche **Jahresabwassermenge (JAM)** beträgt für die KA Weidenau rund **6.500.000 m³/a**.

Für das Jahr 2014 wurden einige Monate bzgl. der tatsächlichen Abwassermengen in m³/h für die jeweiligen Stunden von 0-24 Uhr in folgenden Grafiken der Abbildung 4-20 dargestellt.



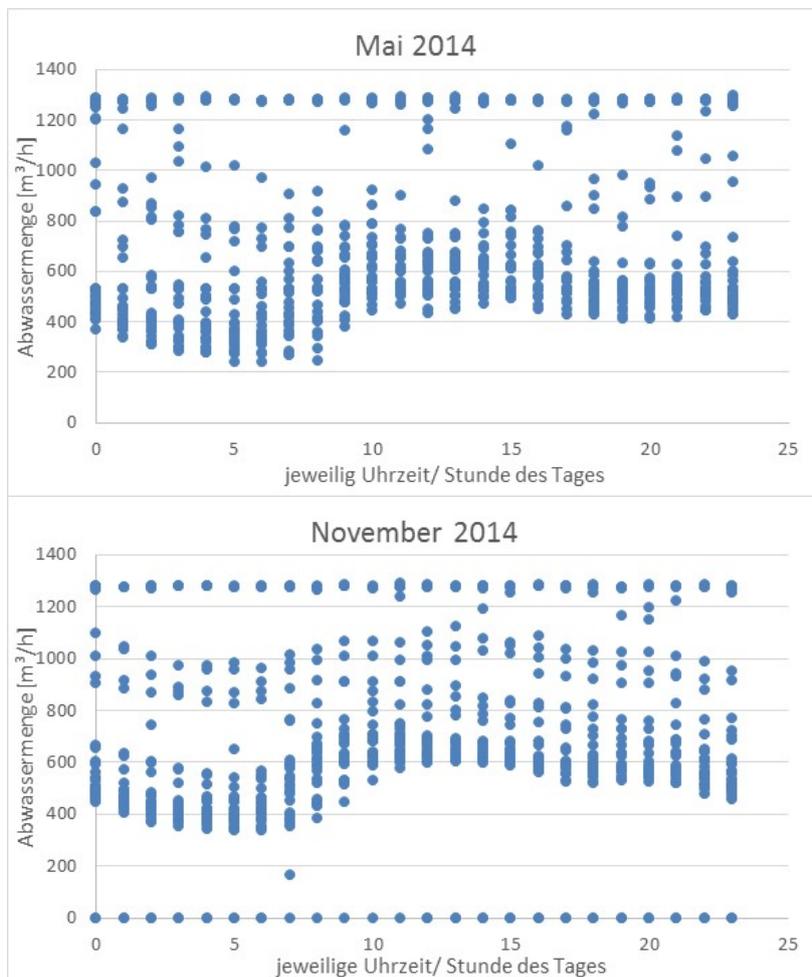


Abbildung 4-20 stündliche Abwassermengen im Tagesverlauf (0-24 Uhr) im Ablauf der KA Weidenau

Aus Abbildung 4-20 bzw. dem Anhang sind für die vergleichsweise trockenen Monate, z.B. April oder Mai 2014, der Nachtzufluss der KA Weidenau auf unter 400 m³/h abzulesen.

Abbildung 4-21 zeigt diese Verhältnisse im Zeitablauf (Stunden 0-190 beginnend bei 0 Uhr) der jeweiligen Monate in 2014 für die KA Weidenau.

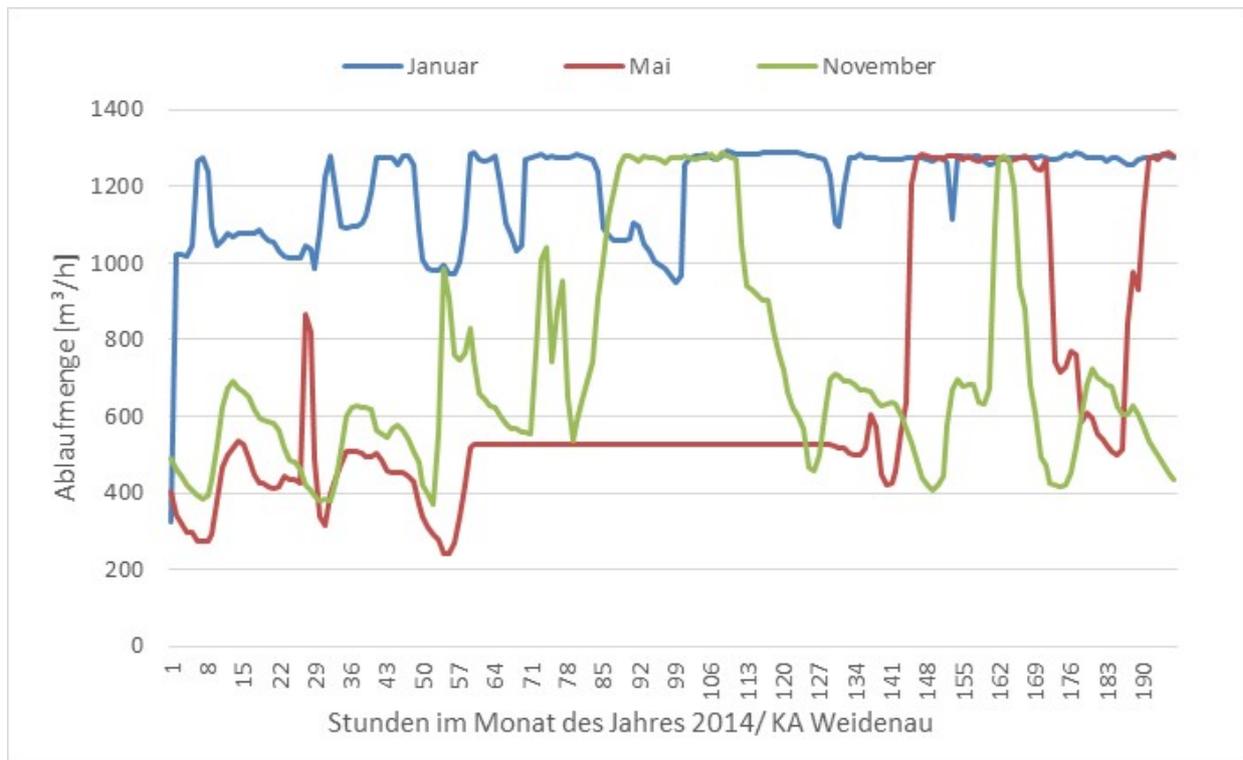


Abbildung 4-21 stündliche Abwassermengen im Stundenverlauf (0 Uhr beginnend) im Ablauf der KA Weidenau

FAZIT:

Die Kläranlage Siegen weist unter dem derzeitigen Belastungs- und Ausbauzustand vglw. gute Ablaufwerte auf. Diese lassen eine wirtschaftliche Elimination von Mikroschadstoffen im Anschluss an die Nachklärung oder die Sandfiltration erwarten, da die unerwünschte/ störende „Hintergrundbelastung“ vglw. gering ist.

Für die hydraulische Dimensionierung der Verfahrensalternativen ist eine zu behandelnde Abwassermenge von rund 1.800 m³/h der ausgebauten Kläranlage Siegen (mit KA Weidenau) eine sinnvolle Zielgröße. So kann eine tägliche Abwassermenge Q_d von etwa 33.000 m³/d und eine Jahresabwassermenge von knapp 14.000.000 m³/a in der Anlage zur Mikroschadstoffbehandlung abgeschätzt behandelt.

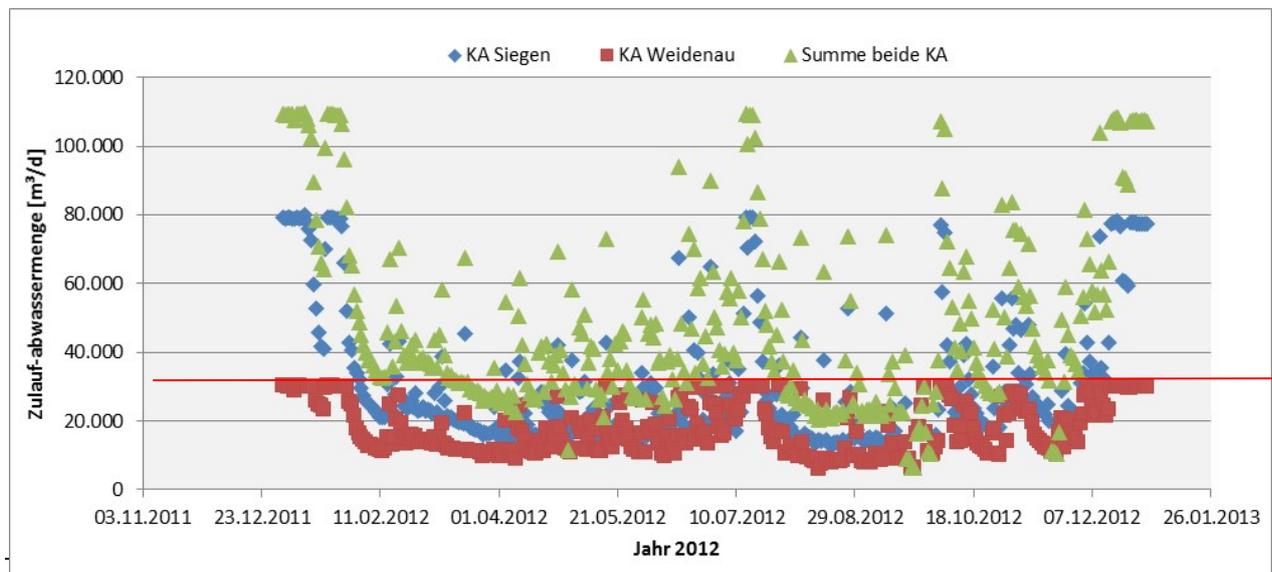


Abbildung 4-22 Tagesabwassermengen der KA Siegen und der KA Weidenau sowie als Summe

Aus Abbildung 4-22 ist erkennbar, dass die summierten Tagesabwassermengen aus dem Jahr 2012 der beiden Kläranlagen in der Regel im Bereich zwischen 25.000 m^3/d und etwa 35.000 m^3/d (Trockenwetter) liegen.

Die aus den zurückliegenden Jahren für beide Kläranlagen summierte **Jahresabwassermenge ergibt dann für die ausgebaute Kläranlage Siegen (nach Anschluss der KA Weidenau) eine JAM von etwa 17.500.000 m^3/a .**

Somit werden knapp 80 % der JAM der ausgebauten KA Siegen in einer möglichen Anlage zur Mikroschadstoffentfernung behandelt.

4.3 Indirekteinleiter als mögliche „Quellen“ der Mikroschadstoffe

In der Kläranlage Siegen wird nach Anschluss der Kläranlage Siegen-Weidenau maßgeblich das gesamte Abwasser der Stadt Siegen behandelt. Die Stadt Siegen stellt das wirtschaftliche und infrastrukturelle Zentrum des Siegerlands dar. Daher verfügt die Stadt Siegen auch über entsprechende Einrichtungen zur medizinischen Versorgung sowie etlicher gewerblicher/ industrieller Betriebe.

Die Aufstellung der Indirekteinleiter ist im Folgenden zusammengestellt /Quelle ESI 2015/.

Tabelle 4-2

Liste Indirekteinleiter Gewerbe/ Industrie

Betriebe, Beschäftigte, gezahlte Entgelte und Umsatz im Verarbeitenden Gewerbe in Siegen 2014 nach Wirtschaftsabteilungen

Wirtschaftsabteilung (WZ 2008)	Betriebe	Beschäftigte	gezahlte Entgelte	Umsatz	Auslands-umsatz
	Anzahl		1000 Euro		
C Verarbeitendes Gewerbe insgesamt (10 ... 33)	71	7 196	325 452	1 670 491	677 867
10 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	4	103	2 136	11 766	0
11 Getränkeherstellung	-	-	-	-	-
12 Tabakverarbeitung	-	-	-	-	-
13 Herstellung von Textilien	-	-	-	-	-
14 Herstellung von Bekleidung	-	-	-	-	-
15 Herstellung von Leder, Lederwaren, Schuhen	-	-	-	-	-
16 Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	-	-	-	-	-
17 Herstellung von Papier, Pappe, Waren daraus	1	.	.	.	.
18 Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von Ton-, Bild-, Datenträgern	2	.	.	.	.
19 Kokerei und Mineralölverarbeitung	-	-	-	-	-
20 Herstellung von chemischen Erzeugnissen	-	-	-	-	-
21 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	-	-	-	-	-
22 Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	-	-	-	-	-
23 Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	2	.	.	.	.
24 Metallerzeugung und -bearbeitung	17	3 152	147 920	972 547	416 416
25 Herstellung von Metallerzeugnissen	18	1 122	48 405	202 045	52 507
26 Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	3	114	4 767	13 057	2 158
27 Herstellung von elektrischer Ausrüstung	5	581	26 006	107 178	.
28 Maschinenbau	11	1 366	64 921	236 333	155 217
29 Herstellung von Kraftwagen und Kfz-Teilen	1	.	.	.	.
30 Sonstiger Fahrzeugbau	-	-	-	-	-
31 Herstellung von Möbeln	-	-	-	-	-
32 Herstellung von sonstigen Waren	3	93	1 779	4 382	0
33 Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstung	4	96	5 207	12 622	.

Tabelle 4-3

Liste Indirekteinleiter Kliniken

Planbetten Siegener Krankenhäuser	Betten-Ist	Betten-Soll	Stand: 01.01.2014
Kreisklinikum Siegen	595	541	
St. Marien-Krankenhaus Siegen	441	441	
<i>Diakonie Klinikum Siegen</i>	<i>-688</i>	<i>-703</i>	
<i>- Betriebsstelle Jung-Stilling-Krankenhaus Siegen</i>	414	380	
DRK-Kinderklinik	138	162	
gesamt:	1.588	1.524	

Planbetten Siegener Krankenhäuser inkl. Tagesklinik	Betten-Ist	Betten-Soll	Stand: 01.01.2014
Kreisklinikum Siegen	595	559	
St. Marien-Krankenhaus Siegen	441	441	
<i>Diakonie Klinikum Siegen</i>	<i>-688</i>	<i>-703</i>	
<i>- Betriebsstelle Jung-Stilling-Krankenhaus Siegen</i>	414	380	
DRK-Kinderklinik	148	176	
gesamt:	1.598	1.556	

Tabelle 4-4

Liste Indirekteinleiter Alten-/ Pflegeheime

8.10 Altenpflegeheime		Stand: 01.01.2014			
Bezeichnung/ Name des Altenheims	Träger des Pflegeheims	Stadtteil	Plätze insgesamt	darunter für Kurzzeitpflege	Tages- pflege
Kursana Theodor-Keißler-Haus	Kursana Residenzen ¹⁾	Siegen	90	10	10
Fritz-Fries-Zentrum der AWO	Arbeiterwohlfahrt Bezirk Westf. Westfalen, Dortmund	Siegen	113	10*	
Altenzentrum Sophienheim (Addy-Brands-Haus)	Diakonische Altenhilfe Siegerland gGmbH, Siegen	Siegen	117	15*	
Christofferhaus	Christofferhaus Siegen gGmbH, Siegen	Siegen	96	4*	12
Ev. Hospiz Siegerland	Ev. Krankenhausverein Siegerland e.V.	Siegen	8		
Haus Obere Hengsbach	Diakonische Altenhilfe Siegerland gGmbH, Siegen	Siegen	98	8*	
Marienheim	GSS Gesundheitsservice Siegen gGmbH, Siegen	Weidenau	119	10*	
Fliedner-Heim	Diakonische Altenhilfe Siegerland gGmbH, Siegen	Weidenau	74	10*	
Casa Reha Gilberghof	Casa Reha Altenpflegeheim GmbH, Oberursel	Eiserfeld	80	8*	
Insgesamt			795	10	22

Die aufgeführten Indirekteinleiter lassen keine besonderen / überproportionalen Einleitungen von Mikroschadstoffen erwarten. Ein medizinischer/ klinischer Einfluss auf die zu ermittelnden Mikroschadstoffe kann erwartet werden bzw. ist zu erwarten.

4.4 Ermittlung der zur Mikroschadstoffentfernung relevanten Abwassermenge

Gemäß Tabelle 4-1 wurde für die dann erweiterte Kläranlage Siegen

Eine Trockenwassermenge Q_{t24} von rund 1.300 m³/h

Eine Tages trockenwettermenge Q_d von rund 31.500 m³/d

berechnet.

Aus den unter Kapitel 4.2 aufgeführten Abbildungen/ Auswertungen lässt sich für die erweiterte Kläranlage Siegen eine Tages trockenwettermenge mit der Schwankungsbreite von ~ 25.000-35.000 m³/d ermitteln.

Der typische Nachtzufluss bei Trockenwetter wird dann in Summe etwa 900 m³/h betragen (siehe Abbildungen 4-17 und 4-20).

Ansatz:

Tageszufluss: 16 h

Nachtzufluss: 8 h

Die für die Auslegung einer verfahrenstechnischen Anlage zur Mikroschadstoffentfernung

relevante Tages trockenwettermenge beträgt: ~ 35.000 m³/d (siehe oben)

Daraus ergibt sich die relevante stündliche Abwassermenge „Mikroschadstoffentfernung“:

Q_t -Auslegung: $(35.000 \text{ m}^3/\text{h} - 8 \text{ h} \times 900 \text{ m}^3/\text{h}) / 16 \text{ h} \sim 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$

Die in der Anlage zur Mikroschadstoffentfernung jährlich behandelte Abwassermenge wird abgeschätzt (ca. 200 Regenwettertage pro Jahr) wie unten skizziert rund 14 Mio m³ betragen.

Mittlere Trockenwettermenge am Tag: 31.000 m³/d

Max. behandelte Abwassermenge (Regenwetter) am Tag $1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h/d} = 43.200 \text{ m}^3/\text{d}$

JAM Mikroschadstoffentfernung : $165 \text{ d} \times 31.000 \text{ m}^3/\text{d} + 200 \text{ d} \times 43.200 \text{ m}^3/\text{d} \sim 14.000.000 \text{ m}^3/\text{a}$

5. Analysen zur Mikroschadstoffsituation sowie Eliminationspotenzial

Zur Erarbeitung der verfahrenstechnischen Konzepte zur Elimination von Mikroschadstoffen auf der Kläranlage Siegen werden u.a. die vorhandenen baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten, die hydraulische Ganglinie aufgenommen und analysiert sowie eine Laboranalyse der vorgegebenen Leitsubstanzen erstellt und mit den Ergebnissen des Monitoringprogramms siehe „Elwas“ dargestellt.

5.1 Grundlagen des Förderbescheides/ den formulierten Vorgaben

Die Eckpunkte im Förderbescheid sind dabei wie folgt formuliert:

- Betrachtung und Analyse von ggf. zu erwartenden, besonderen Belastungen aufgrund der Einleitersituation/ Einzugsgebietes
- Auswertung der Abwassermengen (u.a. DWA Merkblatt 198) und Ableitung der Bemessungswassermenge der biologische Stufe/ Filterstufe/ Stufe zur Spurenstoffelimination (siehe Kapitel 3)
- Einfache Charakterisierung des Abwassers in Hinblick auf CSB, DOC, AFS
- Untersuchung des Kläranlagenablauf (2 x als 24 h Mischprobe an versch. Werktagen) sowie als Stichprobe in der Sieg (1 x vor und 1 x nach der Einleitung KA) auf Spurenstoffe („Leitsubstanzen“) in Zusammenarbeit mit dem Labor des ISA der RWTH Aachen und Einordnung in die bestehenden Vorsorge-/Grenzwerten/UQN – Belastung im Gewässer
- Probenahme und Auflistung in Abstimmung mit dem RP-Arnsberg Siehe u.a. Tabelle 5-1

Tabelle 5-1 ggf. relevante Schadstoffe zur Analyse /ISA 1/

	Parameter	Stoffflussmodell Überschreitung	Monitoringprogramm	FuE_Vorhaben u.a. ISA	zusätzlich
1	Carbamazepin			x	
2	Metoprolol			x	
3	Clarithromycin	x			
4	Diclofenac	x	x	x	
5	Sotalol	x			
6	Sulfamethoxazol	x	x	x	

7	Iopamidol		x		
8	Ibuprofen		x		
9	Ritalinsäure			x	
10	Amidotrizoesäure			x	
11	17-a-Ethinylestradiol				x
12	17-β-Estradiol				x
13	Benzi(ghi)perylen		x		
14	Benzotriazol			x	
15	TCPP			x	
16	Pyren		x		
17	Mecoprop		x		
18	Glyphosat				x
19	Bisphenol-A			x	
20	PFOA			x	
21	PFOS			x	
22	EDTA			x	
23	DOC				x
24	Bromid				x

Quelle: u.A. /ISA 1/

- Analyse und Einschätzung/ Abschätzung der ermittelten Abwasserqualität mit Bezug auf die infrage kommenden Verfahrenskombinationen/ -alternativen (siehe u.a. folgende Liste nach UBA)
- Formulierung ggf. vorhandener Ausschlusskriterien aufgrund der Hintergrundbelastung: CSB, DOC, AFS bzw. der Transformationsprodukte bei Einsatz von Ozon: wie Bromid, Nitrosamine)

Die folgende Tabelle 5-2 führt die Liste der relevanten Mikroschadstoffe/ Spurenstoffe gemäß /Kom-M.NRW 2/ auf.

Tabelle 5-2 Vorauswahl von Schadstoffen

Tabelle 1
Überblick zur Substanzauswahl

Stoffgruppe	Stoff	KomS		TP6	CH	RiSKWa	Bemerkung
		A	B1				
Arznei- mittel- wirkstoffe	Ibuprofen	●	●			●	Biologische Reinigung
	Metoprolol	●	●	●			
	Carbamazepin	●	●	●	●	●	
	Diclofenac	●	●	●	●	●	
	Sulfamethoxazol	●	●	●	●		
	Metabolit DHH	●					
	Ciprofloxacin			●			relevanter PNEC-Wert
Röntgen- kontrastmittel (RKM)	Amidotrizoesäure	●	●				nach heutigem Stand keine toxische Wirkung auf aquatische Lebewesen; regionale Anwendungs- unterschiede sind zu beachten
	Iohexol	●	●				
	Iomeprol	●	●				
	Iopromid	●	●				
	Iopamidol	●	●				
Östrogene	17-alpha-Ethinylestradiol	●					instrumentelle NG über vorgeschlagene UQN, ggf. wirkungsbezogene Analytik zu östrogenen Effekten (A-YES, YES oder ER CALUX)
	17-beta-Estradiol	●					
	Estron	●					
Biozide /PSM- Wirkstoffe	Carbendazim	●					niederschlagswasserbürtige Mikroverunreinigungen, Siedlungsflächen
	Mecoprop	●			●	●	
	DEET	●					
	Terbutryn	●					
Korrosions- schutzmittel	1H-Benzotriazol	●	●	●	●	●	
	Σ 4- und 5-Methylbenzotriazol	●					
Komplexbildner	EDTA	●				●	geringe Relevanz, hoher PNEC-Wert
	NTA	●					
	DTPA	●					
Industrie- chemikalien	Melamin	●					
PFC	PFBA	●					bei entsprechenden Indirekteinleitern wie z. B. aus der metallbe- und verarbeitenden Industrie
	PFOA	●		●			
	PFBS	●					
	PFOS	●		●			
synth. Duftstoffe	AHTN (Tonalide)	●					
	HHCB (Galaxolide)	●		●			
Flammschutz- mittel	TCEP	●					
	TCP	●					geringe Relevanz, hoher PNEC-Wert
synth. Süßstoffe	Acesulfam	●		●		●	Indikator für häusliches Abwasser

Aus der aktuellen Broschüre /Kom-M.NRW2/„

Tabelle 5-3 Auflistung der Schadstoffe zur Analyse /Kom-M.NRW2/

Tabelle 1

Vorschlag von Substanzen für das erste Screening

(Stoffliste ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen ggf. anzupassen)

Substanzgruppe	Substanz(en)
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin, Ciprofloxacin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol
Östrogene	Anstelle der aktuell noch nicht ausreichend empfindlichen instrumentellen Analytik auf einzelne Wirkstoffe wird die summarische Erfassung der östrogenen Effekte mittels wirkungsbezogener Analytik (A-YES, YES oder ER CALUX) empfohlen.
Pestizide	Mecoprop, altern. Isoproturon (Herbizid), Terbutryn (Urbanbiozid)
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol
Moschusduftstoffe	Galaxolide (HHCB)
Perfluorierte Tenside	PFOA, PFOS sofern entsprechende Indirekteinleiter angeschlossen sind, wie z. B. metallbe- und verarbeitende Industrie

Tabelle 2

Vorschlag von Substanzen (Indikatorsubstanzen) für das Monitoringprogramm (Stoffliste ist unter Berücksichtigung der standortspezifischen Randbedingungen ggf. anzupassen)

Substanzgruppe	Substanz(en)
Arzneimittelwirkstoffe	Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Sulfamethoxazol
Pestizide	Terbutryn (Urbanbiozid)
Korrosionsschutzmittel	1H-Benzotriazol
zzgl. der im Screening auffälligen standortrelevanten Stoffe	

5.2 Durchgeführte Analysen mit Ermittlung der Indikatorsubstanzen

An die Kläranlage Siegen sind die im Folgenden aufgeführten Indirekteinleiter nach Branchenzugehörigkeit gemäß Auflistung der ESI angeschlossen. Es sind keine besonderen bzw. verhältnismäßig großen Einleiter vorhanden. Da die Stadt Siegen das wirtschaftliche und infrastrukturelle Zentrum der Region darstellt, finden sich einige Kliniken. Siehe dazu auch die Tabellen 4-1 bis 4-4.

Tabelle 5-4 Branchen Indirekteinleiter /ESI 1/

Betriebe, Beschäftigte, gezahlte Entgelte und Umsatz im Verarbeitenden Gewerbe in Siegen 2014 nach Wirtschaftsabteilungen

Wirtschaftsabteilung (WZ 2008)	Betriebe	Beschäftigte	gezahlte Entgelte	Umsatz	Auslands- umsatz
	Anzahl		1000 Euro		
C Verarbeitendes Gewerbe insgesamt (10 ... 33)	71	7 196	325 452	1 670 491	677 867
10 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	4	103	2 136	11 766	0
11 Getränkeherstellung	-	-	-	-	-
12 Tabakverarbeitung	-	-	-	-	-
13 Herstellung von Textilien	-	-	-	-	-
14 Herstellung von Bekleidung	-	-	-	-	-
15 Herstellung von Leder, Lederwaren, Schuhen	-	-	-	-	-
16 Herstellung von Holz-, Flecht-, Korb- und Korkwaren (ohne Möbel)	-	-	-	-	-
17 Herstellung von Papier, Pappe, Waren daraus	1	.	.	.	.
18 Herstellung von Druckerzeugnissen, Vervielfältigung von Ton-, Bild-, Datenträgern	2	.	.	.	.
19 Kokerei und Mineralölverarbeitung	-	-	-	-	-
20 Herstellung von chemischen Erzeugnissen	-	-	-	-	-
21 Herstellung von pharmazeutischen Erzeugnissen	-	-	-	-	-
22 Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	-	-	-	-	-
23 Herstellung von Glas, Glaswaren, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	2	.	.	.	.
24 Metallerzeugung und -bearbeitung	17	3 152	147 920	972 547	416 416
25 Herstellung von Metallerzeugnissen	18	1 122	48 405	202 045	52 507
26 Herstellung von DV-Geräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen	3	114	4 767	13 057	2 158
27 Herstellung von elektrischer Ausrüstung	5	581	26 006	107 178	.
28 Maschinenbau	11	1 366	64 921	236 333	155 217
29 Herstellung von Kraftwagen und Kfz-Teilen	1	.	.	.	.
30 Sonstiger Fahrzeugbau	-	-	-	-	-
31 Herstellung von Möbeln	-	-	-	-	-
32 Herstellung von sonstigen Waren	3	93	1 779	4 382	0
33 Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstung	4	96	5 207	12 622	.

Die Ablaufkonzentrationen der Kläranlage Siegen unter der aktuellen Belastungs-, Ausbau- und Betriebssituation weist für die Parameter CSB und AFS die bereits in Kapitel 4 aufgeführten Konzentrationen auf. Der DOC wird auf der Kläranlage Siegen derzeit nicht ermittelt bzw. lagen keine Messergebnisse vor.

In den beiden 24 h Mischproben (siehe unten) betrug der DOC 10,2 und 8,4 mg/l. Die Bromidkonzentration lag in beiden Proben < 0,1 mg/l.

Die Analysen wurden im November 2015 durch das Labor des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen durchgeführt /ISA Labor 1/. Der vollständige Analysebericht ist im Anhang beigefügt. Als wesentliche Ergebnisse lassen sich mit einer Auswahl der untersuchten Stoffe/ Parameter wie folgt zusammenfassen:

Tabelle 5-5 Auswahl von Schadstoffen mit Analyseergebnisse der KA Siegen /ISA Labor 1/

Parameter	24 h Mischprobe 28-29.10.2015 8 ^{oo} -8 ^{oo}	24 h Mischprobe 3-4.11.2015 8 ^{oo} -8 ^{oo}	Stoffgruppe	Einheit
Carbamazepin	2520	2290	Arznei/Pharma	ng/l
Metoprolol	2370	2180	Arznei/Pharma	ng/l
Clarithromycin	356	254	Arznei/Pharma	ng/l
Diclofenac	3710	3550	Arznei/Pharma	ng/l
Ibuprofen	368	500	Arznei/Pharma	ng/l
Iopamidol	41600	28300	Röntgenkontrast	ng/l
Amidotrizoesäure	17700	18500	Röntgenkontrast	ng/l
Benzotriazol	9610	9840	Industrie	ng/l
TCPP	1180	1560	Industrie	ng/l
EDTA	20,1	63,5	Industrie	µg/l
Glyphosat	<0,1	<0,1	Industrie	µg/l
Bisphenol-A	685	68,8	Endokrine St.	ng/l
17aEthinylestradiol	<10	<10	Endokrine St.	ng/l
17-β-Estradiol	<10	<10	Endokrine St.	ng/l
Mecoprop	80	57,2	Herbizid	ng/l

Grundsätzlich wurde das Analyseprogramm (Auswahl der Stoffe etc.) an die Erfordernisse aus /KOM-M.NRW2/ sowie den Abstimmungsgesprächen mit dem RP Arnsberg/ Abtl. Siegen hergeleitet.

In Tabelle 5-6 und Tabelle 5-7 sind die ausgewählten Mikroschadstoffe aus der Analyse vom 28/29.10 und 2/3.11.2015 bezüglich der Konsequenzen (Konz.-Steigerung in %) auf das Gewässer mit den

Konzentrationen vor und nach der Einleitung der Kläranlage Siegen sowie die Zielgröße aus der D4-Liste (Quelle siehe unten) aufgeführt. Die **rot eingetragenen Werte** weisen die im Vergleich zur D4-Liste Zielgröße Stoffe mit Überschreitungen aus.

Tabelle 5-6 Schadstoffe mit Analyseergebnisse der KA Siegen und Sieg /ISA Labor 1/ 28/29.10.15

Parameter	Sieg			Zielgröße* aus D4-Liste		Steigerung [in %] Gew.
	KA Siegen	oberhalb	unterhalb			
Carbamazepin	2520	289	369	500	ng/l	28
Metoprolol	2370	447	624	7300	ng/l	40
Clarithromycin	356	41,6	71,3	20	ng/l	71
Ritalinsäure	<10	<10	<10	100	ng/l	
Sotalol	210	44,3	57,3	100	ng/l	29
Sulfamethoxazol	1220	202	243	100	ng/l	20
Diclofenac	3710	523	941	100	ng/l	80
Ibuprofen	368	35	77,5	10	ng/l	121
Iopamidol	41600	4290	8610	100	ng/l	101
Amidotrizoesäure	17700	305	2020	100	ng/l	562
Benzotriazol	9610	3850	4830	10000	ng/l	25
TCP	1180	178	295		ng/l	66
EDTA	20,1	2,7	2,8	240	µg/l	4
Glyphosat	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	µg/l	
Bisphenol-A	Fehler in Analyse			100	ng/l	
17aEthinylestradiol	<10	<10	<10	0,035	ng/l	
17-β-Estradiol	<10	<10	<10	0,4	ng/l	
Benzo(ghi)perylen	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	µg/l	
Pyren	0,00366	<0,002	<0,002		µg/l	
AMPA	1,2	2,6	2,8	96	µg/l	8
Mecoprop	80	<10	15,5	100	ng/l	
PFT 10 Summe	0,078	n.b.	n.b.	0,1	µg/l	
DOC	10,2	5,1	5,67		mg/l	11
Bromid	<0,1	<0,1	<0,1		mg/l	
n.b. nicht berechenbar				*Jahresmittel Oberflächengewässer		

*Fehler der Wert für Bisphenol-A ist seitens des ISA Labors nicht geklärt worden / siehe Faktor 10 zur anderen Analyse

Tabelle 5-7 Schadstoffe mit Analyseergebnisse der KA Siegen und Sieg /ISA Labor 1/ 3/4.11.15

Parameter	KA Siegen	Sieg		Zielgröße* aus D4-Liste		Steigerung [in %] Gew.
		oberhalb	unterhalb			
Carbamazepin	2290	270	456	500	ng/l	69
Metoprolol	2180	550	760	7300	ng/l	38
Clarithromycin	254	33,6	57,2	20	ng/l	70
Ritalinsäure	<10	<10	<10	100	ng/l	
Sotalol	190	50,4	65	100	ng/l	
Sulfamethoxazol	1360	137	232	100	ng/l	
Diclofenac	3550	754	1110	100	ng/l	47
Ibuprofen	500	37,7	119	10	ng/l	216
Iopamidol	28300	3220	5940	100	ng/l	84
Amidotrizoesäure	18500	366	2680	100	ng/l	632
Benzotriazol	9840	3260	4190	10000	ng/l	29
TCP	1560	270	291		ng/l	8
EDTA	63,5	1,4	1,6	240	µg/l	14
Glyphosat	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	µg/l	
Bisphenol-A	68,8	41,2	47	100	ng/l	14
17α-Ethinylestradiol	<10	<10	<10	0,035	ng/l	
17-β-Estradiol	<10	<10	<10	0,4	ng/l	
Benzo(ghi)perylen	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	µg/l	
Pyren	0,00351	<0,002	<0,002		µg/l	
AMPA	1,7	2,8	<0,1	96	µg/l	
Mecoprop	57,2	<10	17	100	ng/l	
PFT 10 Summe	0,086	n.b.	n.b.	0,1	µg/l	
DOC	8,4	2,89	3,55		mg/l	23
Bromid	<0,1	<0,1	<0,1		mg/l	
n.b. nicht berechenbar				*Jahresmittel Oberflächengewässer		

In den beiden oben aufgeführten Tabellen sind einige ausgewählte Mikroschadstoffe mit den Ist-Konzentrationen im Gewässer sowie den Zielkonzentrationen nach Leitfaden Monitoring siehe

http://www.flussgebiete.nrw.de/index.php/Leitfaden_Monitoring_Oberfl%C3%A4chengew%C3%A4sser_Teil_D/_Anlage_4 aufgeführt.

Neben den oben aufgeführten Arzneimitteln/ Pharmaka im Ablauf der KA Siegen, die z.T. zu einer Verdopplung der Konzentration im Gewässer Sieg führen, sind insbesondere für die Röntgenkontrastmittel eine deutliche Zunahme der Gewässerbelastung um den Faktor 2 bis 6 zu ermitteln /siehe Analysebericht im Anhang/. Auch der Vergleich mit anderen Kläranlagen z.T. deutlich kleiner und ländlich geprägt zeigt den „klinischen“ Einfluss im Abwasser der Kläranlage Siegen mit um den Faktor 2-4 höheren Konzentrationen für einige Arzneimittel.

Als Fazit lässt sich festhalten und wie mit dem RP Arnsberg/ Abtl. Siegen erarbeitet, dass die folgenden Stoffe/ Parameter als Indikatorsubstanzen zur

**Priorität 1: Chlarithromycin, Diclofenac, Ibuprofen, Sulfametoxazol (Arzneimittel)
Iopamidol, Amidotrizoesäure (RKM)**

Priorität 2: Benzotriazol, TCPP, Bishenol-A (Chemikalien)

einzuordnen sind.

Im Vergleich dazu werden die Ergebnisse zur Mikroschadstoffbelastung aus einer Belastungs-Simulation /Envilab 1/ und dem Monitoring /Elwas/ der letzten Jahre im folgenden Kapitel in einem Ausschnitt dargestellt.

5.3 Darstellung der Monitoring-Ergebnisse aus dem Bewirtschaftungsplan sowie einer Simulation

Im Zuge der Bestimmung/ Ermittlung und Verbesserung der Gewässergüte wurden in den zurückliegende Jahre einige Anstrengungen u.a. durch die Analyse und Aufnahme der Ist-Situation unternommen.

In Tabelle 5-8 sind die simulierten/ berechneten Werte aus dem Stoffflussmodell für die Kläranlage Siegen und Siegen-Weidenau dargestellt /Envilab 1/.

Tabelle 5-8 Auswahl von Schadstoffen nach Simulation /Envilab 1/

KA_NUMMER	Kläranlagen-/GUES-Name	Vorfluter	MNQ (L/s) (korrigiert mit Abwassermenge, falls ZAbwasser > MNQ) (L/s)		Benzotriazol [µg/L]	Carbamazepin [µg/L]	Clarithromycin [µg/L]	Diclofenac [µg/L]	Metoprolol [µg/L]	Sotalol [µg/L]	Sulfamethoxazol [µg/L]
			angeschl. Einwohner								
3347	Siegen	Sieg	53'630	1'406	5.65	0.39	0.16	0.47	0.92	0.28	0.34
3348	Siegen-Weidenau	Sieg	38'745	904	5.39	0.37	0.15	0.44	0.87	0.26	0.32

Aus ELWAS /Elwas 1/ lassen sich die bereits im Zuge des Monitoring gemessenen Parameter / Mikroschadstoffe nach der Einleitung der Kläranlage mit der qualitativen Bewertung wie folgt ermitteln.

Die Auswahl der Messstelle erfolgte nach Abstimmung mit dem RP Arnsberg Abtl. Siegen. MSt.: 451400

Tabelle 5-9 zeigt die Bewertung/ Einordnung gemäß der Datenbank in Elwas /Elwas 1/ für die MSt.: 451400

Tabelle 5-9 Auswahl von Schadstoffen mit Einordnung nach „Elwas“ Messstelle 451400

Messstelle: 451400, AN DER LANDESGRENZE							
Stoff-Nr.	Bezeichnung Stoff	Probengut	Zyklus	Bewertungs- Zeitraum	Bewertung	Bewertung JD-UQ	Bewertung Z
2255	Mecoprop	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2009 - 2011	unbefriedigend	keine Angabe	Öko
2319	Pyren	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2320	Benzo(a)pyren	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	schlecht	eingehalten	Chemie
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2006 - 2008	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2005 - 2007	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2007 - 2009	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2009 - 2011	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2005 - 2007	sehr gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2637	Ibuprofen	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2006 - 2008	sehr gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012- 2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2007 - 2009	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2009 - 2011	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2006 - 2008	mäßig	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2005 - 2007	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2005 - 2007	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2639	Diclofenac	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2006 - 2008	mäßig	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2711	Phosphorsäuretriphosphat nylester	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2007 - 2009	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2009 - 2011	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	mäßig	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2007 - 2009	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2005 - 2007	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009- 2011(OFWK3C-Auf12010)	2006 - 2008	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2005 - 2007	sehr gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2918	Clarithromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2006 - 2008	sehr gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe

2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	eingehalten	eingehalten	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	eingehalten	eingehalten	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	eingehalten	eingehalten	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2006 - 2008	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2009 - 2011	gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2005 - 2007	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2007 - 2009	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2005 - 2007	gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2922	Erythromycin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	1. Monitoringzyklus 2005-2008 (OFWK3B-Auf12007)	2006 - 2008	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2966	Iopamidol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2966	Iopamidol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2966	Iopamidol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2966	Iopamidol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2967	Iopromid	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	eingehalten	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2967	Iopromid	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	eingehalten	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2967	Iopromid	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	eingehalten	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2967	Iopromid	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2968	Iomeprol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2968	Iomeprol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2968	Iomeprol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2968	Iomeprol	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2969	Amidotrizoesaeure	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2010 - 2012	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2969	Amidotrizoesaeure	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2969	Amidotrizoesaeure	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2011 - 2013	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
2969	Amidotrizoesaeure	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	2. Monitoringzyklus 2009-2011(OFWK3C-Auf12010)	2008 - 2010	keine Angabe	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4205	Gabapentin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4206	Metformin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4207	4-Aminoantipyrin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	schlecht	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4208	Venlafaxin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	sehr gut	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4209	10,11-Dihydro-10,11-dihydroxycarbamazepin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4210	4-Formylaminoantipyrin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe
4211	4-Acetamidoantipyrin	Oberflächenwasser Fließgewässer/Kanäle	3. Monitoringzyklus 2012-2014(OFWK3D-Auf12013)	2012 - 2014	unbefriedigend	keine Angabe	ges. n. verb. Stoffe

In Tabelle 5-10 sind die Ergebnisse aus den beiden Analysen den Werten/ Qualitäten aus Elwas und der Simulation sowie der Liste D4 zum Vergleich aufgeführt.

Tabelle 5-10 Zusammenstellung der Analyseergebnisse zum Vergleich mit „Elwas“ und Simulation

Parameter	28.-29.10.2015			03.-04.11.2015			Envilab 1 simuliert KA Siegen	Elwas Messstelle 451400		Zielgröße* aus D4-Liste	
	KA Siegen	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb	KA Siegen	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb					
Carbamazepin	2520	289	369	2290	270	456	390	192		500	ng/l
Metoprolol	2370	447	624	2180	550	760	920	301		7300	ng/l
Clarithromycin	356	41,6	71,3	254	33,6	57,2	160	unbefriedigend		20	ng/l
Ritalinsäure	<10	<10	<10	<10	<10	<10				100	ng/l
Sotalol	210	44,3	57,3	190	50,4	65	280	25		100	ng/l
Sulfamethoxazol	1220	202	243	1360	137	232	340	<25		100	ng/l
Diclofenac	3710	523	941	3550	754	1110	470	unbefriedigend		100	ng/l
Ibuprofen	368	35	77,5	500	37,7	119				10	ng/l
Iopamidol	41600	4290	8610	28300	3220	5940			Schlecht	100	ng/l
Amidotrizoensäure	17700	305	2020	18500	366	2680			Schlecht	100	ng/l
Benzotriazol	9610	3850	4830	9840	3260	4190	5650			10000	ng/l
TCCP	1180	178	295	1560	270	291					ng/l
EDTA	20,1	2,7	2,8	63,5	1,4	1,6				240	µg/l
Glyphosat	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				0,1	µg/l
Bisphenol-A	Fehler in Analyse			68,8	41,2	47				100	ng/l
17aEthinylestradiol	<10	<10	<10	<10	<10	<10				0,035	ng/l
17-β-Estradiol	<10	<10	<10	<10	<10	<10				0,4	ng/l
Benzo(ghi)perylen	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002				0,002	µg/l
Pyren	0,00366	<0,002	<0,002	0,00351	<0,002	<0,002			unbefriedigend		µg/l
AMPA	1,2	2,6	2,8	1,7	2,8	<0,1				96	µg/l
Mecoprop	80	<10	15,5	57,2	<10	17			unbefriedigend	100	ng/l
PFT 10 Summe	0,078	n.b.	n.b.	0,086	n.b.	n.b.				0,1	µg/l
DOC	10,2	5,1	5,67	8,4	2,89	3,55					mg/l
Bromid	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					mg/l
n.b. nicht berechenbar											

*Jahresmittel Oberfläche

5.4 Vergleich der Analyseergebnisse mit anderen Kläranlagen

Als beispielhaft gewählter Vergleich zur Großkläranlage Köln-Stammheim (siehe Abbildung 5-1) mit etlichen einleitenden Großkliniken liegt die Konzentration für z.B. für Iopamidol in Siegen mit gut 40.000 ng/l um den Faktor 7 deutlich höher.

Im Untersuchungsvorhaben auf den beiden Kölner Kläranlagen Rodenkirchen (80.000 EW) und Köln Stammheim (1,5 Mio EW) wurden die folgenden Parameter und Konzentrationen gemäß Abbildung 5-1 ermittelt /Baur 1/:

» Spurenstoff-Screening

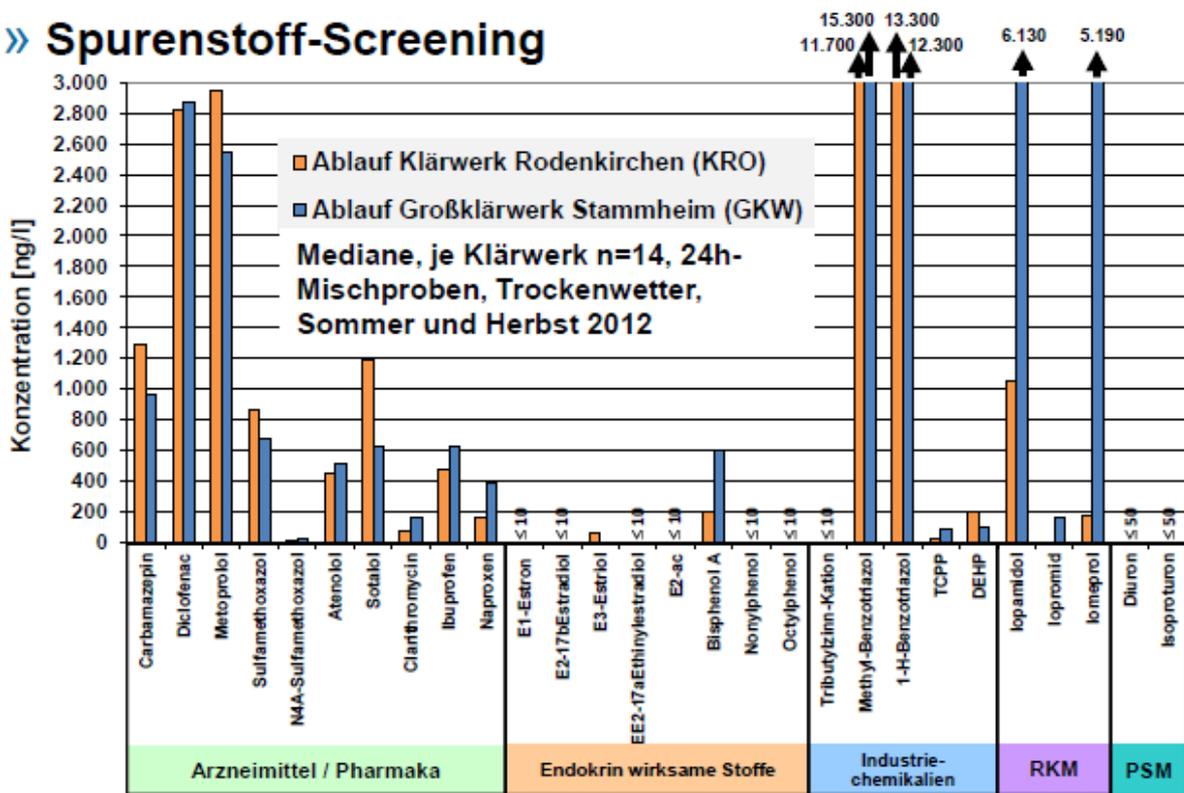


Abbildung 5-1 Analyseergebnisse für die Kläranlagen Köln-Rodenkirchen und Köln Stammheim /Baur 1/

Die Kläranlage Köln-Stammheim mit deutlich mehr Kliniken im Einzugsgebiet spiegelt diese Situation im Vergleich zur Kläranlage Rodenkirchen u.a. bei den Röntgenkontrastmittel (RKM) wider.

Das RKM Iopamidol liegt in Rodenkirchen bei einer Konzentration von etwa 1.000 ng/l in Stammheim bei gut 6.000 ng/l.

Die Konzentrationen für die Arzneimittel Carbamazepin mit 1.000-1.200 ng/l, Diclofenac mit etwa 2.800 ng/l, Metoprolol mit 2.600-2.900 ng/l sowie Sulfamethoxazol mit etwa 600-800 ng/l liegen für beide Kölner Kläranlagen auf einem vergleichbaren Niveau.

Die Konzentration für das Flammschutzmittel TCPP liegt in den Kölner Kläranlagen bei etwa 20-80 ng/l.

Ebenso liegen z.B. die Konzentrationen für die Arzneimittel Carbamazepin mit 2.500 ng/l um den Faktor 2, Diclofenac mit etwa 3.700 ng/l Faktor 1,5, Metoprolol mit 2.370 ng/l vergleichbar sowie Sulfamethoxazol mit etwa 1.200 ng/l Faktor 1,5 für die Kläranlage Siegen im Vergleich zu den beiden Kölner Kläranlagen höher.

Die Konzentration für das Flammschutzmittel TCPP liegt für die Kläranlage Siegen mit rund 1.200 ng/l um den Faktor 12 höher als auf den beiden Kölner Kläranlagen mit etwa 20-80 ng/l.

Somit gilt zur Verfahrensauswahl und Konzeption auf der Kläranlage Siegen der Eliminationsleistung für Arzneimittel, Röntgenkontrastmittel und des TCPP besondere Beachtung.

Die gemessenen Konzentrationen für den DOC von rund 8 und 10 mg/l lassen sowohl eine gute oxidative als auch adsorptive Behandlung (unter Einsatz geringerer Mengen) wirtschaftlich erwarten.

Die niedrigen Nitritkonzentrationen von in der Regel kleiner $< 0,1$ mg/l lassen keinen bzw. nur geringfügigen Verbrauch von Ozon zur „unnützen“ Oxidation von Nitrit erwarten. Als Faustformel für die Oxidation kann mit einem Nitrit/ Ozon Verhältnis von 1/3 gerechnet werden.

Ebenso sind die ermittelten Bromidkonzentrationen von $< 0,1$ mg/l für den Einsatz von Ozon gut geeignet, da die Entstehung von Bromat (krebserregend) auf Basis dieser Analysen ausgeschlossen werden kann.

5.5 Verfahrensspezifische Eliminationsleistungen/-möglichkeiten unter Betriebsbedingungen

Einsatz von Ozon – oxidative Behandlung

In /ISA 5/ wird bzgl. der Elimination von Arzneimitteln, Röntgenkontrastmitteln und TCPD wie folgt Stellung genommen:

„Röntgenkontrastmittel – u.a. Amidotrizoesäure

Röntgenkontrastmittel sind extrem persistente Substanzen ohne (nach heutigem Wissensstand) toxische Wirkungen auf aquatische Lebewesen. Mittels PAK oder Ozon sind sie nicht oder nur in geringem Maße entfernbar. Eine Analytik als Leitparameter für zukünftige Forschungsprojekte macht nur bei Untersuchung neuer Verfahrensansätze, nicht jedoch zu regelmäßigen Kontrolle der Ozonierung oder Aktivkohleabsorption, Sinn“

Des Weiteren wurde auf den Kläranlagen mit Ozonung bzgl. der Eliminationsleistung nach /ISA 5/ festgestellt:

„Bei den Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung mittels Ozon auf den Kläranlagen Bad Sassendorf und Duisburg-Vierlinden (Ozon) sowie Schwerte (Rezi-Ozon) wurden die Dosierstufen auf Basis der spezifischen Zehrung wie folgt festgesetzt:

Basisdosierung: $Z_{\text{spez.}} = 0,3$ bis $0,5$ mg O_3 /mgDOC

Mittlerer Dosierung: $Z_{\text{spez.}} = 0,6$ bis $0,8$ mg O_3 /mgDOC

Hochdosierung: $Z_{\text{spez.}} = 0,8$ bis $1,2$ mg O_3 //mg DOC

nachgeschaltete Abwasserzonierung (Ozon)

In folgender Abbildung 5-2 sind die Eliminationsgrade der Spurenstoffe in Abhängigkeit der Dosierstufen aufgeführt einer nachgeschalteten Ozonierung dargestellt. Es wird ersichtlich, dass bei der Basisdosierung die Arzneimittelwirkstoffe Diclofenac und Carbamazepin bereits zu 70 % eliminiert werden, wohingegen der Eliminationsgrad für Sulfamethoxazol lediglich 55 % beträgt und für die anderen betrachteten Substanzen kleiner gleich 30 % ist. Durch die Anwendung der mittleren Dosierung konnte für alle Arzneimittelwirkstoffe die Elimination signifikant, Eliminationsgrad zwischen 80 und 90%, gesteigert werden. Der Eliminationsgrad von Metoprolol stieg von 30 auf 75 %. Für 1H-Benzotriazol und AHTN liegt eine mäßige Elimination zwischen 40 und 45 % vor. Eine weitere Erhöhung der Dosierung (Hochdosierung) führt für Diclofenac und Carbamazepin zu keiner weiteren Steigerung des Eliminationsgrads. Für Sulfamethoxazol kann durch die Erhöhung der Dosierung ein Anstieg des Eliminationsgrads auf 90 % festgestellt werden, für Metoprolol konnte eine Steigerung auf bis zu 85 % erreicht werden.

Unabhängig von der Dosierstufe konnte für das Flammenschutzmittel TCPP und das RKM Amidotrizoensäure keine Konzentrationsabnahme erreicht werden.“

Für die Oxidation des restlichen Nitrit zu Nitrat wird etwa 1,1 mg O₃/ mgNO₂ verbraucht. Dieser „unnötige“ Ozonverbrauch beträgt auf der KA Duisburg-Vierlinden etwa 20 % des Gesamtzoneinsatzes. Die Bildung von Bromat aus Bromid kann für die Kläranlage Siegen vergleichbar mit den Kläranlagen Duisburg-Vierlinden und Schwerte aufgrund der ermittelten geringen Bromidkonzentration < 0,1 mg/l ausgeschlossen werden.

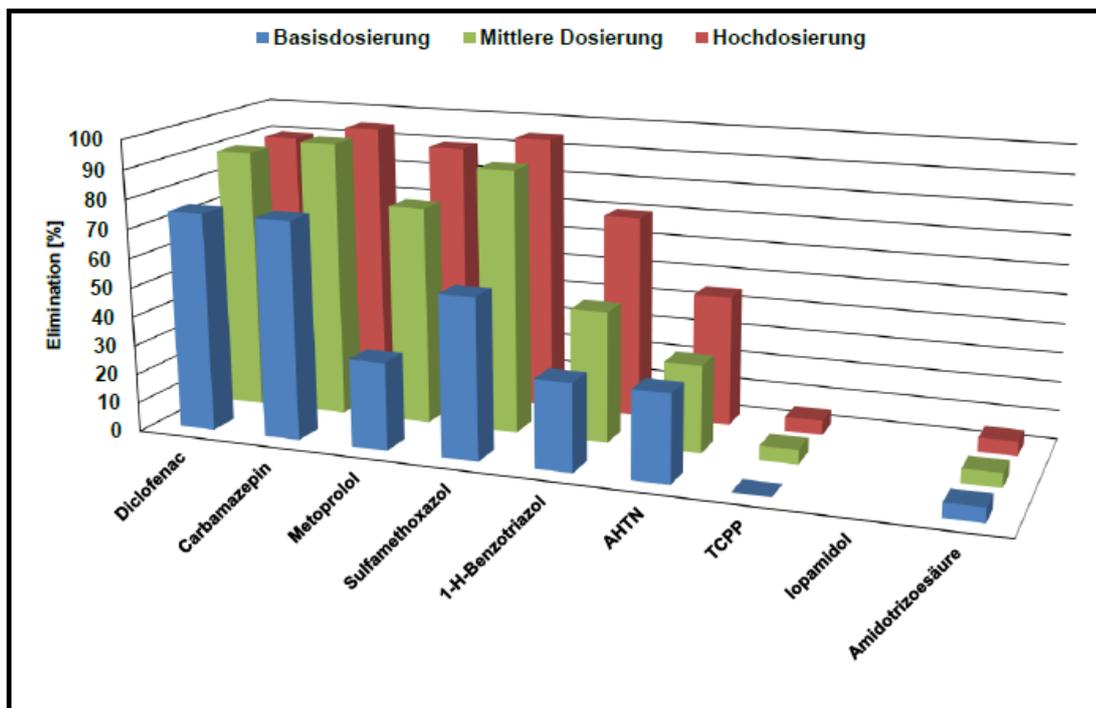


Bild 5-789: Durchschnittliche Eliminationsgrade der Ablaufozonierung (Bilanzraum I) in Abhängigkeit der Dosierstufen

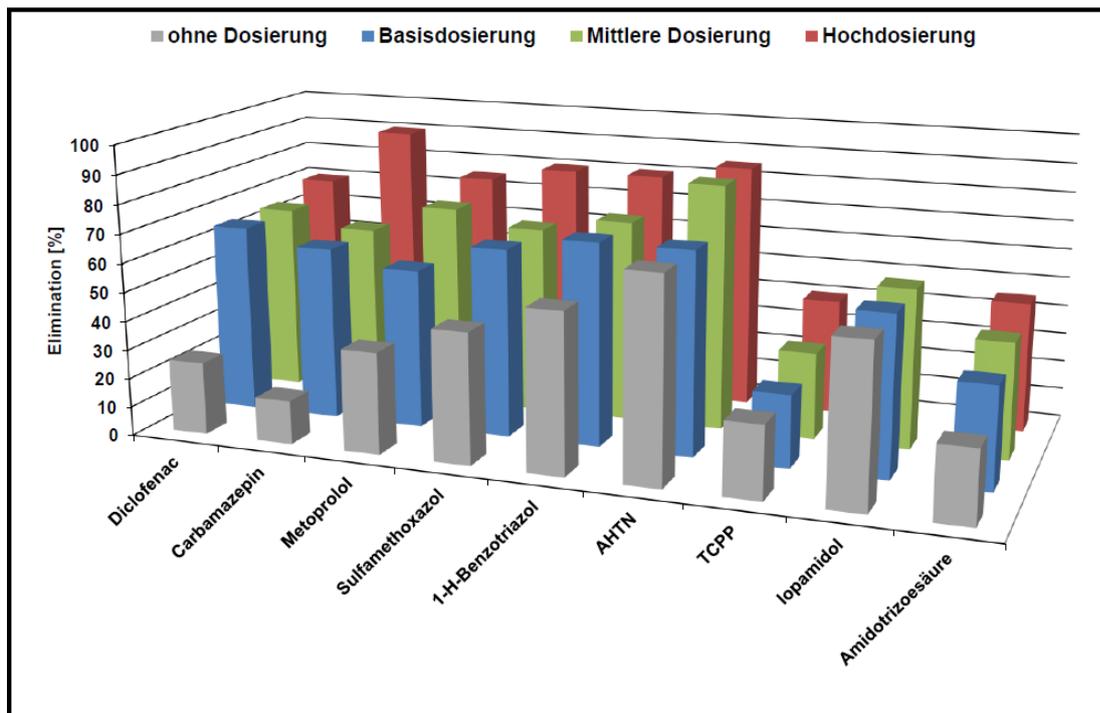


Bild 5-101: Durchschnittliche Eliminationsgrade (Bilanzraum II) der oxidativen Behandlung im dynamischen Rezirkulationsbetrieb in Abhängigkeit der Dosierstufen

Abbildung 5-3 Eliminationsleistung der Behandlung mit Ozon /ISA 5/ im Rezirkulationsbetrieb

Eine Empfehlung aus den Untersuchungen zur Metabolitenbildung beim Einsatz von Ozon /ISA 6/ weist gemäß der „vereinzelt ermittelten Toxizität“ auf eine biologische Nachbehandlung hin:

„Eine Nachbehandlung nach der Ozonung in einer biologisch aktiven Stufe ist zu empfehlen, da vereinzelt gefundene toxische Effekte nach der Ozonung minimiert werden. Die Ergebnisse an den untersuchten Kläranlagen Bad Sassendorf und Schwerte (Ozonung und Nachbehandlung) konnten dies bestätigen. Bei der Kläranlage Duisburg-Vierlinden zeigten sich Probleme durch eine geringe Effizienz der biologischen Nachbehandlung. Als Ursache wird vermutet, dass der Biofilm im Wirbelbettreaktor durch eingetragenes Ozon gestört wurde. Generell ist daher besonders auf eine vollständige Zehrung des Ozons im Zulauf einer biologischen Nachbehandlungsstufe zu achten. Weitergehende Untersuchungen und die Änderung der Abwasserführung zur Vermeidung des Ozoneintrages in den Wirbelbettreaktor werden nach Abschluss dieses Projektes durchgeführt und können somit bei der Gesamtbetrachtung nicht mehr berücksichtigt werden.“

„Die Bildung von Bromat und Nitrosaminen als wichtige Oxidationsnebenprodukte in der Ozonung war in den untersuchten Kläranlagenabläufen nach Ozonung unkritisch. Selbst Trinkwassergrenzwerte wurden im Ablauf der Ozonung nicht überschritten.“

Einsatz von PAK/ GAK – adsorptive Behandlung

Aus /ISA 1/ kann dazu wie folgt zitiert werden:

„Bei den adsorptiven Verfahren zur weitergehenden Abwasserreinigung auf der Kläranlage Schwerte (Rezi-PAK) wurden die Dosierstufen auf Basis der Pulveraktivkohlezugabe im Rezirkulationsvolumenstrom wie folgt festgesetzt:

Basisdosierung:	$C_{\text{PAK}} = 5 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{L}$
Mittlere Dosierung:	$C_{\text{PAK}} = 10 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{L}$
Hochdosierung:	$C_{\text{PAK}} = 15 \text{ mg}_{\text{PAK}}/\text{L}$

Pulveraktivkohleadsorption dynamische Rezirkulation (Rezi-PAK). Durch die Basisdosierung von PAK in den Rezirkulationsvolumenstrom wird eine durchschnittliche Elimination in einem Bereich von 40 bis 75 % erreicht. **Eine Ausnahme stellt lediglich die Amidotrizesäure (RKM) dar, für die unabhängig von der Dosierstufe keine nennenswerte Elimination erzielt werden konnte.** Eine Verdopplung der PAK-Zugabemenge führt für fast alle Substanzen zu einem nennenswerten Anstieg der Elimination. Für die pharmazeutischen Wirkstoffe liegen die Eliminationsgrade in einem Bereich von 75 bis 80 %.

Die Anwendung der Hochdosierungsstufe führt zu einem weiteren Anstieg der Elimination, gleichwohl der Eliminationszuwachs durch die Dosiserhöhung relativ gering ist. **Lediglich für das iodierte Röntgenkontrastmittel Iopamidol konnte ein Zuwachs von 55 % auf 80 % ermittelt werden.** Für einen Großteil der Stoffe kann eine Elimination von um die 90 % ausgewiesen werden.

Folgende Abbildung 5-3 zeigt die ermittelten Eliminationsraten.“ /ISA 5/

Im Vergleich zur der oben dargestellten Eliminationsleistung für das TCPD mittels Ozonung von etwa 10 % kann TCPD mittels PAK und mittlerer Dosierung um fast 60 % eliminiert werden. TCPD ist mittels PAK (Kreislaufführung) relativ gut aus dem Abwasser entfernbar. In der Projektlaufzeit konnten Eliminationsraten von ca. 80 % erreicht werden.“

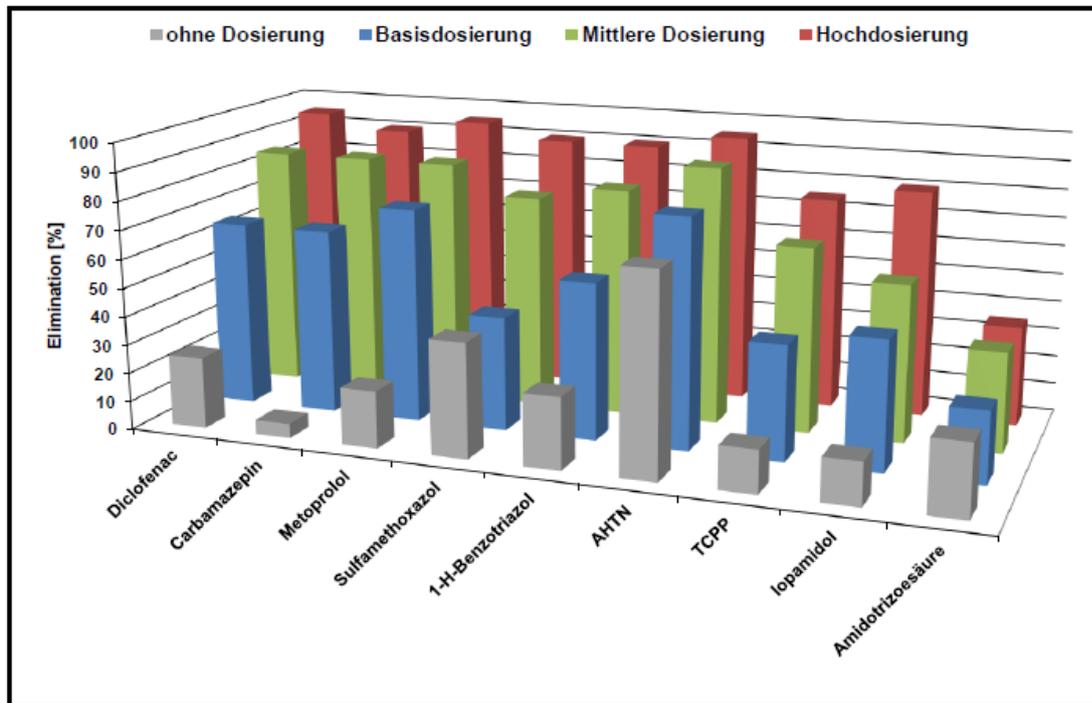


Bild 5-103: Durchschnittliche Eliminationsgrade (Bilanzraum II) der adsorptiven Behandlung im dynamischen Rezirkulationsbetrieb in Abhängigkeit der Dosierstufen

Abbildung 5-4 Eliminationsleistung der Behandlung mit PAK /ISA 5/

Im Forschungsvorhaben „Mikroflocc“ /ISA 1/ wurden bzgl. des Einsatzes von PAK und GAK zur Elimination von Spurenstoffe u.a. die folgenden Ergebnisse erzielt:

„Bei der Parallelschaltung von Filterzellen kommt es zu verlängerten Betriebszeiten. Am Beispiel der Spurenstoffe Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Benzotriazol wurde dieser Effekt durch vereinfachte Annäherung von linearen Trendlinien an die ermittelten Spurenstoffkonzentrationen der GAK-Filterzelle mit anschließender Mischungsrechnung rechnerisch abgeschätzt. Daraus ergab sich eine um etwa 40 % verlängerte Laufzeit durch Parallelschaltung der Filterzellen im Gegensatz zum Betrieb der einzelnen GAK-Filterzelle“.

„Für die PAK-Dosierung in den Überstand einer Filterzelle der KA Wuppertal-Buchenhofen wurde eine KohleKonzentration von 20 mg/l, in Verbindung mit einer Fällmitteldosierung von 0,10 bis 0,20 mgFe/mgPAK gewählt. Bei dieser Konzentration war die spezifische Beladung der Kohle in Buchenhofen am höchsten. Die Filterstandzeiten erwiesen sich als vergleichbar mit denen des Referenzfilters ohne PAK. Die PAK wird im Filterbett im Mittel zu 96 % zurückgehalten und mit der Rückspülung wieder quantitativ aus dem Filterbett ausgetragen.“

Bei den Spurenstoffen ergibt sich durch die PAK-Zugabe für die Stoffe Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol eine gute Elimination von ca. 80-90 %, bezogen auf den Zulauf zur Filtration. Bei schlechter adsorbierbaren Substanzen kann die Elimination durch die PAK Dosierung kaum gesteigert werden.

Aus den Versuchen in Düren wurde nach /ISA 1/ festgehalten:

Die erzielten Erkenntnisse zur Elimination von ausgewählten organischen Spurenstoffen in GAKFilterzellen lassen sich wie folgt zusammenfassen.

- Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol und Benzotriazol zeigen in beiden Betriebszeiträumen für GAKFilter typische Durchbruchskurven. Die erzielten Eliminationen zeigen dabei eine ausgeprägte Abhängigkeit von den durchgesetzten BV und – abgesehen von einer Betriebsstörung im Betriebszeitraum der 2. GAK – einen fast durchgängig stetigen Verlauf.
- Sulfamethoxazol und N4AcetylSulfamethoxazol zeigen in Bezug auf die erzielten Eliminationen für beide Betriebszeiträume einen – abgesehen von der Betriebsstörung (s. o.) – nahezu stetigen Verlauf. Der Verlauf setzt sich jedoch nach ca. 4.000 bis 5.000 BV im negativen Bereich fort. Eine mögliche Erklärung sind u. a. Bio-Transformationsprozesse (GÖBEL et al., 2005).
- PFOA und PFOS lassen keine abschließenden Rückschlüsse auf deren Elimination zu, da diese nur im Betriebszeitraum der 1. GAK nachgewiesen werden konnten und dort starken Konzentrationsschwankungen unterworfen waren (siehe Bild 4.35)
- Bisphenol A, Amidotrizoesäure, EDTA, Ritalinsäure und TCPP zeigen stark schwankende, unstetige Durchbruchskurven. Ursachen dafür können neben hohen Konzentrationsschwankungen im Filterzulauf (Bisphenol A und Amidotrizoesäure), eine reduzierte Messgenauigkeit im unteren Konzentrationsbereich der Analysegeräte und eine geringere Neigung zur Adsorption durch einen geringen Konzentrationsgradienten bei geringen Konzentrationen im Filterzulauf (Ritalinsäure und TCPP) sowie eine vergleichsweise schlechte Neigung zur Adsorption durch die spezifischen Stoffeigenschaften (Amidotrizoesäure und EDTA) sein.

Im Rahmen des FuE-Vorhabens „Mikroflack“ /ISA 1/ wurden die folgenden Bettvolumen für Einzel- und Parallelbetrieb von „Filterzellen“ nach Tabelle 5-11 ermittelt /ISA 1/:

Tabelle 5-11 erzielbare Bettvolumen Einzel- und Parallelbetrieb von Filterzellen /ISA 1/

	Ergebnisse Buchenhofen		Ohne Parallelschaltung, Trendlinie Mittel	Ergebnisse Düren			Verlängerte Betriebsdauer durch Parallelschaltung
	Eliminationsleistung $1-(c/c_0)$	Normierte Konzentration c/c_0		Min	Mittel	Max	
1. GAK							
CBZ	0,78	0,22	500 BV	2.100 BV	900 BV	nicht erzielbar	44%
DCF	0,78	0,22	900 BV	6.000 BV	1.200 BV	nicht erzielbar	25%
MET	0,73	0,27	5.700 BV	29.400 BV	9.600 BV	3.600 BV	41%
2. GAK							
CBZ	0,78	0,22	2.500 BV	10.800 BV	4.200 BV	nicht erzielbar	40%
DCF	0,78	0,22	4.000 BV	17.400 BV	6.600 BV	3.000 BV	39%
MET	0,73	0,27	4.600 BV	12.000 BV	7.800 BV	1.200 BV	41%

In /KOM-M.NRW1/ werden für die Leitparameter Diclofenac und Carbamazepin Bettvolumenwerte von 14.000-16.000 für eine mittlere Elimination > 80 % angegeben.

Auf der Kläranlage Gütersloh-Putzhagen wurden mit einer GAK in einer vorhandenen Sandfiltration die folgenden Eliminationsraten für u.a. RKMs (Momentaufnahme am 27.02.2013) ermittelt /Grömping 1/:

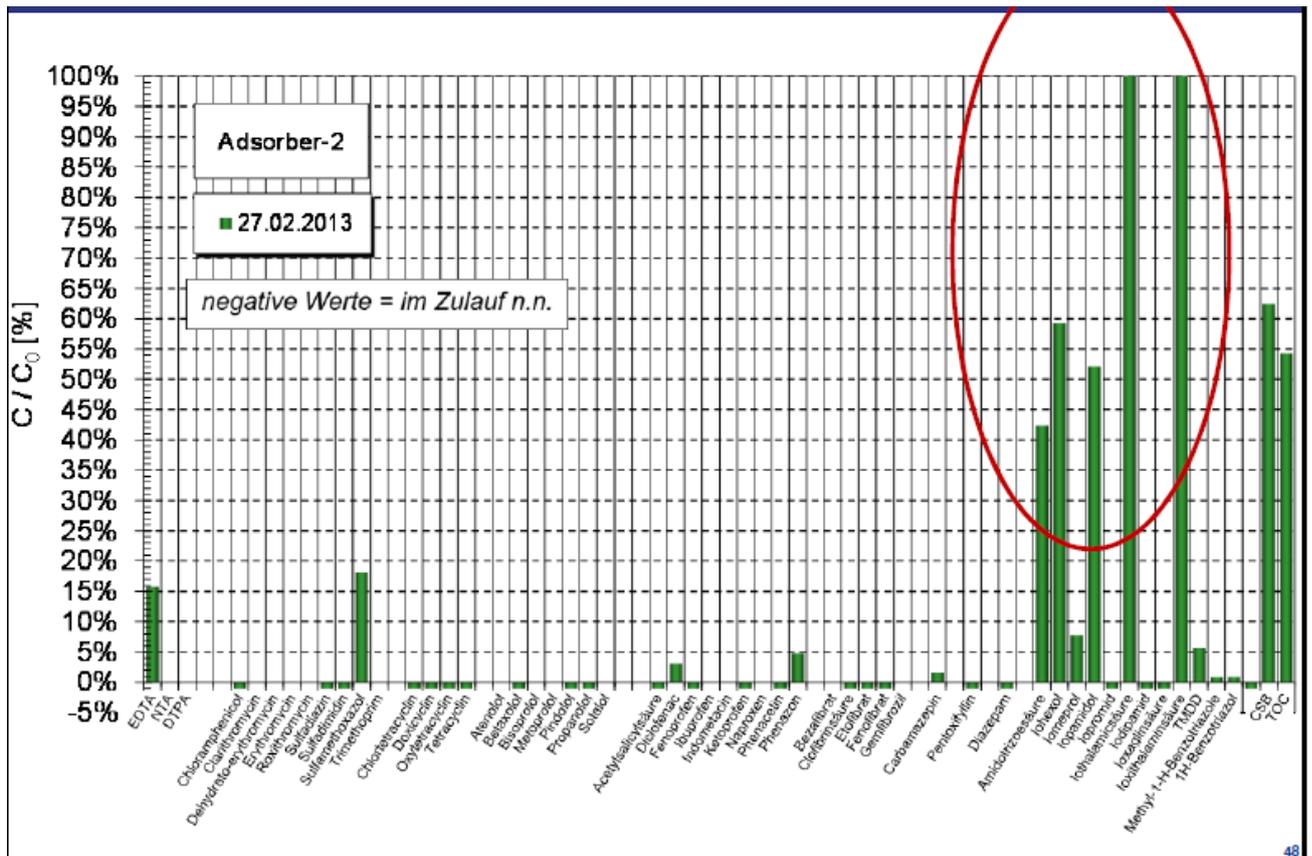


Abbildung 5-5 Beispielhafte Eliminationsleistung einer GAK /Grömping 1/

Im Forschungsvorhaben AK+ wurden nach /Bornemann 1/ folgende Ergebnisse zur Elimination und des Bettvolumen eines GAK-Filters ermittelt (siehe auch weitere Ergebnisse im Anhang).

Das Abbruchkriterium bestimmt die Filterlaufzeit

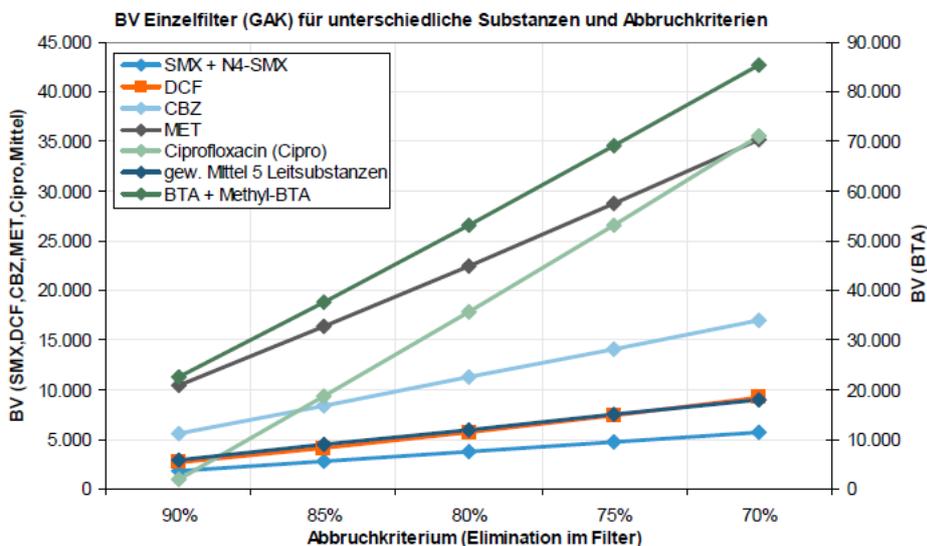


Abbildung 5-6 Eliminationsleistung einer GAK - Abbruchkriterium /Bornemann 1/

Die erzielbaren Eliminationsleistungen der relevanten Mikroschadstoffe können aus den Ergebnissen eines aktuell abgeschlossenen FuE-Vorhabens FilterAK+ /Bornemann 2/ unter ähnlichen Randbedingungen wie in Siegen abgeschätzt werden. Realistische Eliminationsleistungen liegen zwischen 60 und 90 %.

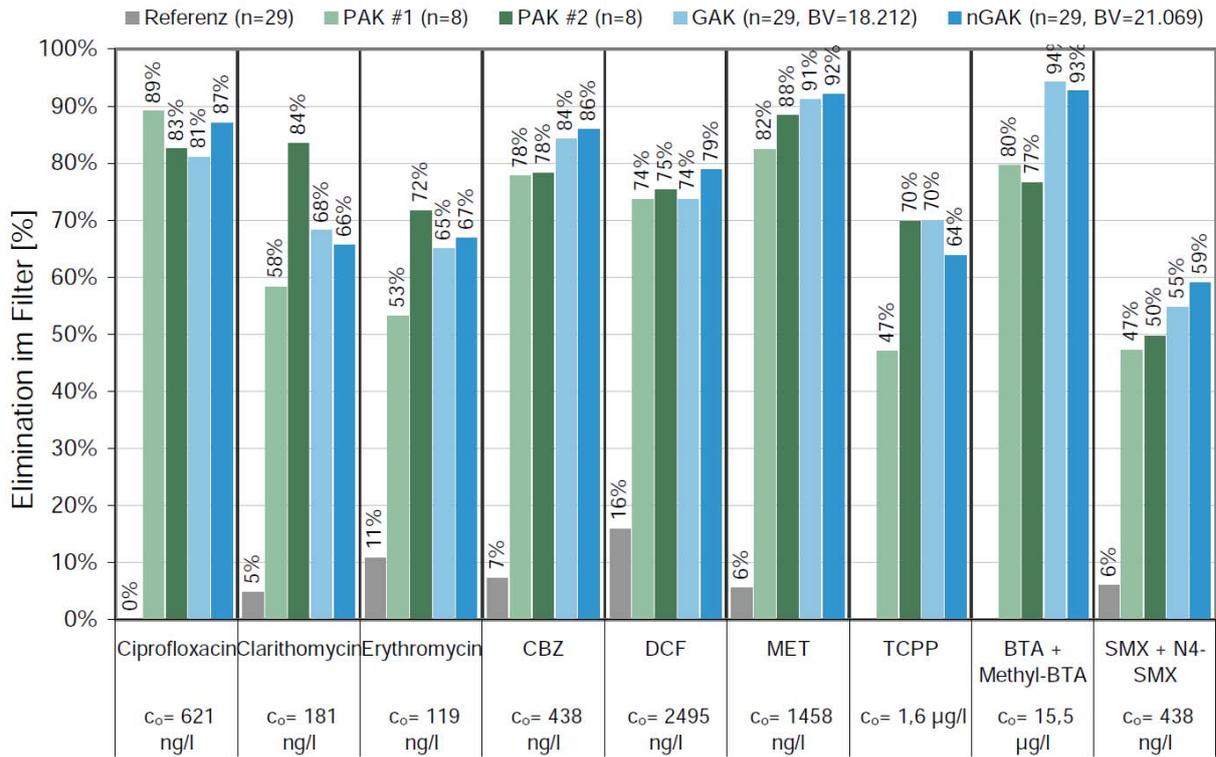


Bild 4.27: Mittlere Elimination von Spurenstoffen in den Versuchsfiltern als Mittelwert nach 18 Monaten Betrieb

Siegen: $C_0 \sim 300$ $C_0 \sim 2400$ $C_0 \sim 3600$ $C_0 \sim 2200$ $C_0 \sim 1400$ ng/l

Abbildung 5-7 Eliminationsleistung u.a. eines GAK-Filters /Bornemann 2/

FAZIT:

Aufgrund der ermittelten Konzentrationen von Mikroschadstoffen aus den Stoffgruppen Arzneimitteln, Röntgenkontrastmittel und TCPP mit den oben aufgeführten stoffspezifischen Eliminationsleistungen der Verfahren lassen sich ggf. mit den adsorptiven Verfahren PAK und insbesondere GAK geringe Vorteile gegenüber der Ozonierung erzielen (siehe dazu auch die folgende Abbildung 5-8 /TU Dortmund 1/ und den Anhang).

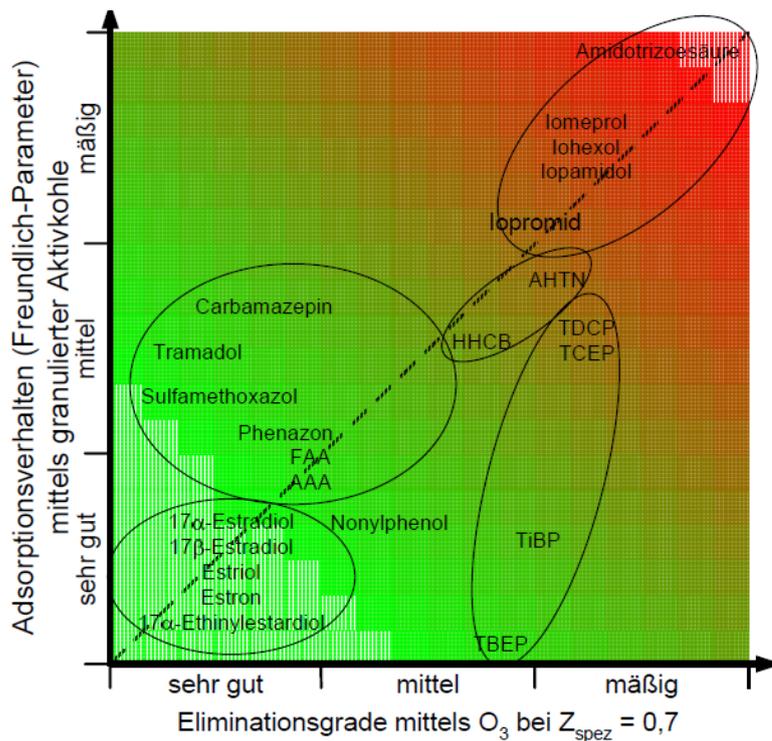


Bild 8: Relative Elimination umweltrelevanter Spurenstoffe in Abwasser mittels Aktivkohleadsorption (GAC) im Vergleich zur Ozon-Oxidation bei einem Betriebswert von $Z_{spezifisch} = 0,7$

Abbildung 5-8 Wertung der Eliminationsraten von GAK im Vergleich zu Ozon /TU Dortmund 1/

Grundsätzlich sprechen die niedrigen gemessenen Nitrit- und Bromitkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage Siegen für eine Ozonierung bzw. schließen diese nicht aus.

Anhand der dargestellten Ergebnisse lassen sich für die Kläranlage Siegen nach Realisation einer Anlage zur Mikroschadstoffentfernung Eliminationsraten von 70-90 % für die klassischen Arzneimittel wie z.B. Ibuprofen, Diclofenac aber nur etwa 30-40 % für die RKM nach heutigem Wissens- und Technikstand prognostizieren.

6. Verfahrenskonzeption mit Wirtschaftlichkeitsberechnung

Zu einer ersten wirtschaftlichen Einordnung und Bewertung der unterschiedlichen Verfahren zur Spurenstoffelimination sind die Ergebnisse aus /TU Dortmund 1/ für den Neubau/ Investition sowie die Betriebskosten zur Spurenstoffelimination für Modellkläranlage der Größe 50.000 E, 100.000 E und 1.000.000 E in den folgenden Abbildungen 6-1 und 6-2 dargestellt (siehe dazu auch die ergänzenden Ergebnisse im Anhang).

Zur Kostenermittlung werden als Hauptausführung drei „Modellkläranlagen“ der Größe 50.000 E (GK 4), 100.000 E (GK 4) und 1.000.000 E (GK 5) betrachtet. Den kostenrelevanten Bilanzierungsraum zeigen die Varianten A, B und C (s. Bild 10).

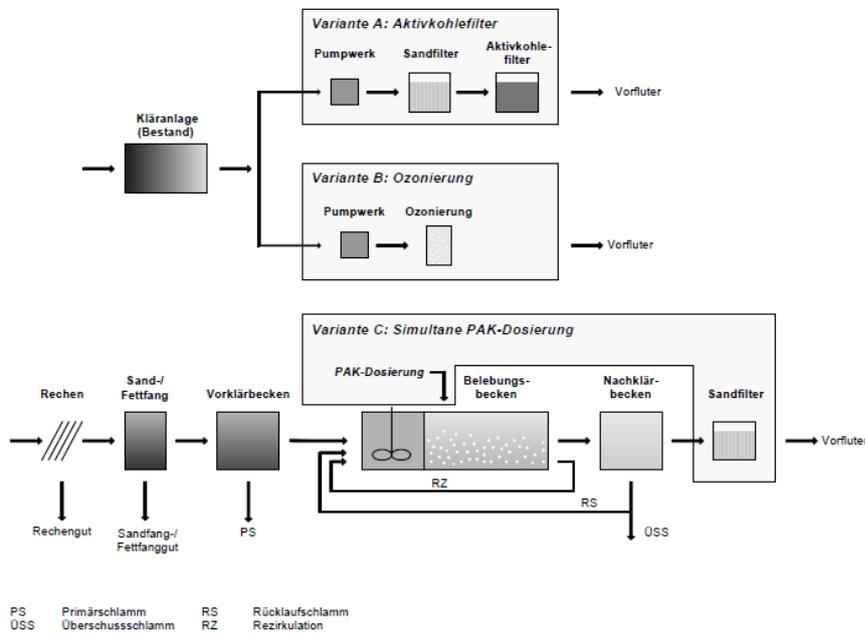


Bild 10: Bilanzierungsraum zur Kostenbewertung ergänzender Abwasserbehandlungstechnologien

- DOC = 12 mg/l
- AFS-Gehalt ≤ 20 mg/l im Ablauf der Modellkläranlage
- Auslegung auf Mischwasserzufluss
- Volumenströme:

	Einheit	50.000 E	100.000 E	1.000.000 E
Schmutzwasseranfall Q_{a1}	m ³ /a	2.737.500	5.475.000	45.625.000
Abwasseranfall Q_{a2}	m ³ /a	6.350.000	12.700.000	86.000.000
Mischwasserzufluss $Q_{m,h}$	m ³ /h	1.000	2.000	15.500
Trockenwetterzufluss $Q_{t,h}$	m ³ /h	600	1.200	8.500

Tabelle 4: Investitions- und Betriebskosten für den kontinuierlich gespülten Sandfilter

	Einheit	Modellkläranlage [E]	
		50.000	1.000.000
Kosten			
Investitionskosten (einschl. Reinvest.)	€	735.100	9.455.000
jährliche Kapitalkosten	€/a	37.500	482.400
jährliche Betriebskosten	€/a	27.900	204.700
Summe der jährlichen Kosten	€/a	65.400	687.100
spezifische Kosten (schmutzwasserbezogen)	€/m³	0,024	0,015
spezifische Kosten (abwasserbezogen)	€/m³	0,010	0,008
Anteil Betriebskosten	%	43	30

Tabelle 5: Investitions- und Betriebskosten für den Aktivkohlefilter

	Einheit	Modellkläranlage [E]	
		50.000	1.000.000
Kosten			
Investitionskosten (einschl. Reinvest.)	€	2.396.000	28.134.700
jährliche Kapitalkosten	€/a	122.200	1.435.400
jährliche Betriebskosten	€/a	337.000	3.194.600
Summe der jährlichen Kosten	€/a	459.200	4.630.000
spezifische Kosten (schmutzwasserbezogen)	€/m³	0,168	0,101
spezifische Kosten (abwasserbezogen)	€/m³	0,072	0,054
Anteil Betriebskosten	%	73	69

Tabelle 6: Investitions- und Betriebskosten für die Ozonung

	Einheit	Modellkläranlage [E]	
		50.000	1.000.000
Ozonbedarf ¹⁾	kg/h	8	130
Reinsauerstoffbedarf	Mg/a	570	8800
Kosten Reinsauerstoff	€/kg	0,15	0,14
Energiebedarf	MWh/a	877	13600
Kosten			
Investitionskosten (einschl. Reinvest.)	€	1.772.000	8.625.000
jährliche Kapitalkosten	€/a	90.000	440.000
jährliche Betriebskosten	€/a	275.000	2.847.000
Summe der jährlichen Kosten	€/a	365.000	3.287.000
spezifische Kosten (schmutzwasserbezogen)	€/m³	0,133	0,072
spezifische Kosten (abwasserbezogen)	€/m³	0,057	0,038
Anteil Betriebskosten	%	75	87

1) DOC = 12 mg/l, Z_{spez} = 0,7 mg_{O₃}/mg_{DOC}
Aufenthaltszeit 15 min, Reaktionszeit < 10 min

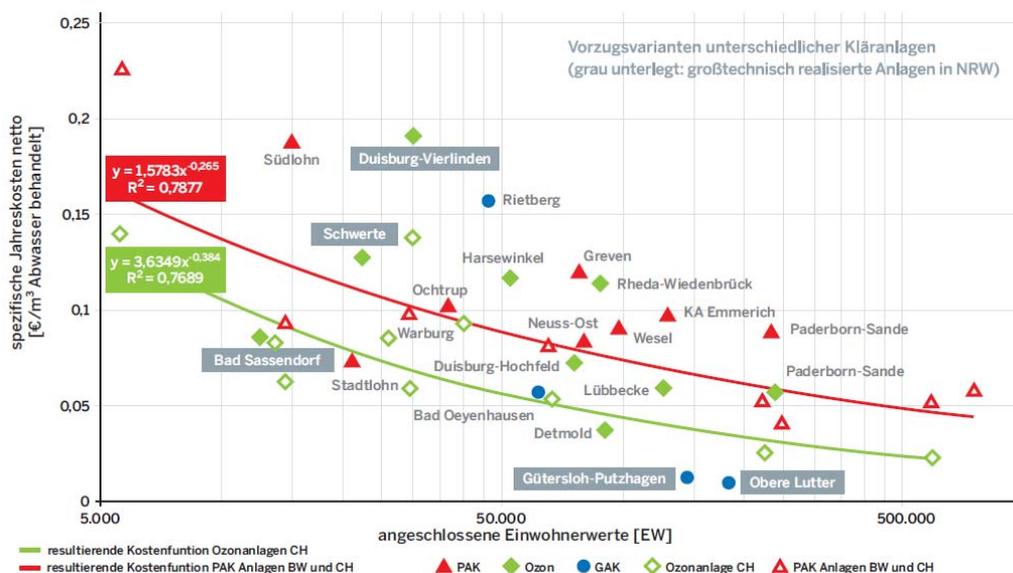
Abbildung 6-2 Kosten der Spurenstoffelimination für Modellkläranlagen /TU Dortmund 1/

Die spezifischen Jahreskosten von Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung sind, abgeleitet aus den Versuchsanlagen sowie den ersten großtechnisch realisierten Anlagen in /Kom-S.NRW 1/, zusammengestellt worden.

Ungeachtet der in aller Regel nur begrenzt miteinander vergleichbaren Randbedingungen auf den einzelnen Kläranlagen (siehe u.a. vorhandene z.T. auch nutzbare Flächen (günstig oder schlecht gelegen), „freie“ Bau- und Anlagentechnik etc.) weist die Ozonung tendenziell die niedrigsten spez. Jahreskosten auf.

Für eine Kläranlage der Größenordnung 150.000 E, die mit der Kläranlage Siegen-Eiserfeld vergleichbar ist, werden für die PAK-Zudosierung ~ 0,07 €/ m³ und die Ozonung ~ 0,04 €/m³ Abwasser an Jahreskosten erwartet /Kom-S.NRW 1/.

Die Angaben in /Kom-S.NRW1/ zum Einsatz von GAK in einem Filter können aufgrund der geringen Anzahl an Ergebnisse noch nicht zu einer Kurve/ Trendlinie verbunden werden. Einzig die beiden GAK-Anlagen auf den Kläranlagen Oberer Lutter und Gütersloh-Putzhagen ähnlicher Größe ~ 150.000 E und vorhandener, nutzbarer Sandfiltration stehen mit Jahreskosten von 0,05-0,10 €/m³ zum Vergleich.

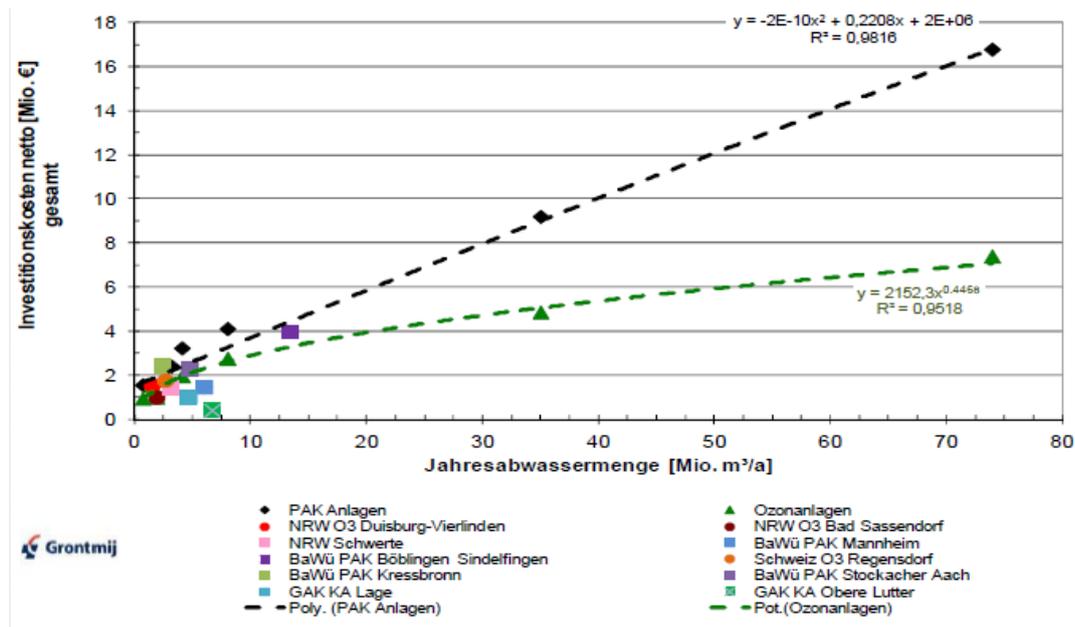


Quelle /Kom-S.NRW 1/

Abbildung 6-3 Kosten der Spurenstoffelimination aus realisierten Anlagen /Kom-S-NRW 1//

Die Ergebnisse einer Kostenanalyse aus der Veröffentlichung der DWA in /DWA 1/ zeigen insbesondere bzgl. der spez. Jahreskosten von Anlagen zur Dosierung von PAK (ohne Filter) und GAK-Filter Vorteile für die „PAK-Anlagen“ auf. Die Ozonung ist bei größeren Kläranlagen ab 50.000 E mit der PAK-Dosierung (ohne Filter) für ~ 0,05-0,07 €/ m³ Abwasser behandelt in etwa vergleichbar.

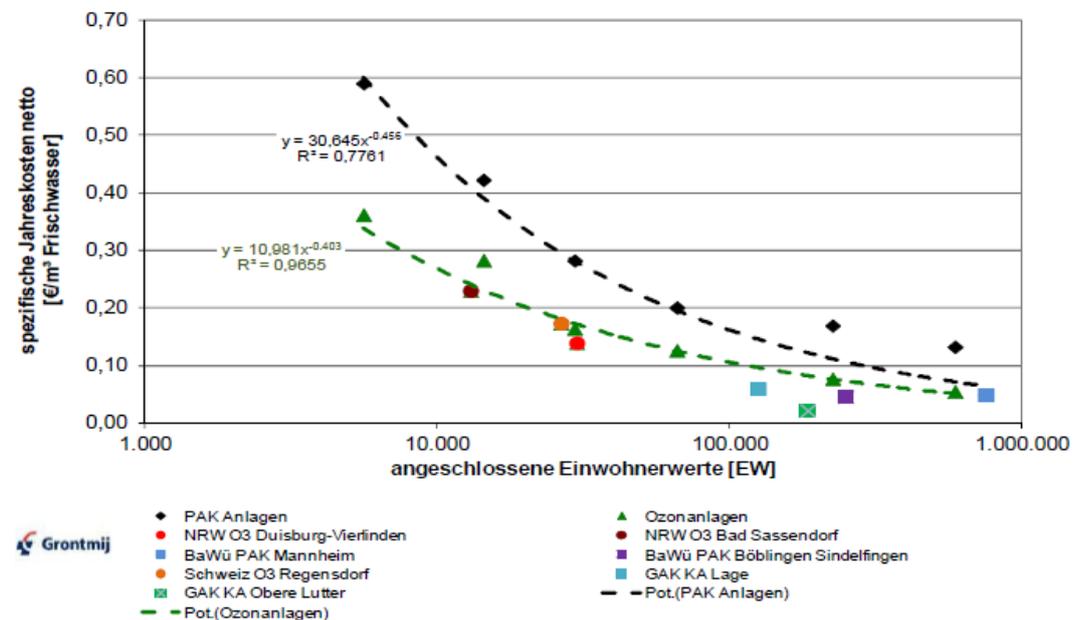
Diese aufgeführten Kosten können aber nur als Tendenz/ grobe Orientierung gelten, da die Randbedingung auf den Kläranlage u.a. alleine aufgrund der Größe schon erheblich variieren können.



/Grontmij in Alt 1/

Abbildung 6-4 Kosten der Spurenstoffelimination /Grontmij in Alt1/

Zudem sind die Datenpunkte, wie aus Abbildung 6-4 ersichtlich, noch in keiner ausreichenden Dichte verfügbar. Anhand der Auswertungen lassen sich allerdings gute Anhaltswerte ermitteln.



/Grontmij in Alt 1/

Abbildung 6-5 Verlauf der spez. Jahreskosten als Funktion der EW-Zahl /Grontmij in Alt 1/

Insbesondere für/ durch die Zugabe von Pulveraktivkohle wird die Entwässerung und Entsorgung (Entsorgungsweg) des zusätzlichen Überschussschlammes (aus PAK+Fäll-/Flockmittel) für die Betriebskosten relevant. Allerdings spielen die Kosten für das Fäll-/ Flockungsmittel nur eine untergeordnete Rolle und muss z.T. auch noch der P-Elimination zugerechnet werden bzw. stellt

„Sowieso“-Kosten dar. Zur Klärschlamm entwässerung und -entsorgung werden vom Umweltbundesamt /UBA 4/ folgende Kostenangaben gemacht.

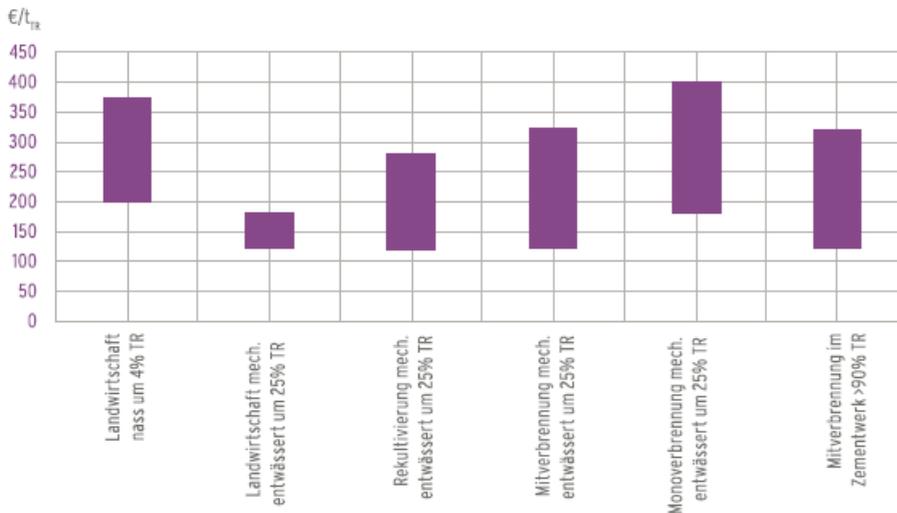


Abbildung 6-6 Kosten der Klärschlamm entwässerung/-entsorgung /UBA 4/

Die in Deutschland relevanten Kosten für die Klärschlamm entwässerung, -transport und -entsorgung von typischem Klärschlamm (mit 25 % TS angeliefert) sind oben aufgeführt /UBA 4/. Es lässt sich ein allgemeiner Wert **von 200-250 € / t TS** bzw. 50-60 € / t TS mit 25 % ermitteln.

Im Folgenden werden die Investition, die Betriebs- und Jahreskosten für die relevanten verfahrenstechnischen Konzepte/ Alternativen zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Siegen-Eiserfeld ermittelt. Als grundsätzlich auf der Kläranlage Siegen realisierbare technische Konzepte/ Optionen wurde unter den vorhandenen Randbedingungen u.a. Sandfiltration (SF) und vgl. geringer Freiflächen im Bereich NKBs/ SF/ Ablauf Folgendes ermittelt:

Option 1

- GAK
- stellt die Nutzung des vorhandenen Sandfilters/ erweitert als Teil-GAK-Filter dar
 - für einen Teilstrom Q_{TR} gemäß vorhandener Anlagentechnik
 - oder als Neubau nach dem Sandfilter für Q_{TR}

Option 2

- Ozon
- stellt die Ozonierung mit nachgeschaltetem biologisch aktivem Sandfilter dar
 - Teilstrom Q_{TR} eine/ zwei Straße(n) Ozonanlage

Option 3

- PAK
- stellt die Zugabe von PAK in ein Kontaktbecken vor den (erweiterten) Sandfilter für Q_{TR} dar
 - in die Belebungsstufe
 - und in separater Kontakt- und Absetzeinheit unter Nutzung von drei alten VKB für Q_{TR}

In einem Abstimmungsgespräch am 21.10.2015 mit dem RP Arnsberg / Abtl. Siegen, Herr Winter, den Mitarbeitern der ESI und des IB Klapp + Müller konnten die folgenden, für die Konzeption zur Spurenstoffelimination relevanten Eckdaten festgehalten werden.

- Der P_{ges} Überwachungswert (2 h Mischprobe, 4 aus 5 Regel) soll mit 0,4 mg/l berücksichtigt werden
- Die Erreichung dieses Überwachungswertes durch die Vermischung unterschiedlich behandelter Abwasserströme (z.B. Trockenwettermenge über NKB/SF(GAK), die darüberhinaus gehende Abwassermenge bis Q_{Misch} nur über die NKBs ist nach RP nicht zulässig/ genehmigungsfähig.
- Die gesamte Abwassermenge bis Q_{Misch} (siehe oben) muss wie genehmigt über einen Filter behandelt werden. Dabei ist ein Tuch-/Trommelfilter/ Sandfilter/ Membranfilter/ GAK-Filter in Bezug auf die P-Elimination in etwa als gleichwertig anzusehen.
- Zur Spurenstoffelimination eine Abwassermenge von $\sim 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ behandelt werden soll - Q_{TR}

Des Weiteren wurde festgestellt, dass vor dem Hintergrund zum Anschluss der Kläranlage Weidenau an die Kläranlage Siegen

- die Nutzung von drei der sechs vorhandenen VKB (je etwa $V = 750 \text{ m}^3$) für eine separate Anlage mittels PAK-Dosierung/ Kontaktbecken und zwei Absetzbecken nicht möglich ist. Diese Becken/ Fläche werden für den Ausbau der Belebungsstufe dringend benötigt
- die Zugabe von PAK direkt in die Belebungsstufe vor dem Hintergrund des in der ausgebauten Belebungsstufe notwendigen TS-Gehalt sowie der möglichen Feststoffbeschickung der ertüchtigten NKB nach Berechnung (design2treat, siehe Anhang) nicht sinnvoll möglich ist.

grundsätzlich die Zugabe von PAK in einer separaten Stufe bzw. vor einen Sandfilter effizienter ist als in die Belebungsstufe, da in der Belebungsstufe leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen mit den Mikroschadstoffen um die Adsorption „konkurrieren“. Die Effizienz der PAK-Dosierung ins Belebungsbecken ist daher geringer und muss durch größere Mengen ausgeglichen werden ($\sim 20 \text{ mgPAK/ l}$). Das Schlammalter in der Belebungsstufe nimmt durch die PAK-Zugabe ab. Der ISV wird durch die PAK-Zugabe in „gewissem Maße“ eher verbessert. Dieser Verfahrensansatz ist bisher vergleichsweise wenig untersucht worden, siehe u.a. /EAWAG/ /Barjenbruch 2/. Die notwendigen PAK-Mengen sind bei Dosierung vor den Sandfilter bei ausreichender Kontaktzeit geringer ($10\text{-}15 \text{ mgPAK/ l}$) und belasten so die Belebungsstufe durch die Feststoffe (A-Kohle) aus dem rückgeführten Schlammwasser hinsichtlich der Feststoffbilanz weniger (ca. $\sim 50 \%$) im Vergleich einer direkten Zugabe in die Belebungsstufe. Durch die Rückführung der PAK wird eine Restbelastungskapazität allerdings vorteilhaft genutzt.

Damit ergeben sich für die weitere Ausarbeitung sowie die abschließende vergleichende Bewertung, wie mit der ESI am 02.12 abgestimmt, die folgenden Verfahrensalternativen unter den Vorgaben:

- Die zweite Zuwegung zur Kläranlage muss an der Stelle nicht erhalten bleiben. Diese kann sinnvoll verlegt werden
- Der gerade sanierte Gasspeicher ($V = 800 \text{ m}^3$) kann ggf. versetzt werden (relevante Kosten)
- Die Wirtschaftlichkeitsrechnung erfolgt ohne Berücksichtigung/ Einrechnung möglicher Fördermittel

Konzepte unter Einsatz von GAK

- Der vorhandene Filter wird um vier Kammern ergänzt und als GAK/ SF-Filter genutzt (GAK für Q_{TR} und SF für die Abwassermenge bis Q_M)
- Der vorhandene Filter wird um acht Kammern ergänzt und als GAK/ SF-Filter genutzt (GAK für Q_{TR} und SF für die Abwassermenge bis Q_M), der Gasspeicher wird versetzt
- Ein GAK-Filter wird neu gebaut (für Q_{TR} im Anschluss an den SF)

Konzept unter Einsatz von PAK

- Der Sandfilter wird um vier Kammern ergänzt und als PAK/ SF-Filter genutzt (PAK für Q_{TR} und der SF für die Abwassermenge bis Q_M) alternativ mit vorgeschaltetem Kontaktbecken

Konzept unter Einsatz von Ozon

- Die Anlage zur Dosierung von Ozon wird zweistraßig für QTR errichtet, der Sandfilter wird so wie bisher betrieben.

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung/ Kostenvergleichsrechnung werden in /Kom-M NRW2/ folgende Vorgaben gemacht:

Nutzungsdauer:	Bautechnik 30 Jahre
	Maschinenteknik 15 Jahre
	E-technik 10 Jahre
Zinssatz:	3 %
Wartung/ Reparatur /DWA 1/:	Bautechnik 0,5 % der Investition pro a
	Maschinenteknik 2,0 % der Investition pro a
	EMSR-technik 2,5 % der Investition pro a

Angaben zu den jeweiligen Betriebskosten, wie z.B. Stromkosten in €/kWh oder Kosten PAK oder GAK in €/m³ bzw. €/ kg, wurden in den oben genannten Quellen nicht gemacht. Damit ist das Ergebnis der verschiedenen Machbarkeitsstudien je nach Grundlage der zugrunde gelegten Betriebskosten nur eingeschränkt vergleichbar.

Relevante Betriebskosten/ Preise je Einheit (brutto) werden je nach Quelle/ Hersteller wie folgt angegeben:

Elektrizität:	0,16-0,20 €/kWh	
Reinsauerstoff	0,20-0,30 €/kg O ₂	u.a. /Mertsch 1/ /Alt 2 /Biebersdorf 1/
PAK	1,4-1,8 €/kg PAK	u.a./Mertsch 1/ /Alt 2/ DWA 1/ /Biebersdorf 1/
GAK neu	1,5-1,6 €/kg GAK	u.a. /Mertsch 1/ /Alt 2/ DWA 1/ Biebersdorf 1
GAK regeneriert	1,1-1,3 €/kg	u.a. /Mertsch 1/ /Alt 2/
Personal	48.000-50.000 €/ Person a	
Flock-/Fällmittel	3,30 €/ kg WS Fe/PE	u.a. /Grontmij 1/
bzw. Flockmittel	1,3 €/ kg Mittel (ca. 25-30%WS)	u.a. /Mertsch/ /Alt 1/
Schlammw.-entsorgung	0,24 €/ kg TS	u.a. /UBA 4/

Auf Basis u.a. der aufgeführten Angaben/ Literaturwerten werden die betrieblichen Aufwendungen wie folgt abgeschätzt (siehe dazu auch die Abbildungen im Anhang):

Stromverbrauch für			
Die Sandfiltration	0,02-0,035 kWh/ m ³	u.a. /ISA 2/	0,025 kWh/m ³
Die GAK-Filtration	0,025-0,040 kWh/ m ³	u.a /Biebersdorf 1/	0,035 kWh/m ³
Ozonerzeugung/ Zugabe	0,04-0,17 kWh/ m ³	u.a./ Maus 1/ /ISA 5/	0,07 kWh/m ³
PAK-Zugabe	0,016-0,044 kWh/m ³	u.a. /Metzger 1/ /ISA 5/	0,03 kWh/m ³

Grundsätzlich kann der energetische Aufwand für z.B. die Filtration/ Rezirkulation, z.B. Schlammwasser nach /HMUELV 1/ etc., abgeschätzt werden.

Stromverbrauch Hebepumpwerk Abwasser/ Wasser	3,6-4,2 kWh/ m ³ x m
Stromverbrauch Hebepumpwerk Abwasser/ Schlamm	3,6-4,7 kWh/ m ³ x m

Das ergibt für eine typische Filterbeschickung je nach Förderhöhe ~ 0,022-0,034 kWh/ m³
Der spez. Aufwand für Rückspülung etc. ist vglw. gering

Für eine Rezirkulation/ Schlammwasser wird je nach Förderhöhe ~ 0,008-0,012 kWh/ m³ angegeben.

Für die Abschätzung der Betriebskosten der vergleichsweisen „großen“ Kläranlage Siegen ~ 150.000 E wurden die folgenden Kosten (brutto) angenommen:

Elektrizität:	0,18 €/kWh	
Reinsauerstoff	0,25 €/kg O ₂	(angeliefert und im Tank –gemietet - gespeichert)
PAK	1,8 €/kg PAK	
GAK neu	1,55 €/kg GAK	
GAK regeneriert	1,25 € kg GAK	(inkl. 10 % neue Kohle)
Personal	48.000 €/ Person a	
Flock-/Fällmittel	3,30 €/ kg WS	
Schlammmentw./-entsorgung	0,24 €/ kg TS	

6.1 Nutzung des vorhandenen Sandfilters als GAK/ SF -Filter

Für den Betrieb eines GAK-Filters unter Nutzung des vorhandenen Sandfilters (in 8 unabhängigen Becken/ Filtereinheiten) mit den notwendigen bau- und anlagentechnischen Änderungen im Sinne einer „sinnvollen Spurenstoffelimination“ sind die im Folgenden aufgeführten Randbedingungen relevant bzw. einzuhalten.

Filtergeschwindigkeit:

Mit einer Filtergeschwindigkeit von max. 16,3 m/h (Auslegung Sulzer 8 Kammern in Betrieb) und kurzzeitig auch 18,6 m/h (7 Kammern in Betrieb) ergibt sich eine im SF-Filter behandelbare Abwassermenge (es wird der einfache Austausch des Sand/ Kies vorgenommen) nach /Sulzer 1/ mit:

maximal knapp 4.200 m³/h (alle Filter in Betrieb), siehe unten

Nach /ATV 1/ Arbeitsblatt 203 sollten in „normalen“ Sandfiltern Geschwindigkeiten von 15 m/h nicht überschritten werden. (siehe auch den Belastungsfall – eine Kammer in Spülung)

Kapazitätsabschätzung für die Ist-Situation mit dem vorhandenen Sandfilter (je 4 Kammern als GAK sowie SF-Filter)

Ursprüngliche Auslegung /Sulzer 1/:

8 Kammern als SF-Filter in Betrieb nach /Sulzer 1/

256 m² x 16,3 m/h = **4.172 m³/h** bzw. 1.159 l/s /Sulzer 1/

Standzeit Filter bei Trockenwetter (450-1.946 m³/h, Qd = 32.780 m³/d): 24 h /Sulzer1/

Die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) wurde zur Auslegung mit 20-30 mg/l angenommen. Aktuell weisen die AFS im Mittel Konzentrationen von 4-6 mg/l im Ablauf der Nachklärung auf.

8 Kammern in Betrieb nach /ATV 1/

256 m² x 15 m/h = 3.840 m³/h bzw. 1.067 l/s /ATV 1/

7 Kammern in Betrieb, 1 Kammer in Spülung

224 m² x 15 m/h = 3.360 m³/h bzw. 933 l/s /ATV 1/

Die Förderschnecken liefern bei 50 Hz je einen Volumenstrom ca. 1.900 m³/h.

Nachrechnung des vorhandenen SF für 4 Filterkammern als GAK-Filter und 4 Filterkammern als herkömmlichen SF:

Fläche 4 Kammern: $4 \times 32 \text{ m}^2 = 128 \text{ m}^2$

Überstauvolumen: $128 \text{ m}^2 \times 2,20 \text{ m} \sim 280 \text{ m}^3$

GAK/SF Volumen: $128 \text{ m}^2 \times 1,80 \text{ m} \sim 230 \text{ m}^3$

Max. behandelbare Abwassermenge (Regenwetter) im SF: $15 \text{ m}^3/\text{h} \times 128 \text{ m}^2 = 1.920 \text{ m}^3/\text{h}$

Max. behandelbare Abwassermenge (u.a. Trockenwetter) im GAK-Filter: $8\text{-}10 \text{ m}^3/\text{h} \times 128 \text{ m}^2 =$

1.000-1.300 m³/h < 1.800 m³/h

(nicht ausreichend)

Kontaktzeit im Volumen des GAK-Filters in 4 Kammern (gleiche Füllhöhe wie der SF):

Unter Zugrundelegung einer minimal notwendigen Kontaktzeit von ~ 14 Minuten im GAK-Volumen ergibt sich ein möglicher Volumenstrom/ Abwassermenge im vorhandenen SF (8 Kammern) von:

GAK-Volumen 4 Kammern: $V = 230 \text{ m}^3$ (siehe auch Kapitel 4)

Kontaktzeit gewählt: $t_{\text{Kontakt}} = 14 \text{ Min}$

$230 \text{ m}^3 \times 60 / 14 \sim 1.000 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. $278 \text{ l/s} < 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$

(nicht ausreichend)

FAZIT:

Der auf je 4 Kammern aufgeteilte kombinierte GAK/SF-Filter ist nicht ausreichend für die Behandlung von rund $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ Abwasser als Q_{TR} im GAK-Filter dimensioniert. Die 4 Kammern als SF sind geeignet, die darüber hinausgehende Abwassermenge (bei Regen) von rund $1.900 \text{ m}^3/\text{h}$ zu filtrieren. Es ist erkennbar, dass der GAK-Filter für den zu behandelnden Volumenstrom von $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ über etwa 2-4 zusätzliche, baugleiche Kammern verfügen müsste.

6.1a Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 4 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit je 6 Kammern als Variante 1a

Im dargelegten Konzept wird der vorhandene Sandfilter mit den 8 Kammern um 4 weitere, baugleiche Kammern am Standort gemäß den örtlichen Randbedingungen (Gasspeicher) erweitert. Die hydraulischen Abwassermengen ändern sich für den neuen Kombinationsfilter mit $Q_{\max} = 3.780 \text{ m}^3/\text{h}$ nicht.

Im Kombinationsfilter werden dann z.B. auf der einen Seite 6 Kammern als GAK-Filter eingerichtet und genutzt, so dass etwa eine Abwassermenge Q_{Tr} von $900\text{-}1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ behandelt werden kann. Die Abwassermenge von $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $3.780 \text{ m}^3/\text{h}$ von rund $\sim 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ wird dann auf z.B. der anderen Seite in 6 SF-Kammern behandelt. Mindestens gleichwertig ist die Konzeption, von 6 „vorne“ liegenden Filterkammern als GAK-Filter für Q_{TRmax} und dann mittels Überfallwehr getrennt, 6 dahinter liegende Filterkammern als SF zur Behandlung der Regenwetterwassermenge von $> 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ zu nutzen. Diese Art der Trennung von GAK-Filter und Sandfilter ermöglicht z.B. auch eine Aufteilung von 8 GAK- zu 4 – SF-Filterkammern.

Abbildung 6-7 zeigt das Verfahrensschema für die Teilung des erweiterten Sandfilters in einen GAK-Filter (6 Kammern) bis zu $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie den Sandfilter (ebenfalls 6 Kammern) für die Abwassermenge $> 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $3.780 \text{ m}^3/\text{h}$.

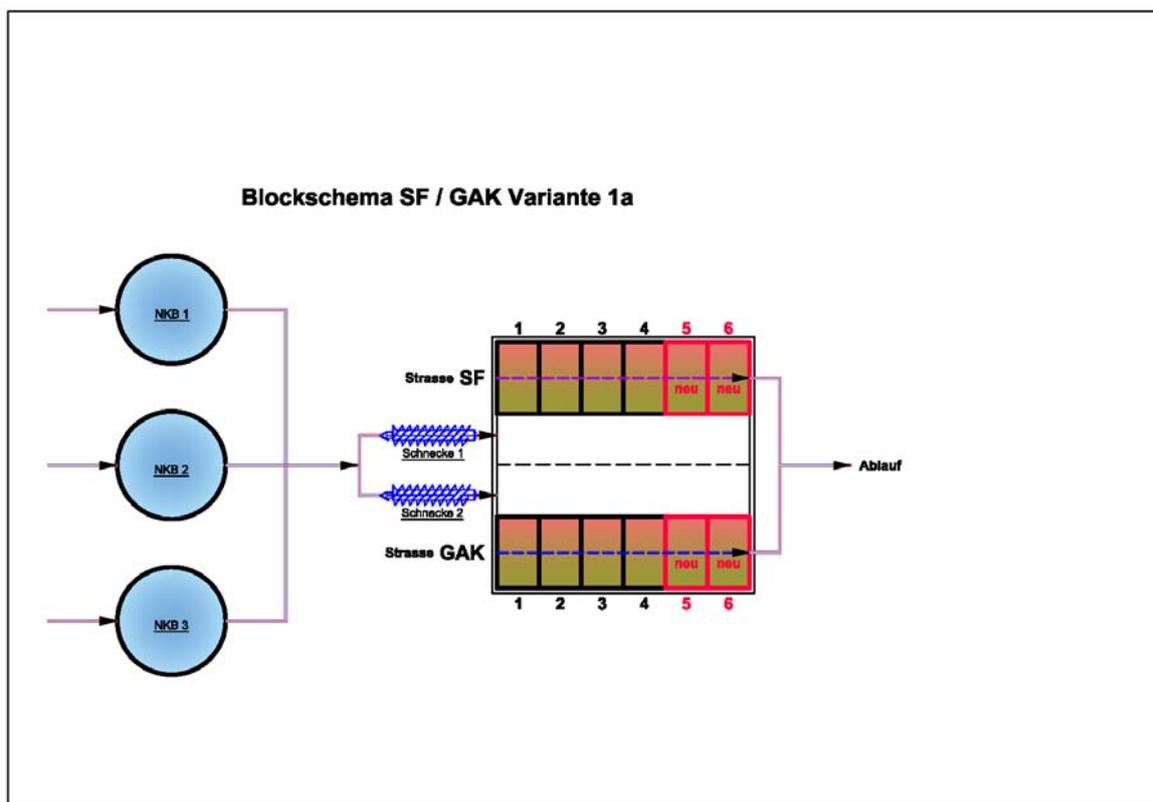


Abbildung 6-7

Verfahrensskizze SF/ GAK Filter in 6/ 6 Kammern Variante 1a

Variante 1a - Aufteilung 6 GAK und 6 SF-Filter:

Rechnerischer Nachweis/ Auslegung des SF mit $n = 6$ Kammern

6 SF- Kammern in Betrieb nach /ATV 1/

$$192 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 2.880 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } 800 \text{ l/s} \quad /ATV 1/$$

5 Kammern in Betrieb $n - 1$, 1 Kammer in Spülung

$$160 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 2.400 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } 933 \text{ l/s} \quad /ATV 1/$$

(ausreichend)

Kontaktzeit im Volumen des GAK-Filters mit 6 Kammern (**gleiche Füllhöhe wie der SF angenommen**):

Unter Zugrundelegung einer minimal notwendigen Kontaktzeit von ~ 14 Minuten im GAK-Volumen ergibt sich ein möglicher Volumenstrom/ Abwassermenge in 6 Kammern von:

GAK-Filterfläche: $A_{\text{GAK}} = 192 \text{ m}^2$

GAK-Filtervolumen: $V_{\text{GAK}} = 345 \text{ m}^3$

Kontaktzeit gewählt: $t_{\text{Kontakt}} = 14 \text{ Min}$

Filtergeschwindigkeit: gewählt $9 \text{ m/h} < 10\text{-}12 \text{ m/h}$

$$192 \text{ m}^2 \times 9 \text{ m/h} = \mathbf{1.728 \text{ m}^3/\text{h}} \text{ bzw. } 480 \text{ l/s}$$

5 Kammern in Betrieb $n - 1$, 1 Kammer in Spülung – 160 m^2

$$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 160 \text{ m}^2 = \mathbf{11 \text{ m/h}}$$
 (kurzzeitig für die Dauer einer Spülung)

Kontaktzeit:

$$345 \text{ m}^3 / 1.728 \text{ m}^3/\text{h} \times 60 \text{ Min} = 12 \text{ Min}$$

(sehr knapp bis nicht ausreichend)

Die örtliche Situation des erweiterten Sandfilterbauwerks zeigt Abbildung 6-8.

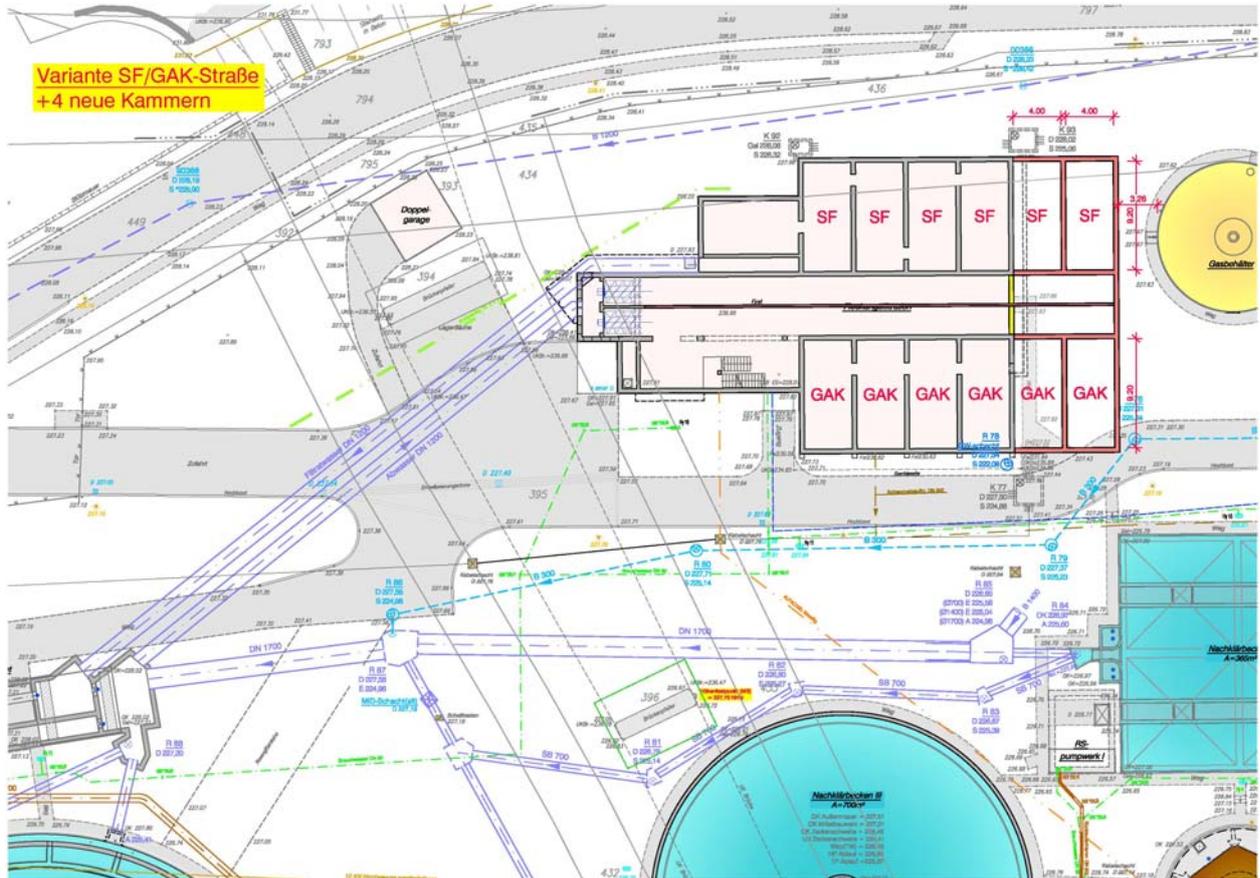


Abbildung 6-8 Lageskizze SF/ GAK-Filter in 6/ 6 Kammern als 2 Straßen Variante 1a

6.1b Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 4 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit 4 SF und 8 GAK Kammern als Variante 1b

Abbildung 6-9 zeigt im Vergleich zu Abbildung 6-7 die Variante 1 b mit 8 Kammern als GAK-Filter und 4 Kammern SF-Filter „hintereinander“. Diese Variante bietet eine an die hydraulischen Verhältnisse von Trocken- und Regenwetter besser angepasste Verfahrens-/ Anlagenlösung des kombinierten SF/ GAK-Filter.

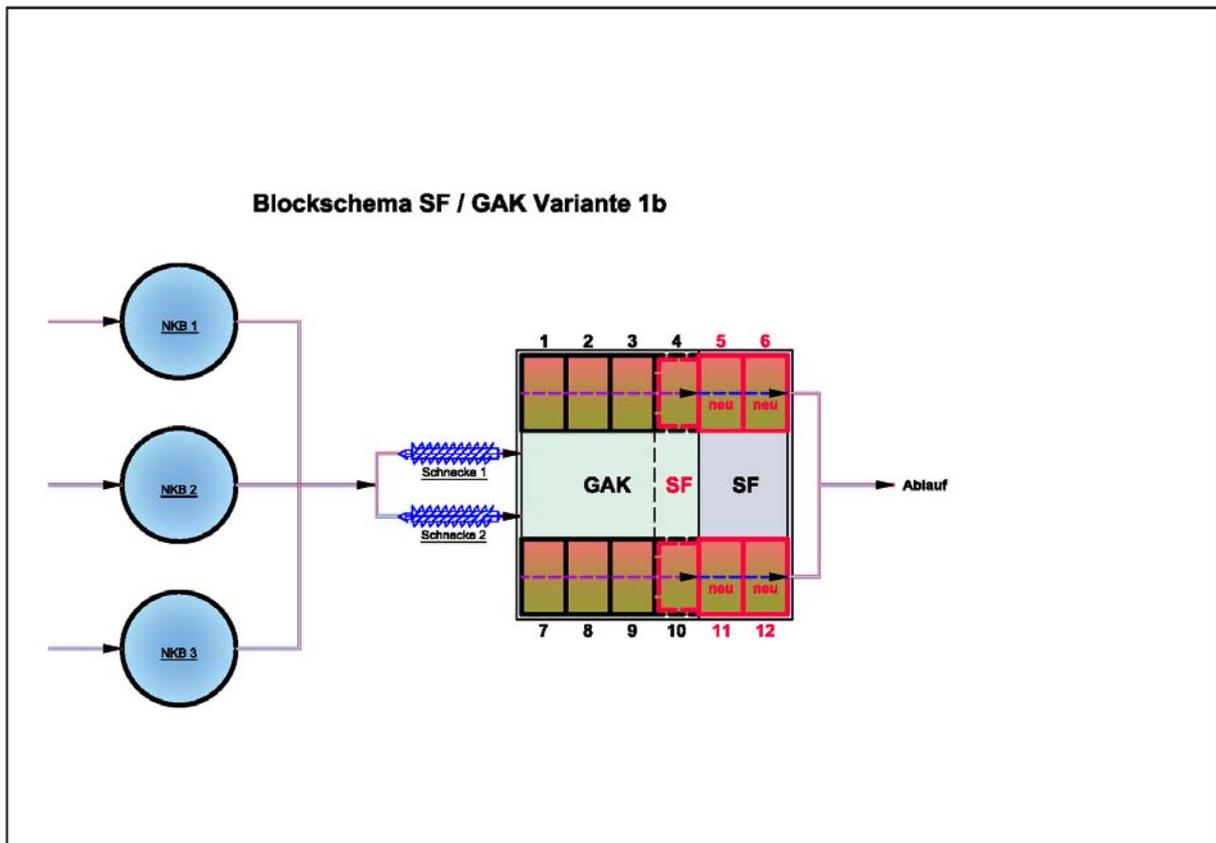


Abbildung 6-9

Verfahrensskizze SF/ GAK-Filter in 4/ 8 Kammern Variante 1b

Variante 1b - Aufteilung in 8 GAK und 4 SF-Filter:

Rechnerischer Nachweis/ Auslegung des SF mit $n = 4$ Kammern

4 SF-Kammern in Betrieb nach /ATV 1/

$128 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 1.920 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. 533 l/s /ATV 1/

3 Kammern in Betrieb $n - 1$, 1 Kammer in Spülung

$96 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 1.440 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. 933 l/s /ATV 1/

Kontaktzeit im Volumen des GAK-Filters mit 8 Kammern (gleiche Füllhöhe wie der SF):

Unter Zugrundelegung einer minimal notwendigen Kontaktzeit von ~ 14 Minuten im GAK-Volumen ergibt sich ein möglicher Volumenstrom/ Abwassermenge in 8 Kammern von:

GAK-Filterfläche: $A_{\text{GAK}} = 256 \text{ m}^2$ ($8 \times 32 \text{ m}^2$)

GAK-Filtervolumen: $V_{\text{GAK}} = 460 \text{ m}^3$ ($8 \times 32 \text{ m}^2 \times 1,80 \text{ m}$)

Kontaktzeit min: $t_{\text{Kontakt}} = 14 \text{ Min}$

Filtergeschwindigkeit im GAK-Filter: anvisiert/ vorgegeben < 10-12 m/h laut Literatur

$$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 256 \text{ m}^2 = 7 \text{ m/h}$$

7 Kammern in Betrieb n - 1, 1 Kammer in Spülung – 224 m²

$$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 224 \text{ m}^2 = 8 \text{ m/h}$$

Kontaktzeit:

$$460 \text{ m}^3 / 1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 60 \text{ Min} = 15,3 \text{ Min}$$

Im Rahmen dieser Aufteilung könnte „lediglich“ bei notwendiger Rückspülung des anteiligen SF im Regenwetterfall ein Kapazitätsengpass entstehen.

Die örtliche Situation des erweiterten Sandfilterbauwerks mit dann 8 GAK und 4 SF-Filterkammern zeigt Abbildung 6-10

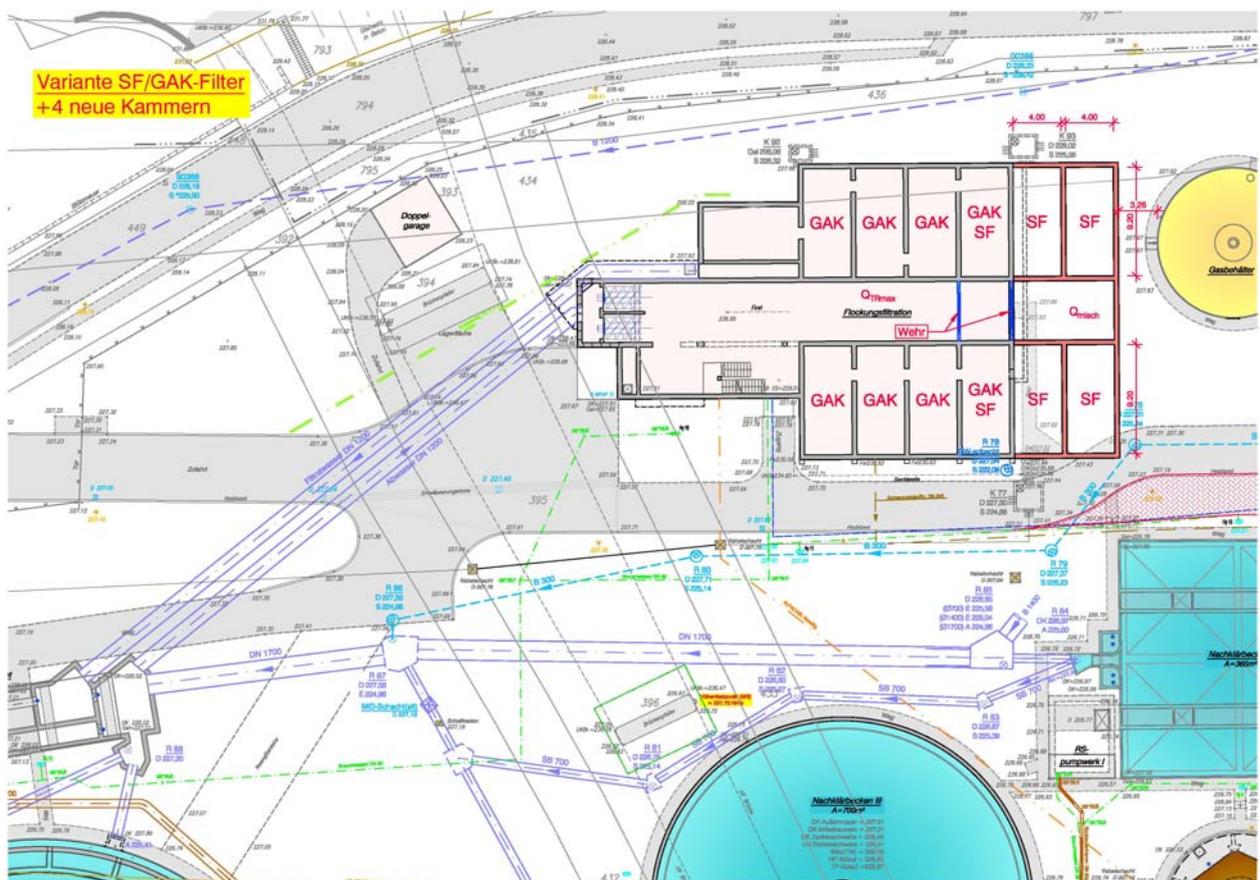


Abbildung 6-10

Lageskizze SF/ GAK Filter in 4/ 8 Kammern Variante 1b

Beispielhafte Abschätzung Bettvolumen/ Austausch der GAK für 6 Kammern GAK-Filter

Bei über 24 h kontinuierlichen Zufluss = 43.200 m³/d (Regenwetter)

Bei über 16 h kontinuierlichem Zufluss = 32.800 m³/d (Trockenwetter mittel)

Bettvolumina:

Die möglichen Bettvolumina in [m³ Abwasser/ m³ GAK-Volumen] ergeben sich je nach Spurenstoff und Eliminationsgrad zwischen 3.000 und 14.000 m³ Abwasser / m³ GAK-Volumen bis zur Beladung und notwendigem Austausch.

Minimal: 3.000 x 345 m³ = 1.035.000 m³ Abwasser durch

Maximal: 14.000 x 345 m³ = 4.830.000 m³ Abwasser (alles für 1 Filter alleine)

Realistisch erscheint nach Auswahl einer geeigneten Aktivkohle ein Bettvolumen von ~ 8.000-9.000, das durch den parallelen Betrieb mehrerer Kammern auf etwa ~ 14.000 BV verlängert werden kann (siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 2 und 3 sowie im Anhang).

Realistisch: 14.000 BV x 345 m³ = 4.830.000 m³ Abwasser

Als beispielhafte Vorauswahl ist ggf. die folgende A-Kohle nach folgendem Aufbau als GAK-Filter denkbar.

- Granulierte Aktivkohle, z.B. der Firma/ Typ: AquaSorb
- Material unter Stüttschicht: Korngröße 4-16 mm, Höhe 200 mm
- Material Deckschicht: Korngröße 0,5-2,4 mm, Höhe 1600-1800 mm

Dies ergibt unter Trockenwettertagen einen Austausch von 4.830.000 m³/ 32.800 m³/d ~ 150 Tagen

Bei Zugrundelegung von etwa 50 % Regenwettertage, also (50 % 32.800 m³/d und 50 % 43.200 m³/d) gemittelt ~ 38.000 m³/d, ergeben sich 4.830.000 m³/ 38.000 m³/d ~ 130 Tage.

Über den GAK-Filter wird eine Jahresabwassermenge von knapp 14.000.000 m³/a behandelt.

Somit ist ein Austausch der GAK etwa alle 4 Monate zu kalkulieren.

Kosten Austausch der GAK pro Jahr:

3 x Austausch/ a x ~350 m³ x 1,25 €/kg x ~ 0,450 kg/l ~ 0,56 Mio €/a

Das überschlägige Auslegungsergebnis mit den Aufwendungen für Energie, Einsatz- und Hilfsstoffen bzw. Reststoffen ist in folgender Abbildung 6-11 dargestellt.

Auslegungsgrundlagen zur Spurenstoffelimination					
GAK-Einsatz in der Filtration		erweitert um 4 Kammern SF- 6 Kammern/ GAK- 6 Kammern			
Abwasser	Qtmax	1.800,00	[m ³ /h]		
	Qtmittel	1.600,00			
	QT24	1.215	[m ³ /h]	1,0x Trockenwetterzufluss	
Abwassermenge min.		900,00	[m ³ /h]	Nachtzufluss	
Tagesabwassermenge		32.800,00	[m ³ /d]	Trockenwetter	
Jahresabwassermenge		13.832.000,00	[m ³ /a]	(ca. 50 % Regenwettertage)	
AFS-Konzentration mittel		4,00	[mg/l]		
CSB-Konzentration mittel		18,40	[mg/l]		
DOC-Konzentration mittel		10,00	[mg/l]	abgeleitet DOC/CSB 1:3	
Filterdaten:	GAKFVolum	345,60	[m ³]	Anzahl Kamr	6 m
	Fläche	192,00	[m ²]	Länge	8 m
	ÜberstauVol	422,40	[m ³]	Breite	4 m
				Höhe GAKf	1,8 m
				Höhe Überst	2,2 m
Filtergeschwindigkeit:		9,38	[m/h]	Vorgabe	5-15 m/h
				GAK _{max}	10-12 m/h
Kontaktzeit Filter min		11,52	Min	Kontaktzeit	12 bis 20 [Min]
Flockungszeit Überstau min		14,08	Min	Reaktionszeit	10 bis 25 [Min]
Bettvolumen:		14.000,00	BV	je nach Stoff	4.000 bis 12.000
				gewählt	8.000,00
Standzeit GAK		4,2	Monate	SF mehrstr.	1,75 Faktor BV
				GAK Dichte	450 kg/m ³
Strombedarf [kWh/a]:				Strombedarf kWh/m ³	gewählt
	GAK-Filtra.	484.120		GAK	0,035 0,035
	Sandfilter	0		Sandfiltratio	0,01-0,05
	Rezirkulation			Rezirkulation	0,08-0,18 0
	Summe	484.120		Rückspülung	1/12 h
Kosten [€/a,brutto]:					
Stromkosten	0,18	87.142			
GAK-kosten	1,25	555.750			
Betriebskosten		642.892	[€/a]		
spez. Betriebskosten		0,046	[€/m ³]		
biologische Nachbehandlung			nicht erforderlich		

Abbildung 6-11 Auslegungsergebnis SF/ GAK-Filter in 6/ 6 Kammern Variante 1a/b

Die Rückspülung der Filterkammern mit dem Luft-/ Wasser-Gemisch sollte keine höheren Geschwindigkeiten als etwa 50-60 m/h aufweisen. Der GAK-Filter wird dem Sandfilter vergleichbar betrieben. Das Spülwasser wird als Überstandswasser der Belebungsstufe zugeführt. Vergleichbare Konzepte wurden u.a. auf den Kläranlage obere Lutter /Burbaum 1/ und Buchenhofen /Kolisch 1/ bereits erprobt (siehe Abbildungen 6-12 und 6-13).

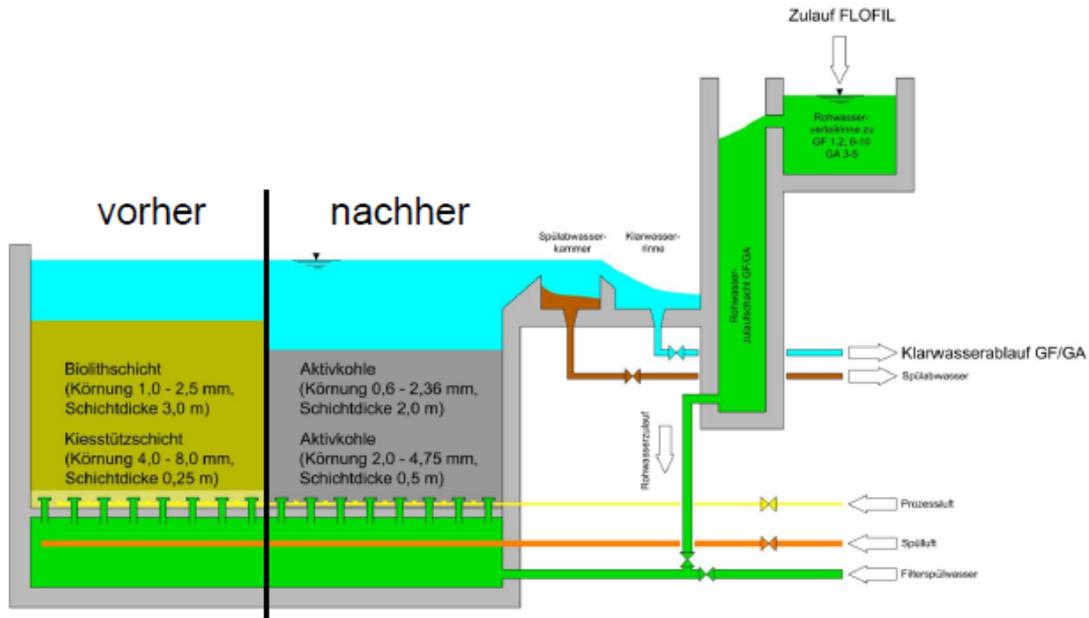


Abbildung 6-12 praktische Umrüstung SF in GAK Filter /Burbaum1/ /Bruhn1/

Von /Burbach 1/ wurden die folgenden Eliminationsraten beim Betrieb eines **GAK-Filters** ermittelt.

Welche Eliminationsraten können erreicht werden?

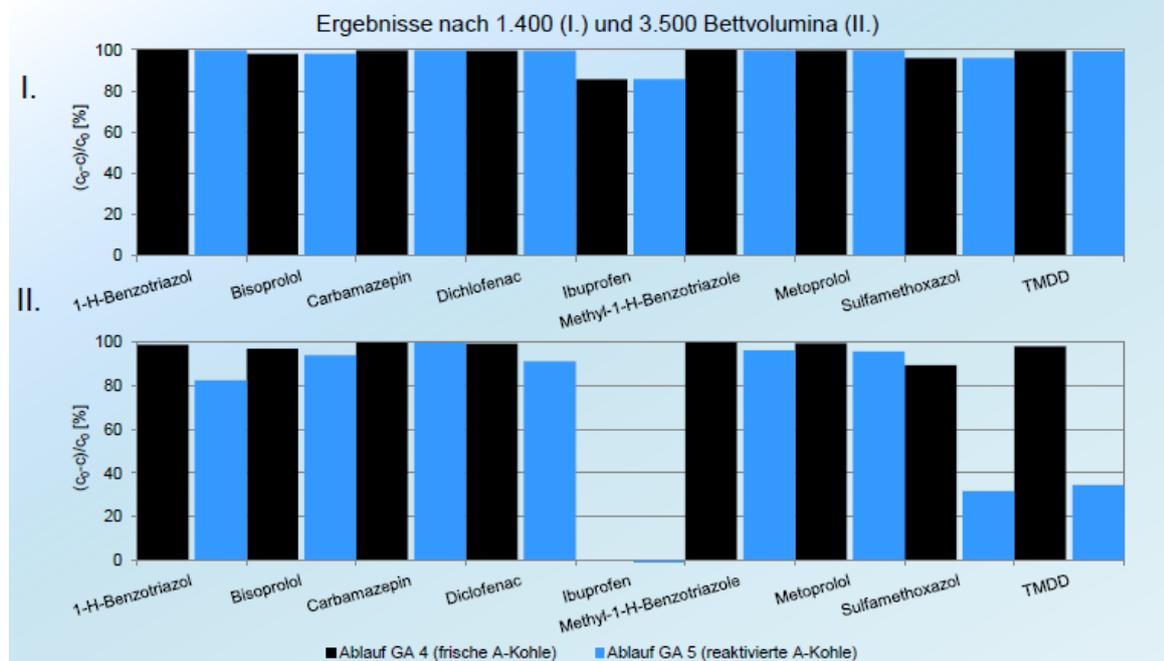


Abbildung 6-13 erzielte Eliminationsergebnisse mittels GAK Filter /Burbaum 1/

Als Fazit der Untersuchungen wurde von Burbach /Burbach 1/ wie folgt angegeben:

- stabiler praxistauglicher Betrieb, wenn der Filterzulauf feststofffrei ist (AFS < 5 mg/l)
- gute Elimination von CSB/TOC
- gute Elimination von vielen im Abw. enthaltenen Mikroverunreinigungen
- Regeneration der Aktivkohle hat Einfluss auf die Filterstandzeit
- Wirtschaftlichkeit gegeben

Abbildung 6-14 Ergebnis/ Fazit aus dem Betrieb – GAK-Filter /Burbaum 1/

Im FuE-Vorhaben Filter AK+ wurden beim Wupperverband /Bornemann 1 u. 2/ bzgl. Elimination und Bettvolumen die folgenden Ergebnisse mit einem GAK-Filter erzielt (siehe auch weitere Angaben im Anhang).

Das Abbruchkriterium bestimmt die Filterlaufzeit

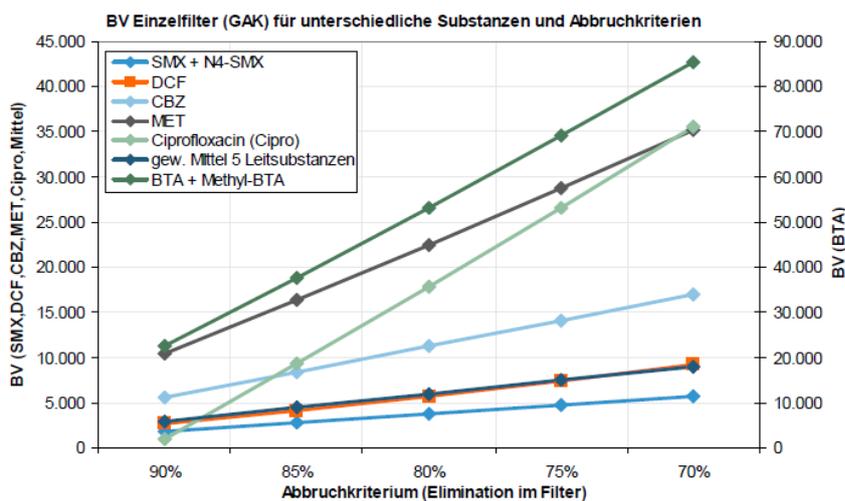


Abbildung 6-15 Elimination in % und Bettvolumen im GAK-Filter /Bornemann 1/

Parallelschaltung mehrerer Filter verlängert die Laufzeit

SZ	Kriterium	Substanz	Bettvolumina bei Abbruchkriterium 80%		$f_{parallel}$ Erhöhungsfaktor Parallelbetrieb
			Einzelfilter	14 Filter	
1	80% Elimination im Filter, Einzelsubstanz	DCF	5.700	11.200	1,96
		SMX + N4-SMX	3.900	7.600	1,95
		CBZ	10.493	21.500	2,05
		MET	22.500	42.700	1,90
		BTA + Methyl-BTA	55.000	105.000	1,91
		Ciprofloxacin (Cipro)	17.800	28.400	1,60
		TCP	4.700	9.600	2,04
2	80% Elimination im Filter, Mittelwert aus 5	Mittelwert (DCF, SMX, CBZ, MET, Cipro)	6.000	11.200	1,87
3	Konzentrations-bezogen	$C_{DCF,ab} < 0,1 \mu\text{g/l}$	1.040	2.044	1,96
4		$C_{CSB,ab} < 20 \text{ mg/l}$			
5	Gesamt-wirkungsgrad KA	$\eta_{GES} = \eta_{BB} + \eta_{AK}$ (Beispiel: DCF)	8.119	15.954	1,96

Abbildung 6-16 Bettvolumen und Anpassung Parallelbetrieb GAK-Filter /Bornemann 1/

Die Kosten für einen GAK-Filter im Vergleich zur PAK Dosierung vor den Filter ergeben sich nach /Kolisch 1/ wie folgt:

▶ GAK

1) Produktkosten	1.000	€/t	Angebot
2) Schüttdichte	400	kg/m ³	Produktdatenblatt
3) Bettvolumina	10.000	m ³ /m ³	Vorgabe bis < 20% Durchbruch (>80%Elimination)
4) Filtermaterial GAK	120	m ³ GAK	Filterschüttung
5) behandeltes Wasser	1.200.000	m ³ Wasser	zu behandelndes Wasser (Aus BV und Filterschüttung)
6) spez. GAK	40	mg _{GAK} /l	berechnet aus Schüttung, Dichte und Wassermenge
7) CSB-Adsorption (bei spez. GAK)	225	mg _{CSB} /g _{GAK}	aus Versuchen
spezifische Kosten	4,4	€/kg CSB	

▶ PAK

1) Produktkosten	1.500	€/t	Angebot
5) behandeltes Wasser	1.200.000	m ³ Wasser	zu behandelndes Wasser (Aus BV und Filterschüttung)
6) spez. PAK	20	mg _{GAK} /l	berechnet aus Schüttung, Dichte und Wassermenge
7) CSB-Adsorption (bei spez. PAK)	340	mg _{CSB} /g _{GAK}	aus Versuchen
spezifische Kosten	4,4	€/kg CSB	

Abbildung 6-17

Kennzahlen und Kosten von GAK und PAK im Vergleich /Kolisch 1/

FAZIT:

Die technische Konzeption zur Aufteilung des auf 12 Kammern erweiterten Filters in einen kombinierten SF/GAK-Filter in je 6 Kammern mit einer Behandlung der Trockenwettermengen im GAK-Filter und die darüber hinausgehenden Abwassermengen im SF-Filter erscheint aussichtsreich. **Insbesondere auch die Möglichkeit zur Aufteilung in 4 SF und 8 GAK-Kammern erscheint sinnvoll. Dieses geteilte Konzept einer SF/ GAK-Filtration** ist mit den bestehenden 8 Kammern nicht ausreichend dimensioniert.

6.1c Erweiterung des vorhandenen Sandfilters (8 Kammern) um 8 Kammern als kombinierten SF/GAK-Filter mit je 8 Kammern als SF und GAK-Filter - Variante 1c

Im dargelegten Konzept wird der vorhandene Sandfilter mit den 8 Kammern um 8 weitere, baugleiche Kammern am Standort gemäß den örtlichen Randbedingungen erweitert. Die hydraulischen Abwassermengen ändern sich für den neuen Kombinationsfilter mit u.a. $Q_{\max} = 3.780 \text{ m}^3/\text{h}$ nicht.

Im Kombinationsfilter werden dann z.B. auf der einen Seite 8 Kammern als GAK-Filter eingerichtet und genutzt, so dass eine Abwassermenge von etwa Q_{Tr} von $900\text{-}1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ behandelt werden kann. Die Abwassermenge von $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $3.780 \text{ m}^3/\text{h}$ von $\sim 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$ wird dann auf z.B. der anderen Seite in 8 SF-Kammern behandelt. Mindestens gleichwertig ist die Konzeption von 8 „vorne“ liegenden Filterkammern als GAK-Filter für Q_{Tr} und dann mittels ggf. Überfallwehr getrennte, dahinter liegende 8 Filterkammern als SF zur Behandlung der Regenwetterwassermenge von $> 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ zu nutzen. Diese Art der Trennung von GAK-Filter und Sandfilter ermöglicht z.B. eine Aufteilung von 10 zu 6 Filterkammern.

Abbildung 6-18 zeigt das Verfahrensschema für die Teilung des erweiterten Sandfilters in einen GAK-Filter (8 Kammern) bis zu $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ sowie den Sandfilter (ebenfalls 8 Kammern) für die Abwassermenge $> 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $3.750 \text{ m}^3/\text{h}$.

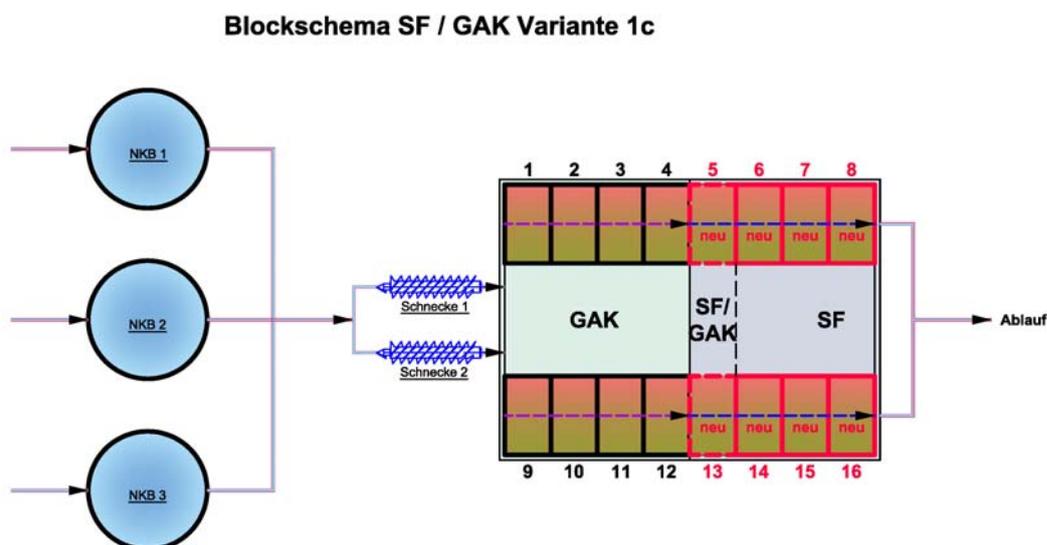


Abbildung 6-18

Verfahrensskizze eines SF/GAK-Filters mit je 8 Kammern (Variante 1c)

Rechnerischer Nachweis/ Auslegung des SF mit n = 8 Kammern

8 SF- Kammern in Betrieb nach /ATV 1/

$$256 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 3.840 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } \sim 1070 \text{ l/s} \quad /ATV 1/$$

7 Kammern in Betrieb n - 1, 1 Kammer in Spülung

$$224 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 3.360 \text{ m}^3/\text{h} \text{ bzw. } \sim 933 \text{ l/s} \quad /ATV 1/$$

Damit ist der Sandfilter (8 Kammern) für die Behandlung der Abwassermenge > 1.800 m³/h bis 3.780 m³/h mehr als ausreichend dimensioniert. Es "verbleiben" maximal rund 2.000 m³/h Abwasser für die Sandfiltration. Mit 8 SF-Kammern wird derzeit der gesamte Abwasserstrom von 3.750 m³/h im Sandfilter behandelt.

Rechnerischer Nachweis/ Auslegung des GAK-Filters mit n = 8 Kammern

Kontaktzeit im Volumen des GAK-Filters mit 8 Kammern (gleiche Füllhöhe wie der SF angenommen):

Unter Zugrundelegung einer minimal notwendigen Kontaktzeit von ~ 14 Minuten im GAK-Volumen ergibt sich ein möglicher Volumenstrom/ Abwassermenge in 8 Kammern von:

$$\text{GAK-Filterfläche:} \quad A_{\text{GAK}} = 256 \text{ m}^2$$

$$\text{GAK-Filtervolumen:} \quad V_{\text{GAK}} = 460 \text{ m}^3$$

$$\text{Kontaktzeit min:} \quad t_{\text{Kontakt}} = 14 \text{ Min}$$

Filtergeschwindigkeit im GA-Filter: anvisiert/ vorgegeben < 10-12 m/h laut Literatur

$$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 256 \text{ m}^2 = \mathbf{7 \text{ m/h}}$$

7 Kammern in Betrieb n - 1, 1 Kammer in Spülung – 224 m²

$$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 224 \text{ m}^2 = \mathbf{8 \text{ m/h}}$$

Kontaktzeit:

$$460 \text{ m}^3 / 1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 60 \text{ Min} = 15,3 \text{ Min}$$

Berechnung des Bettvolumens:

Bei über 24 h kontinuierlichen Zufluss = 43.200 m³/d (Regenwetter)

Bei über ~ 16 h kontinuierlichem Zufluss = 32.800 m³/d (Trockenwetter mittel)

Bettvolumina:

Die möglichen Bettvolumina ergeben sich je nach Spurenstoff und Eliminationsgrad zwischen 3.000 und 14.000 bis zur Beladung und notwendigem Austausch.

Minimal: 3.000 x 460 m³ = 1.380.000 m³ Abwasser durch

Maximal: 14.000 x 460 m³ = 6.440.000 m³ Abwasser (für einen Filter)

Realistisch erscheint nach Auswahl einer geeigneten Aktivkohle ein Bettvolumen von ~ 8.000-9.000, das durch den parallelen Betrieb mehrerer Kammern auf etwa ~ 14.000 BV verlängert werden kann (siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 2 und 3).

Realistisch: $14.000 \text{ BV} \times 460 \text{ m}^3 = 6.440.000 \text{ m}^3 \text{ Abwasser}$

Als beispielhafte Vorauswahl ist ggf. die folgende A-Kohle nach folgendem Aufbau als GAK-Filter denkbar.

- Granulierte Aktivkohle, z.B. der Firma/ Typ: AquaSorb
- Material unter Stützschrift: Korngröße 4-16 mm, Höhe 200 mm
- Material Deckschicht: Korngröße 0,5-2,4 mm, Höhe 1600-1800 mm

Abbildung 6-19 zeigt die Lageskizze des um 8 Filterkammern erweiterten SF-Bauwerks. Der vorhandene Gasspeicher muss dazu versetzt werden.

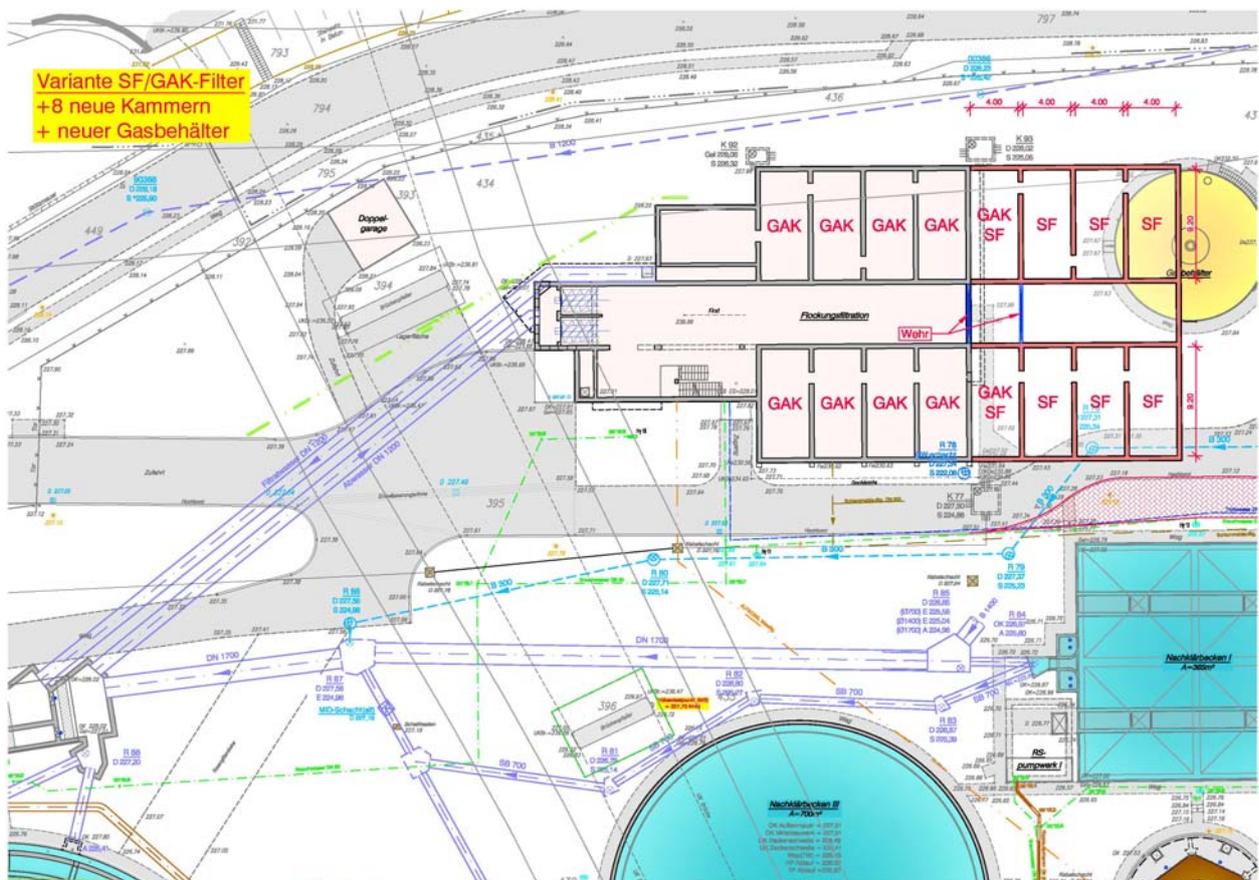


Abbildung 6-19

Lageskizze SF/ GAK Filter in 8/ 8 Kammern

Dies ergibt unter Trockenwettertagen einen Austausch von $6.440.000 \text{ m}^3 / 32.800 \text{ m}^3/\text{d} \sim 200$ Tage.

Bei Zugrundelegung von etwa 50 % Regenwettertage, also (50 % 32.800 m³/d und 50 % 43.200 m³/d) gemittelt ~ 38.000 m³/d, ergeben sich 6.440.000 m³/ 38.000 m³/d ~ 170 Tage.

Über den GAK-Filter wird eine Jahresabwassermenge von knapp 14.000.000 m³/a behandelt, somit ist ein Austausch der GAK etwa alle 6 Monate zu kalkulieren.

Kosten Austausch der GAK pro Jahr:

2,1 x Austausch/ a x ~ 460 m³ x 1,25 €/kg x ~ 0,450 kg/l ~ 0,55 Mio €/a

Das überschlägige Auslegungsergebnis mit den Aufwendungen für Energie, Einsatz- und Hilfsstoffen bzw. Reststoffen ist in folgender Abbildung 6-20 dargestellt.

Auslegungsgrundlagen zur Spurenstoffelimination					
GAK-Einsatz in der Filtration		erweitert um 8 Kammern SF- 8 Kammern/ GAK- 8 Kammern			
Abwasser	Qtmax	1.800,00	[m ³ /h]		
	Qtmittel	1.600,00			
	QT24	1.215	[m ³ /h]	1,0 x Trockenwetterzufluss	
Abwassermenge min.		900,00	[m ³ /h]	Nachtzufluss	
Tagesabwassermenge		32.800,00	[m ³ /d]	Trockenwetter	
Jahresabwassermenge		13.832.000,00	[m ³ /a]	(ca. 50 % Regenwettertage)	
AFS-Konzentration mittel		4,00	[mg/l]		
CSB-Konzentration mittel		18,40	[mg/l]		
DOC-Konzentration mittel		10,00	[mg/l]	abgeleitet	DOC/CSB 1:3
Filterdaten:	GAKFVolumen	460,80	[m ³]	Anzahl Kamr	8
	Fläche	256,00	[m ²]	Länge	8 m
	ÜberstauVol	563,20	[m ³]	Breite	4 m
				Höhe GAKf	1,8 m
				Höhe Überst	2,2 m
Filtergeschwindigkeit:		7,03	[m/h]	Vorgabe	5-15 m/h
				GAK _{max}	10-12 m/h
Kontaktzeit Filter min		15,36	Min	Kontaktzeit	12 bis 20 [Min]
Flockungszeit Überstau min		18,77	Min	Reaktionszeit	10 bis 25 [Min]
Bettvolumen:		14.000,00	BV	je nach Stoff	4.000 bis 12.000
				gewählt	8.000,00
Standzeit GAK		5,6	Monate	SF mehrstr.	1,75 Faktor BV
				GAK Dichte	450 kg/m ³
Strombedarf [kWh/a]:				Strombedarf kWh/m ³	gewählt
	GAK-Filtra.	484.120		GAK	0,035 0,035
	Sandfilter	0		Sandfiltratio	0,01-0,05 0
	Rezirkulation			Rezirkulatio	0,08-0,18 0
	Summe	484.120		Rückspülung	1/12 h
Kosten [€/a,brutto]:					
Stromkosten	0,18	87.142			
GAK-kosten	1,25	555.750			
Betriebskosten		642.892	[€/a]		
spez. Betriebskosten		0,046	[€/m ³]		
biologische Nachbehandlung			nicht erforderlich		

Abbildung 6-20

Auslegungsergebnis SF/ GAK Filter in 8/ 8 Kammern (Variante 1c)

FAZIT:

Der Neubau von 8 Filterkammern (dann in Summe 16 Filterkammern) und der anvisierten Aufteilung in 8 GAK- und 8 SF-Kammern ist für den Regenwetteranteil mit der Behandlung in den 8 SF-Kammern überdimensioniert bzw. weist dann noch Kapazitätsreserven auf.

Der Gasbehälter $V = 800 \text{ m}^3$ muss dafür versetzt bzw. neu gebaut werden.

6.2 Neubau eines GAK-Filters im Anschluss an den vorhandenen SF

Im angedachten Konzept wird der vorhandene Sandfilter mit den 8 Kammern so wie vorhanden und bisher für die gesamte Abwassermenge von $Q_{\text{max}} = 3.780 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben. Es wird einer neuer GAK-Filter (hier beispielhaft kalkuliert als Dyna-Sand Filter Carbon) dem SF nachgeschaltet gebaut. Alternativ sind andere Bauformen, wie u.a. vergleichbar zum vorhandenen Sandfilterbauwerk, denkbar.

Abbildung 6-21 zeigt das Verfahrensschema für einen neuen, nachgeschalteten GAK-Filter für eine Abwassermenge von $1.800 \text{ m}^3/\text{h}$. Der Standort liegt unter den beengten Verhältnisse im Ablaufbereich der Kläranlage. Die vorhandene Zufahrt muss verlegt werden.

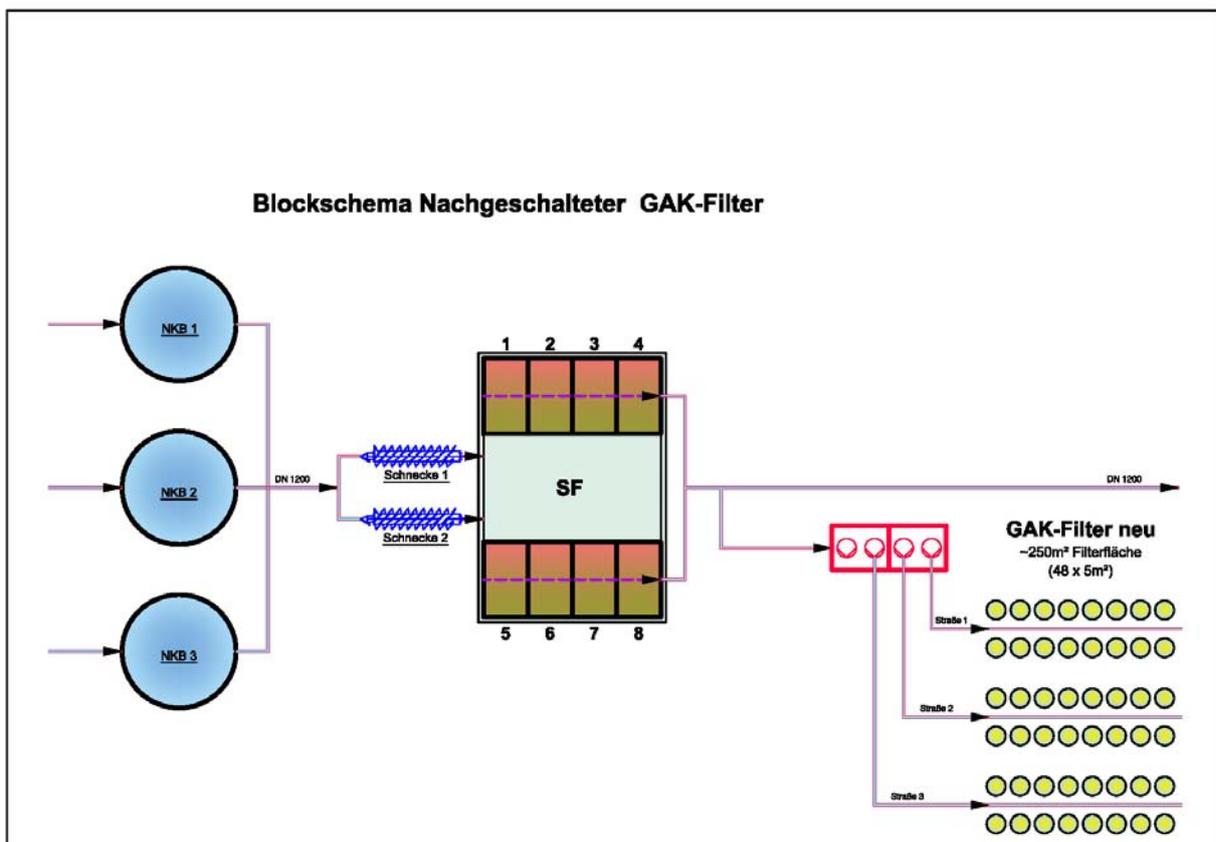


Abbildung 6-21

Verfahrensskizze eines GAK-Filters mit hier z.B. 50 Behältern (Variante 2)

Rechnerischer Nachweis/ Auslegung des GAK

mit hier beispielhaft $n = 48-50$ Filtereinheiten mit je einer Filterfläche von $\sim 5 \text{ m}^2$. Die Aufstellung erfolgt in Stahlbehälterbauweise auf Fundamentplatte und Einhausung (Leichtbauhalle). Die Dyna-Sand-Carbon-Filtereinheiten werden kontinuierlich betrieben. Das gewählte Konzept sieht eine dreistraßige Anlage vor.

Die Höhe des GAK-Filtermaterials liegt bei etwa 2 m.

GAK-Filterfläche: $A_{\text{GAK}} \sim 250 \text{ m}^2$

GAK-Filtervolumen: $V_{\text{GAK}} \sim 500 \text{ m}^3$

Kontaktzeit min: $t_{\text{Kontakt}} = 14 \text{ Min}$

Unter Zugrundelegung einer minimal notwendigen Kontaktzeit von ~ 14 Minuten im GAK-Volumen ergibt sich ein möglicher Volumenstrom/ Abwassermenge bzw. Geschwindigkeit von:

Filtergeschwindigkeit im GAK-Filter: anvisiert/ vorgegeben $< 10-12 \text{ m/h}$ laut Literatur

$1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 250 \text{ m}^2 = \mathbf{7,2 \text{ m/h}}$ (der Hersteller dimensioniert mit $9 \text{ m/h} \sim 40$ Filtereinheiten)

Kontaktzeit im Volumen des GAK-Filters mit 50 Kammern:

$500 \text{ m}^3 / 1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 60 \text{ Min} = 17 \text{ Min}$ (ausreichend)

Berechnung Bettvolumen:

Bei über 24 h kontinuierlichen Zufluss = $43.200 \text{ m}^3/\text{d}$ (Regenwetter)

Bei über ~ 16 h kontinuierlichem Zufluss = $32.800 \text{ m}^3/\text{d}$ (Trockenwetter mittel)

Die möglichen Bettvolumina (einfach vorhandener Filter) ergeben sich je nach Spurenstoff und Eliminationsgrad zwischen 3.000 und 14.000 bis zur Beladung und notwendigem Austausch.

Minimal: $3.000 \times 500 \text{ m}^3 = 1.500.000 \text{ m}^3$ Abwasser durch

Maximal: $14.000 \times 500 \text{ m}^3 = 7.000.000 \text{ m}^3$ Abwasser

Realistisch erscheint nach Auswahl einer geeigneten Aktivkohle ein Bettvolumen von $\sim 9.000-10.000$, das durch den parallelen Betrieb mehrerer Kammern auf etwa $\sim 16.000 \text{ BV}$ verlängert werden kann. (siehe dazu die Ausführungen in Kapitel 2 und 3.) Diese Wahl ist insbesondere vor der vergleichsweise geringen Hintergrundbelastung des bereits sandfiltrierten Abwassers realistisch.

Realistisch: $16.000 \text{ BV} \times 500 \text{ m}^3 = 8.000.000 \text{ m}^3$ Abwasser

Als Vorauswahl ist ggf. die folgende A-Kohle nach folgendem Aufbau als GAK-Filter denkbar.

- Granulierte Aktivkohle, z.B. der Firma/ Typ: AquaSorb
- Material unter Stützschrift: Korngröße 4-16 mm, Höhe 200 mm
- Material Deckschicht: Korngröße 0,5-2,4 mm, Höhe 1600-1800 mm (ggf. auch feinkörniger)

Abbildung 6-22 zeigt eine mögliche Lageskizze für einen neu zu bauenden GAK-Filter hier mit 48 Behältern und in Summe etwa 250 m² Filterfläche.

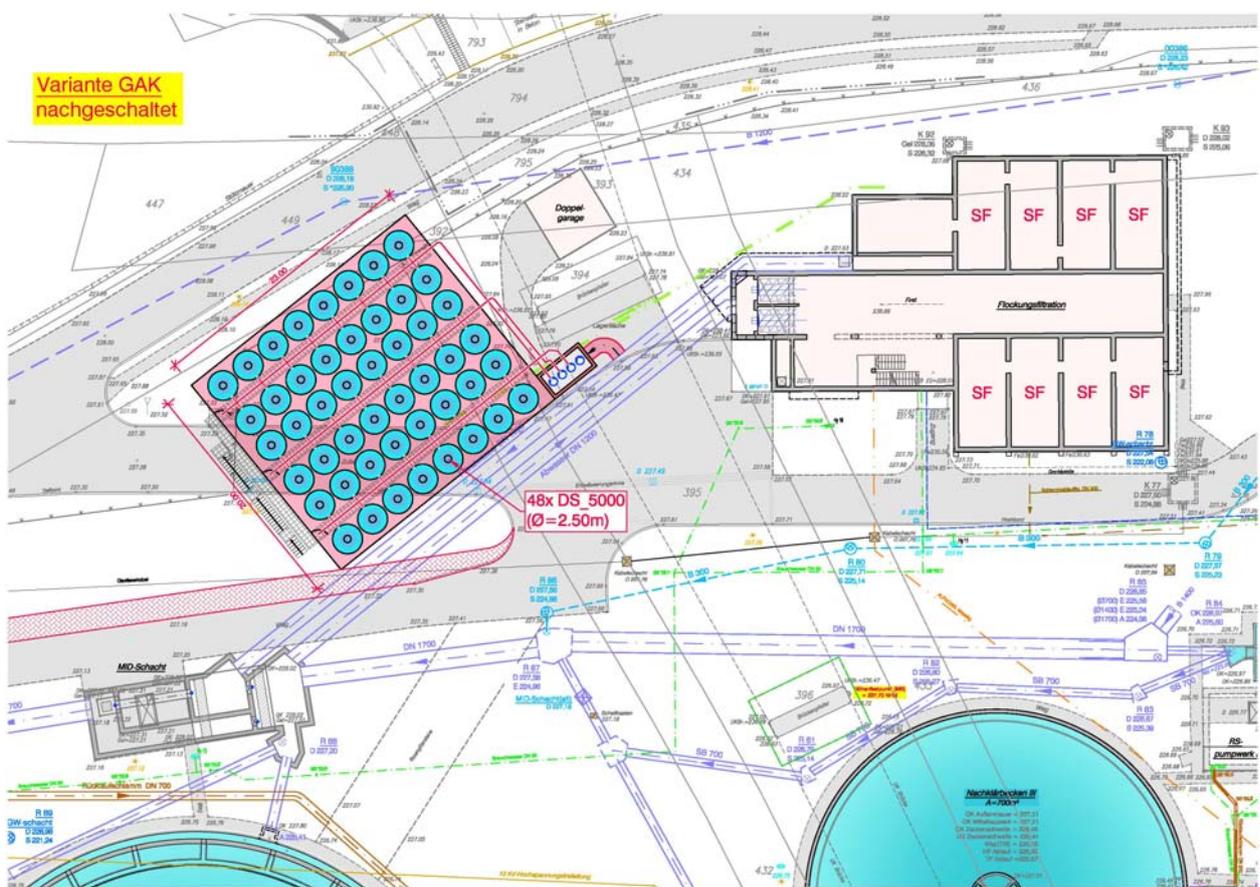


Abbildung 6-22

Lageskizze GAK Filter nachgeschaltet ca. 250 m² Filterfläche

Dies ergibt unter Trockenwettertagen einen Austausch von 8.000.000 m³/ 32.800 m³/d ~ 240 Tage

Bei Zugrundelegung von etwa 50 % Regenwettertage, also (50 % 32.800 m³/d und 50 % 43.200 m³/d) gemittelt ~ 40.000 m³/d, ergeben sich 8.000.000 m³/ 38.000 m³/d ~ 220 Tage.

Über den GAK-Filter wird eine Jahresabwassermenge von knapp 14.000.000 m³/a behandelt.

Somit ist ein Austausch der GAK etwa alle 7 Monate zu kalkulieren.

Kosten Austausch der GAK pro Jahr:

1,8 x Austausch/ a x ~500 m³ x 1,25 €/kg x ~ 0,450 kg/l ~ 0,5 Mio €/a

Das überschlägige Auslegungsergebnis mit den Aufwendungen für Energie, Einsatz- und Hilfsstoffen bzw. Reststoffen ist in folgender Abbildung 6-23 dargestellt.

Auslegungsgrundlagen zur Spurenstoffelimination					
GAK-Einsatz nach der Filtration		neue Anlage mit 250 m ² Filterfläche DynaSandCarbon			
Abwasser	Qtmax	1.800,00 [m ³ /h]			
	Qtmittel	1.600,00			
	QT24	1.215 [m ³ /h]	1,0 x Trockenwetterzufluss		
	Abwassermenge min.	900,00 [m ³ /h]	Nachtzufluss		
	Tagesabwassermenge	32.800,00 [m ³ /d]	Trockenwetter		
	Jahresabwassermenge	13.832.000,00 [m ³ /a]	(ca. 50 % Regenwettertage)		
	AFS-Konzentration mittel	3,00 [mg/l]	angenommen		
	CSB-Konzentration mittel	15,00 [mg/l]	angenommen		
	DOC-Konzentration mittel	7,00 [mg/l]	abgeleitet DOC/CSB 1:3		
Filterdaten:	GAKVolumen	500,00 [m ³]	Anzahl Filter	50	
	Fläche	250,00 [m ²]	Fläche	5 m ²	
	ÜberstauVol	625,00 [m ³]	Höhe GAKf	2 m	
			Höhe Überst	2,5 m	
Filtergeschwindigkeit:		7,20 [m/h]	Vorgabe	5-15 m/h	
			GAK _{max}	10-12 m/h	
Kontaktzeit Filter min		16,67 Min	Kontaktzeit	12 bis 20	[Min]
Flockungszeit Überstau min		20,83 Min	Reaktionszeit	10 bis 25	[Min]
Bettvolumen:		15.750,00 BV	je nach Stoff	4.000 bis 12.000	
			gewählt	9.000,00	
Standzeit GAK		6,8 Monate	SF mehrstr.	1,75 Faktor BV	
			GAK Dichte	450 kg/m ³	
Strombedarf [kWh/a]:			Strombedarf kWh/m ³	gewählt	
	GAK-Filtra.	525.616	GAK	0,038	0,038
	Sandfilter	345.800	Sandfiltratio	0,01-0,05	0,025
	Rezirkulation		Rezirkulation	0,08-0,18	0
	Summe	871.416	Rückspülung	1/12 h	
Kosten [€/a,brutto]:					
Stromkosten	0,18	156.855			
GAK-kosten	1,25	494.000	Mertsch 1		
Betriebskosten		650.855 [€/a]			
spez. Betriebskosten		0,047 [€/m ³]			
biologische Nachbehandlung		nicht erforderlich			

Abbildung 6-23

Auslegungsergebnis GAK-Filter in 48 Behältern A_{Filter} ~ 250 m² (Variante 2)

6.3 PAK-Zugabe vor den Sandfilter bzw. mit Kontakt- und Absetzbecken

Die Zugabe geeigneter PAK vor den Sandfilter in Kombination mit einem Fäll-/ Flockungsmittel bietet sich auf der Kläranlage u.a. in Bezug auf die zu erwartende gute, zusätzliche Eliminationsleistung bzgl. des Parameters Phosphor an. In /DWA 1/ sind die wesentlichen Eckdaten zur Auslegung (siehe auch Kapitel 2 und 3) wie folgt zusammengefasst.

- Verweilzeit im Flockungsraum von 13–28 min (gesamte Filtration (30–47 min)),
- Dosierrate PAK z. B. 15 mg PAK/l in Abhängigkeit von DOC und Reinigungsziel,
- maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter von 15 m/h,
- Filteraufbau Quarzsand und Blähschiefer (insgesamt 1,60 m).

Abbildung 6-24 Auslegungseckdaten PAK-Zugabe vor einen Sandfilter z.B. /DWA 1/

Die Sandfilteranlage ist, wie Kapitel 4 beschrieben, bereits vorhanden. Somit ist der neu zu errichtende bauliche und apparative Aufwand vergleichsweise gering.

Nachrechnung der PAK-Dosierung für den vorhandenen SF mit 8 Kammern

Sandfilter vorhanden mit:

8 Kammern je 8 m x 4 m	=	256 m ² Filterfläche
und einer Füllhöhe von 1,80 m	256 m ² x 1,80 m	= 460 m ³ Filtervolumen
und einer Überstauhöhe 2,20 m	256 m ² x 2,20 m	= 560 m ³ Überstauvolumen

Konzept 4 Kammern als PAK/SF-Filter und 4 Kammern als SF

Die PAK-Dosiermenge vor einer Sandfiltration wird in /DWA 1/ mit 20 mg_{PAK}/ l_{Abwasser} angegeben. Bei einer gewählten Verweilzeit von 20 Min im **max. Flockungsraum** ergibt sich eine

max. behandelbare Abwassermenge von: $280 \text{ m}^3 \times 60 \text{ min/h} / 20 \text{ min} = 840 \text{ m}^3/\text{h}$
nicht ausreichend !

Unter Zugrundelegung der max. Filtergeschwindigkeit von 15 m/h ergibt sich für den vorhandene SF eine

max. behandelbare Abwassermenge von: $128 \text{ m}^2 \times 15 \text{ m/h} = 1.920 \text{ m}^3/\text{h}$
knapp ausreichend, n-1 nicht ausreichend

FAZIT:

Der vorhandene SF mit 8 Kammern und einer Filterfläche von 256 m² ist nicht geeignet für eine je Straße geteilte Spurenstoffelimination mit 4 Kammern PAK/SF und die ergänzende Abwasserbehandlung im Regenwetterfall über 4 Kammern SF. Es werden ergänzende Filterkammern, Überstau-/ Reaktionsvolumen als auch Filterfläche notwendig.

6.3.1 PAK-Zugabe vor den erweiterten Sandfilter (4 Kammern) mit zusätzlichem Kontaktbecken als Flockungsraum

Der vorhandene Sandfilter wird um 4 Kammern erweitert und, wie oben beschrieben, zweistraßig betrieben. Die Aufteilung der Kammern in zwei Straßen ist für die PAK-Dosierung mit dann je 6 Kammern als PAK/SF-Filter ($Q_{TR} = 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$) und reiner SF-Filter ($Q_{Misch} \sim 2.000 \text{ m}^3/\text{h}$) angedacht (siehe oben).

6 Kammern verfügen über eine Filter-Fläche von 192 m², ein Filtervolumen von $\sim 350 \text{ m}^3$ und ein Überstauvolumen von $\sim 420 \text{ m}^3$.

Abbildung 6-25 zeigt die Verfahrensskizze des geteilten PAK/SF und SF-Filters.

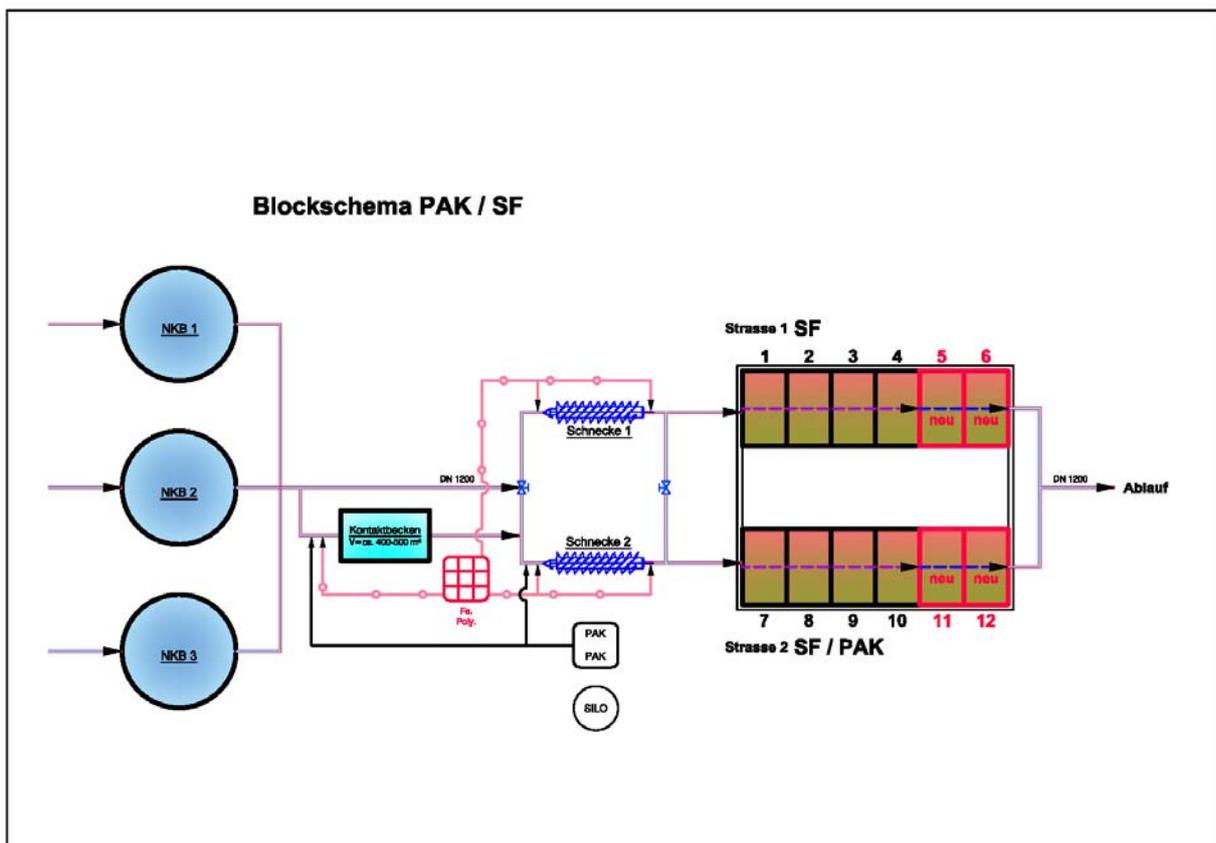


Abbildung 6-25

Verfahrensskizze PAK-Dosierung vor den Sandfilter (Variante 3)

Nachrechnung/ Auslegung der PAK-Dosierung für den erweiterten SF mit 12 Kammern als geteilter PAK/SF-Filter und SF-Filter mit je 6 Kammern:

6 Kammern je 8 m x 4 m	=	192 m ² Filterfläche
und einer Füllhöhe von 1,80 m	192 m ² x 1,80 m	= 345 m ³ Filtervolumen
und einer Überstauhöhe 2,20 m	192 m ² x 2,20 m	= 420 m ³ Überstauvolumen

Im PAK/ SF-Filter zu behandelnde max. Abwassermenge als Q_{TR} = 1.800 m³/h

Kontaktzeit im Überstau: $420 \text{ m}^3 / 1.800 \text{ m}^3/\text{h} = 0,23 \text{ h} = 14 \text{ Min} < 20 \text{ Min}$

Die Kontaktzeit sollte zwischen 15-30 Min betragen. Anvisiert sind 20 Min. Dies kann im Überstau alleine nicht erreicht werden.

Gewählt zusätzliches Kontaktbecken mit $V = 400 \text{ m}^3$, so dass die

Kontaktzeit (Kontaktbecken+Überstau) = $820 \text{ m}^3 / 1.800 \text{ m}^3/\text{h} = 0,46 \text{ h} = 27 \text{ Min} > 20 \text{ Min}$ wird.

Die notwendige Dosiermenge von PAK wird mit 10-15 mg/l bei einem Kontaktbecken und etwa 15-20 mg/l vor einem Sandfilter angegeben. Als Kombination von Kontaktbecken und Überstau wird eine mittlere Dosiermenge von 15 mg PAK/l Abwasser gewählt.

Die stündliche PAK-Menge beträgt mit $1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 15 \text{ mg/l} = 27 \text{ kg/h}$

Bei einer JAM von 13,8 Mio m³ ergibt sich eine PAK-Menge

von $13,8 \text{ Mio m}^3 \times 15 \text{ mg/l} = 207.480 \text{ kg/a}$

Günstig wirkt sich zum Rückhalt der PAK im Sandfilter die Zugabe eines Fällmittels mit einer Dosis von etwa 0,2 mg Fe/ g PAK aus /DWA 1/.

Die max. PAK-Dosiermenge $15 \text{ g PAK/ m}^3 \times 1.800 \text{ m}^3/\text{h} = 27 \text{ kg/h} \times 24 \text{ h/d} \sim 650 \text{ kg/d}$

(Regenwetter)

Die max. Flockungsmittelmenge, z.B. ein EisenIII-salz, wird mit 0,2 g Fe/ g PAK gewählt (eine simultane P-Fällung in der Belebungsstufe ist bereits erfolgt)

$650 \text{ kg/d PAK} \times 0,2 \text{ kg Fe/ kg PAK} = 130 \text{ kg Fe/d}$ in gängigen EisenIII-salzen sind etwa 120-150 g Fe/kg bzw. l enthalten.

Somit werden max. rund 0,95 m³/d an Flockungsmittel verbraucht. Der zusätzliche max. Schlammanfall pro Tag (Regenwetter) beträgt rund:

$$130 \text{ kg Fe/d} \times 2,5 \text{ kg TS/ kg Fe} + 650 \text{ kg PAK} = 1.155 \text{ kg/d}$$

Das geschätzte Auslegungsergebnis mit dem geschätztem betrieblichem Aufwand ist aus Abbildung 6-28 zu entnehmen.

Abbildung 6-26 zeigt die Lageskizze des erweiterten SF-Bauwerks mit den beiden Straßen PAK/SF für die Behandlung der Trockenwetterabwassermenge von bis zu 1.800 m³/h sowie die SF-Straße für die Abwassermenge bei Regenwetter von 1.800 m³/h bis 3.780 m³/h als etwa 2.000 m³/h

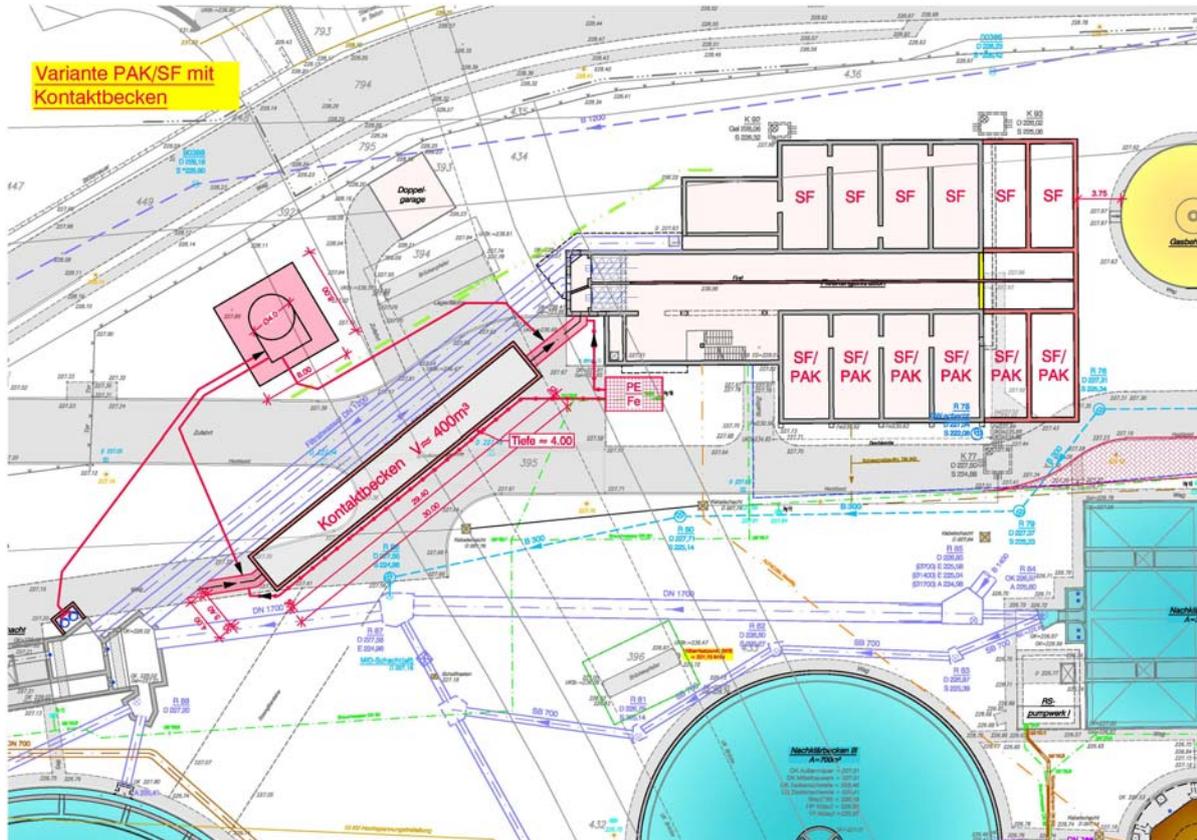


Abbildung 6-26 Lageskizze Anlage zur PAK-Dosierung vor den geteilten, erweiterten SF

Der Rückhalt der PAK mit dem Einsatz eines geeigneten Flockungsmittels - hier Eisensalz - ist im Filter gut gegeben /Kolisch 1/

- ▶ Kontrolle des PAK-Rückhaltes über Trübungsmessung im Ablauf
- ▶ PAK wird bei Einsatz von Eisen sehr gut zurückgehalten

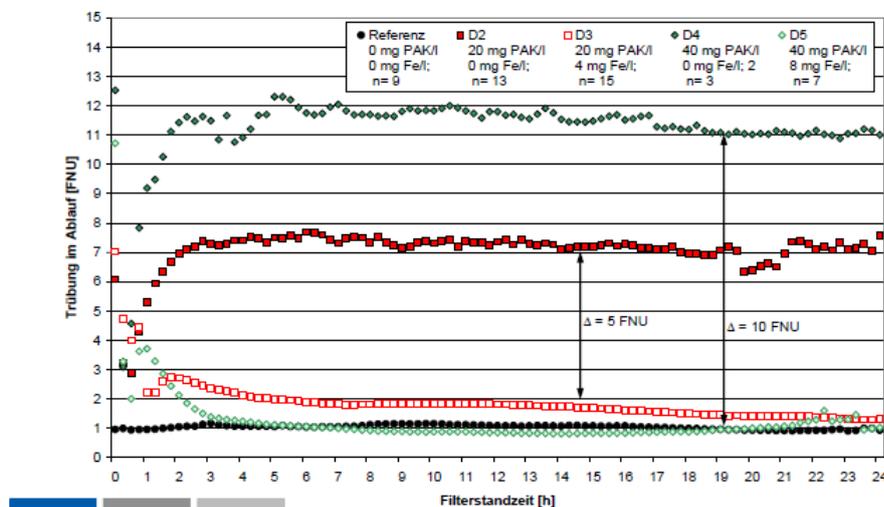


Abbildung 6-27 Rückhalt von PAK im Sandfilter /Kolisch 1/

Auslegungsgrundlagen zur Spurenstoffelimination					
PAK-Dosierung mit Kontaktbecken vor die Filtration nach 4 neuen Kammern					
Abwasser	Qtmax	1.800,00 [m³/h]			
	Qtmittel	1.600,00			
	QT24	1.215 [m³/h]	1,0x Trockenwetterzufluss		
Abwassermenge min.		900,00 [m³/h]	Nachtzufluss		
Tagesabwassermenge		32.800,00 [m³/d]	Trockenwetter		
Jahresabwassermenge		13.832.000,00 [m³/a]	(ca. 50 % Regenwettertage)		
AFS-Konzentration mittel		4,00 [mg/l]			
CSB-Konzentration mittel		18,40 [mg/l]			
DOC-Konzentration mitte		10,00 [mg/l]	abgeleitet		
PAK-Dosierung Kontakt		10,00 [mg/l]	10 bis 20	mg PAK/ l Abwasser	
			10 bis 15	bei Kontaktbecken	
PAK-Dosierung Filter		15,00 [mg/l]	15 bis 20	vor Filter	
max.		20,00 [mg/l]	gewählt:	vor Filter/ Kc 15 mg/l	
Einsatzmenge PAK, Kontak		18.000,00 [g/ h]		138.320 [kg/a]	
Einsatzmenge PAK, Filter		27.000,00 [g/ h]		207.480 [kg/a]	
Einsatzmenge PAK, Filterr		36.000,00 [g/ h]			
Kontaktbeckenvolumen [		400,00 [m³]	Kontaktzeit	13,33 [Min]	
Absetzbeckenfläche [m²] -		[m²]	Oberfl.be.	2 m/h	
Kontaktzeit Überstau SF		14,08 [min]	ÜberstauV.	422,4 m³	
Summe Kontaktzeit		27,41 [min]			
Eisenmenge zur Fällung					
1. mit Kontaktbecken		6.916.000 g Fe/ a	gewählt	0,5 mg Fe/l	
2. Filtration mit Kontakt		31.122.000 g Fe/ a	gewählt	0,15 g Fe/ g PAK	
			nur Filter	0,2 gFe/g PAK	
PAKmenge im Jahr		207.480,00 kg PAK/a			
Überschussschlammproduktion:			gewählt:	2,5 kg TS/ kg Fe	
1. mit Kontaktbecken		155.610 kg TS			
2. Filtration		285.285 kg TS		gewählt	
			Menge aus Fe und PAK		
Strombedarf:			Strombedarf kWh/m³	gewählt	
	PAK-Dos.	414.960 kWh/a	PAK	0,025-0,035	0,03
	Sandfilter	345.800 kWh/a	Sandfiltratio	0,01-0,05	0,025
	Rezirkulatio	13.279	Rezirkulatio	0,012-0,02	0,012
	Summe	774.039			
Stromkosten	0,18	139.327 €/a			
Flockkosten	3,30	102.703 €/a		Lieferung/ Dosierung	
PAK-kosten	1,80	373.464 €/a			
ÜSS-Kosten	0,24	68.468 €/a		Entwässerung/ Entsorgung	
Summe		683.962 €/a			
spez. Betriebskosten		0,049 €/ m³ Abwasser			
biologische Nachbehandlung		nicht erforderlich			

Abbildung 6-28 Auslegungsergebnis zur PAK-Zugabe vor den SF bzw. das Kontaktbecken (Variante 3)

6.3.2 PAK-Dosierung nach der Nachklärung mit Kontakt- und Absetzbecken

Alternativ einer Dosierung von PAK in den Zulauf einer (Sand-) Filtration steht alternativ zur oben aufgeführten Variante noch die Möglichkeit der PAK-Zugabe in den Ablauf der Nachklärung mit anschließendem **Kontakt- und Absetzbecken (separatem Schlammkreislauf) sowie der dann noch nachgeschalteten Sandfiltration in der Betrachtung (siehe auch Kapitel 3) gemäß Abbildung 6-29.**

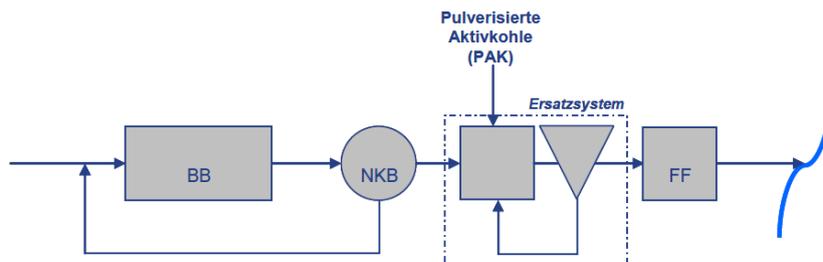


Bild 1.3: Modifiziertes AFSF-Verfahren (Forschungskläranlage Stuttgart-Büsnau)

Abbildung 6-29: Blockschema zum Einsatz von PAK /ISA 1/

Mit einer Mindestkontaktzeit von etwa 15-30 Min bei Bemessungszufluss im Kontaktbecken und einer Oberflächenbeschickung von 2 m/h im Absetzbecken (siehe auch DWA 1) werden vergleichsweise große neue Becken notwendig.

Es ist bei dieser Variante dann aber nur noch mit einem PAK-Bedarf von 10-12 mg/l Abwasser zu rechnen (u.a. durch die Rückführung der PAK). Günstig wirkt sich die geringere Zugabe eines Fällmittels mit einer Dosis von etwa 0,5 g Fe/l Abwasser aus. Das Kontaktbecken ist mit einer effektiven Umwälzung vorzusehen, da die PAK einen ISV < 80 ml/g aufweist. Der TS-Gehalt im Kontaktbecken kann mit entsprechender Rückführung 0,5-1,0 auf etwa 4 g/l eingestellt werden.

Für die Bemessungsabwassermenge von $Q_{TR} = 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$ ergeben sich überschlägig die Neubauten in der Größe:

Kontaktbecken: $1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 20 \text{ Min} / 60 \text{ Min/h} \Rightarrow V = 600 \text{ m}^3$

Absetzbecken: $1.800 \text{ m}^3/\text{h} / 2 \text{ m/h} \Rightarrow A = 900 \text{ m}^2$ -> **Durchmesser von ~ 35 m**

Die max. PAK-Dosiermenge $11 \text{ g PAK} / \text{m}^3 \times 1.800 \text{ m}^3/\text{h} = 20 \text{ kg/h} \times 24 \text{ h/d} \sim 500 \text{ kg/d}$ (Regenwetter)

Diese Variante kann nach überschlägiger Abschätzung der benötigten Flächen am Standort der Kläranlage Siegen mit den nur begrenzt verfügbaren Freiflächen im Bereich Sandfiltration/ Ablauf als nicht realisierbar verworfen werden.

6.4 Ozonierung mit nachgeschaltetem biologisch aktivem Sandfilter

Gemäß den Ausführungen in den Kapiteln 2 und 3 sind für die Auslegung einer Anlage zur Ozondosierung mit Maßgabe einer „Spurenstoffentfernung“ folgende Eckdaten/ Vorgaben relevant:

Die AFS/ DOC-Gehalt im Ablauf der Nachklärung oder einer Filteranlage sollten möglichst klein sein. Für die Ozonierung gilt in etwa das Gleiche wie für die Aktivkohleadsorption: je kleiner die störende Hintergrundbelastung desto effizienter die Mikroschadstoffelimination.

Der Bilanzraum der Ozonerzeugung sieht schematisch wie in Abbildung 6-30 aus /Jagemann 1/.

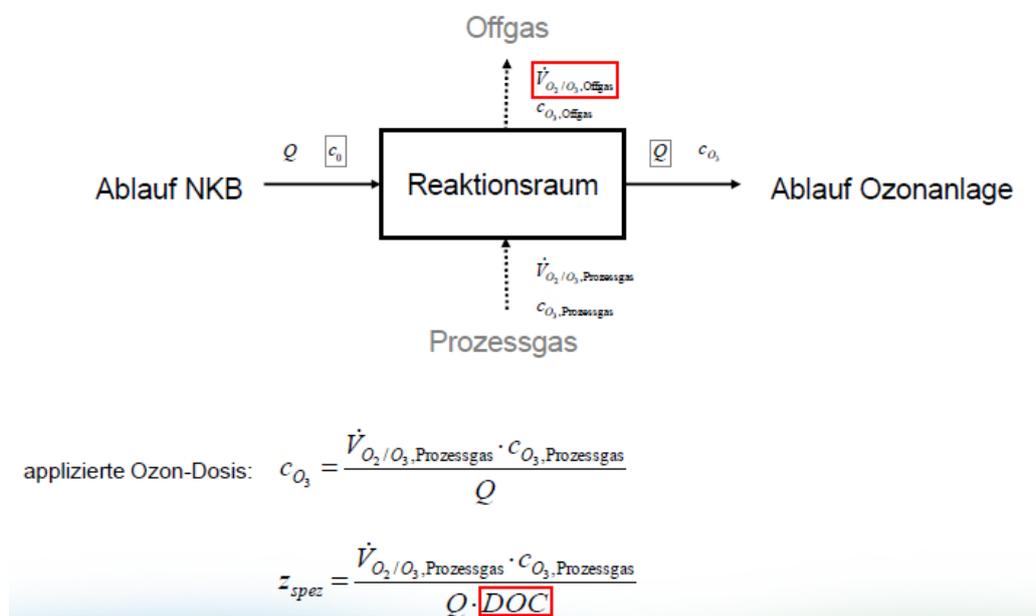


Abbildung 6-30

Bilanz Ozondosierung /Jagemann 1/

Die Kontaktzeit zur Reaktion des Ozon muss ausreichend lang sein, so dass kein Ozon mehr im Abwasser vorhanden ist. Restozon in der Luft/ Gasphase muss gefangen und behandelt werden.

Vorgabe notwendige Ozondosierung u.a. /DWA 1/:

0,6-0,8 gO₃/ g DOC bzw.

5-15 mg O₃/ l Abwasser /Abegglen 2/

Bei Auswahl zum Eintrag von Ozon über Diffusoren sollte eine Beckentiefe von etwa > = 5 m gewählt werden bzw. vorhanden sein. Insbesondere bei Diffusoren ist in Abhängigkeit der Abwassermenge eine minimale und maximale Beaufschlagung mit dem Produktgas zu berechnen. Das Produktgas hat max. eine O₃-Konzentration von 148 g O₃/ Nm³. Diffusoren unterliegen einem minimalen und maximalen Gasmengendurchsatz./DWA 1/

$$Q_{TRmax} = 500 \text{ l/s} = 1.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{TRmin} = 350 \text{ l/s} = 1.250 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Nachtzufluss Tr} = 250 \text{ l/s} = 900 \text{ m}^3/\text{h}$$

Der auslegungsrelevante Trockenwetterzufluss wird max. bei etwa 36.000 m³/d und für Regenwetter bei 43.200 m³/d liegen. Mit 16 h/d maßgeblichem Abwasseraufkommen von 1.800 m³/h zuzüglich 8 h/d Nachtzufluss von ~ 900 m³/h = 36.000 m³/d. Der minimale Trockenwetterzufluss wird etwa 20.000 m³/d, also 1.250 m³/h bzw. 350 l/s betragen.

Gemäß / DWA 1/ ergibt sich mit $z_{spez.}$ von 0,6-0,9 mg O₃/mg DOC:

gewählt $z_{spez.}$: 0,62 mg O₃/ mg DOC

Ozonkonzentration: $c_{O_3} = z_{spez.} \times c_{DOC}$

Produktionskapazität: $B_{O_3,max} = Q_{Bem} \times c_{O_3}$ maximal

Produktionskapazität: $B_{O_3,max} = Q_{T,2hmin} \times c_{O_3}$ minimal

sowie ergänzend für eine mögliche Oxidation von Nitrit zu Nitrat mit 3,43 g O₃/ g NO₂-N. /Kom-S.NRW1/. Allerdings sollten bei einer stabilen Nitrifikation keine nennenswerten Nitrit-Konzentrationen entstehen. Die Nitritkonzentration im Ablauf der Kläranlage Siegen liegt gemäß Kapitel 4 durchschnittlich bis auf wenige Tage im Jahr unter 0,1 mg/l. Somit kann der oxidative Aufwand vernachlässigt werden.

Bei mittleren Ablaufwerten mit einem AFS > 15 mg/l sind Optimierungen an der Nachklärung vorzunehmen./ DWA 1/. Die mittlere AFS-Konzentration auf der KA Siegen liegt bei 4 mg/l.

Die mittlere Aufenthaltszeit bei Bemessungszufluss kann nach /Abegglen 1/ mit 15-30 Min angegeben werden. Gegebenenfalls kann über eine Unterteilung/ Kaskadierung/ Trennung der Begasungs- und Ausgasungszonen nachgedacht bzw. diese eingerichtet werden /DWA 1/. Eine Kaskadierung/ Schlaufenreaktor ist, wie die Ergebnisse in /Herbst 1/ zeigen, nicht notwendig bzw. bringt keine messbaren Vorteile. Sinnvoll ist ein Ausgangsvolumen von etwa ¼ des Gesamtvolumens. ¾ des Gesamtvolumens wird somit als Reaktionsvolumen genutzt.

Kontaktzeit 15-30 Min (für Reaktionsvolumen)

Max. Volumen von: 30 Min/ 60 Min/h x 1.800 m³/h => V = 900 m³

Min. Volumen von: 15 Min/ 60 Min/h x 1.800 m³/h => V = 450 m³

Gewählt: 20 Min Reaktionszeit zzgl. ¼ also 5 Min als Ausgasungszone:

Gewähltes Volumen von: 25 Min/ 60 Min/h x 1.800 m³/h ~> V = 800 m³

Bei zwei Straßen für je max. $\sim 900 \text{ m}^3/\text{h}$ gewählt: $2 \times V = 400 \text{ m}^3$

Abbildung 6-31 zeigt die Verfahrensskizze einer zweistraßige Anlage zur Ozonierung für die Kläranlage Siegen.

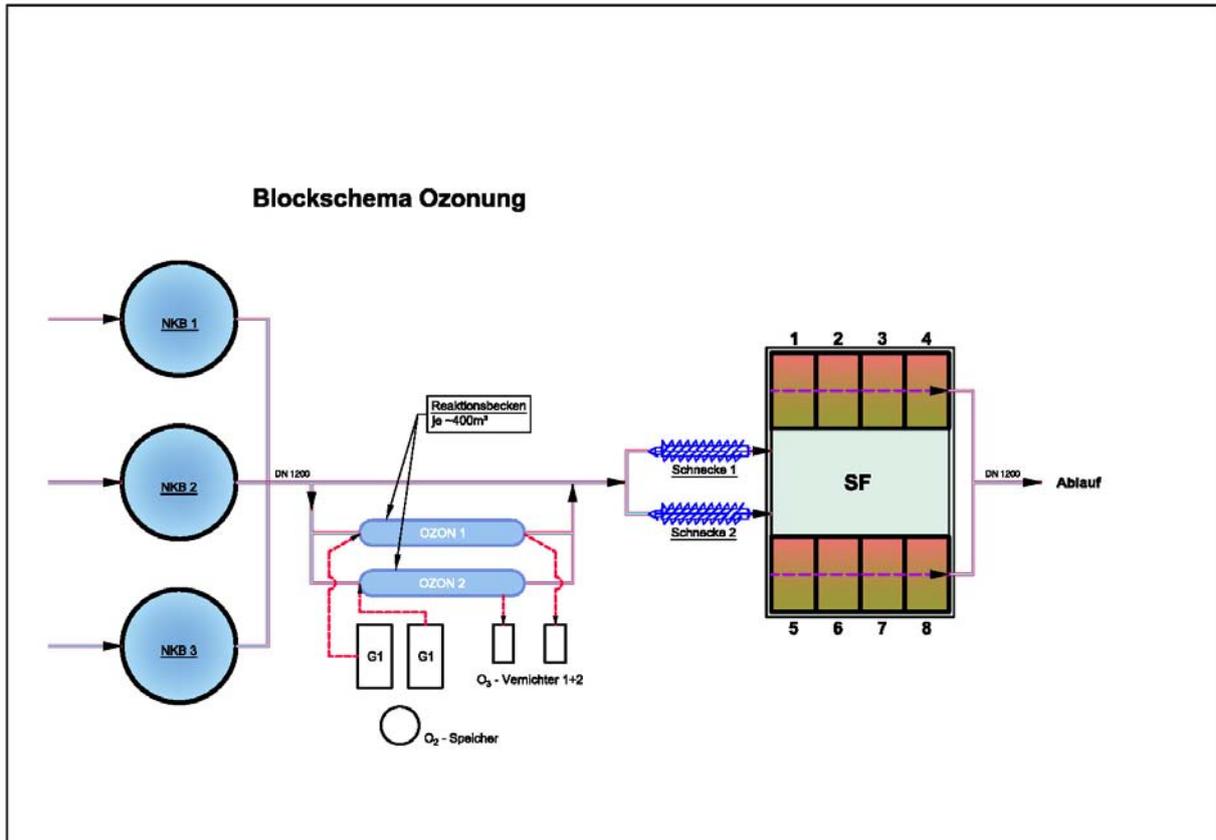


Abbildung 6-31 Verfahrensskizze Ozonierung (zweistraßig Technik und Becken) (Variante 4)

Die Lage der Reaktoren auf dem Gelände wird parallel zum Zulaufsammler Sandfilter gewählt. Das zweistraßige Becken wird vollständig erdeingebaut und überfahrbar (Stahlbetonabdeckung) konzipiert. Somit werden diese beiden Straßen zur Ozonierung/ Reaktionsbecken im hydraulischen Gefälle ohne zusätzliches Pumpen durchströmt.

Mögliche Länge ca. 40 m. Einblastiefe Ozon $\sim 5 \text{ m}$ somit Wsp. $H = 5 \text{ m}$.

$400 \text{ m}^3 / 40 \text{ m} / 5 \text{ m} = 2 \text{ m}$ Breite je Becken

Die Bauhöhe wird etwa 6 m betragen.

Die einzutragende(n) Produktgasmenge(n)/ Gasvolumenstrom (O_2/O_3) kann bei max. rund 10 M-% Ozon im Produktgas, also etwa $148 \text{ g O}_3 / \text{Nm}^3$ Ozonkonzentration die maximal und minimal notwendige Produktgasmenge wie folgt berechnet werden /DWA 1/:

Produktionskapazität: $Q_{O_2/O_3\max} = B_{O_3,\max} / c_{O_3, \text{Produktgas}}$ maximal

Produktionskapazität: $Q_{O_2/O_3\min} = B_{O_3,\min} / c_{O_3, \text{Produktgas}}$ minimal

Notwendige Ozonzugabe:

Maximal: $1.800 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ mg/l DOC} \times 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 11,2 \text{ kg O}_3/\text{h}$

gewählt: $12 \text{ kg O}_3/\text{h}$

Minimal: $900 \text{ m}^3/\text{h} \times 10 \text{ mg/l DOC} \times 0,62 \text{ mg O}_3/\text{mg DOC} = 5,6 \text{ kg O}_3/\text{h}$

Weitere geschätzte Auslegungsergebnisse sind Abbildung 6-30 zu entnehmen.

Abbildung 6-32 zeigt die Lageskizze der Anlage zur Ozonierung integriert in die vorhandenen Anlagenteile.

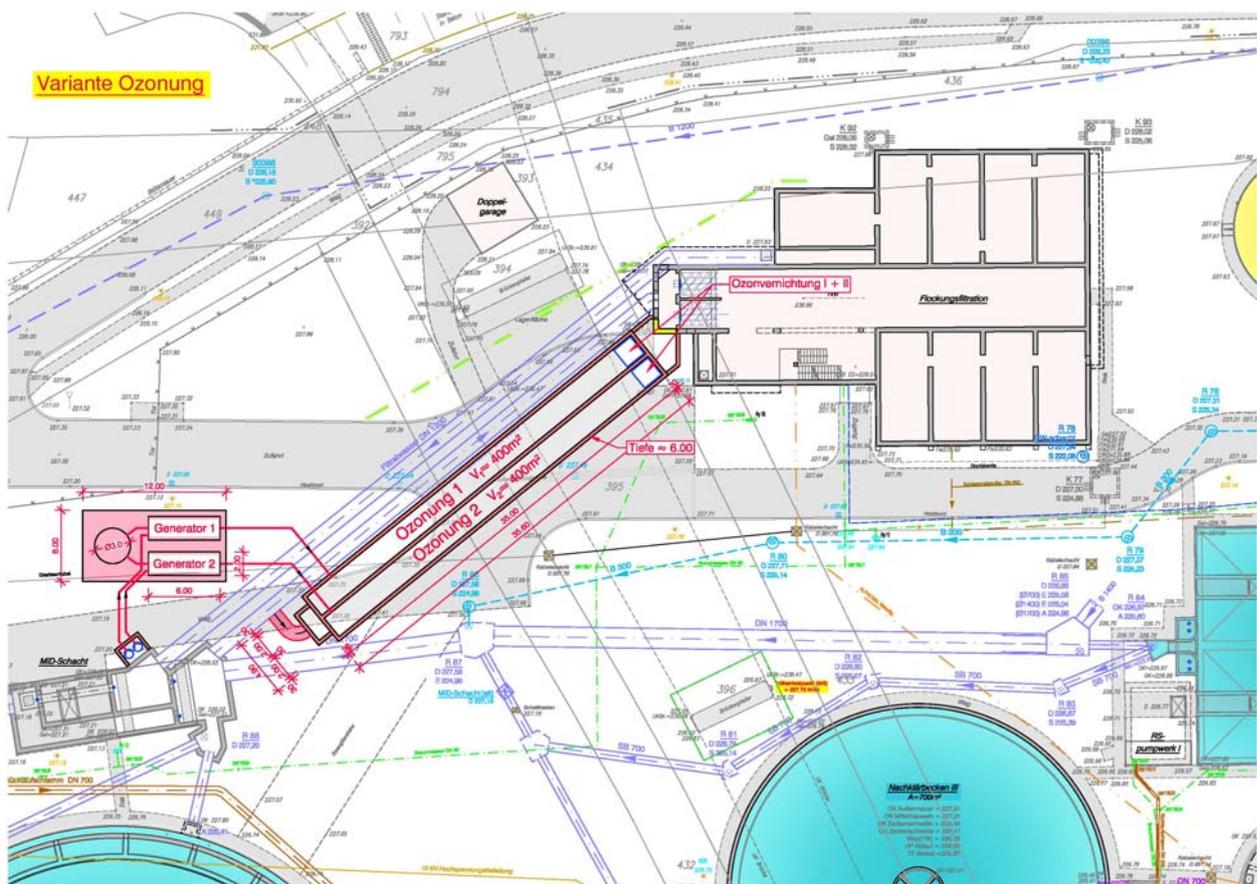


Abbildung 6-32 Lageskizze Anlage zur Ozonierung (zweistraßig Technik und Becken)

Die Ergebnisse auf den Kläranlagen Bad Sassendorf und zum Vergleich Neugut /Lyko 1/ sind wie folgt in den Abbildungen 6-33 bis 6-35 zusammengefasst worden.

	Bad Sassendorf	ARA Neugut
EW (E)	13.000	150.000
Planung	2008	2013
Bemessungsfluss (m ³ /h)	300 (Q _t)	1500 (Q _t)
Behandelte JAM (%)	>90%	>80%
Hydraul. Dimension. (m ³ /h)	650 (2·Q _t)	2600 (2·Q _t)
Ozongenerator (kgO ₃ /h) ↓	4,6	11 (2 x 5,5)
Reaktionsbecken (m ³) ↑	64 (2 x 32)	530
Verweilzeit bei Q _t (min)	13	22
Beckengeometrie	Blasen-Diffusor-Kontaktor (< 5 m)	
Nachbehandlung	Schönungsteich (<u>Bestand</u>)	Sandfilter (<u>Bestand</u>)
Redundanz	Reaktionsbecken, Begasungskammer, Verdampfer	Ozongenerator, Begasungskammer

Abbildung 6-33 Eckdaten/ Kennzahlen der Ozon-Anlagen Sassendorf und Neugut /Lyko 1/

- Sicher und stabil betreibbar (nicht dauerhaft besetzte Anlage: Verfügbarkeit > 80%)
- **Transformation** organischer Spurenstoffe ist substanz- und dosisabhängig
- Ozonzugabe wird über Hilfsgrößen gesteuert (v.a. hydraulische Belastung)
 - Vielversprechender Ansatz: SAK₂₅₄
 - Einflussgrößen auf Zehrung (v.a. Nitrit)
 - Problem: **Fehlende Zielgrößen**
- Planung/ Auslegung im Einzelfall: pfiffige Einbindung vorhandener Infrastrukturen
- Weitere offene Fragen
 - Effizienz der Nachbehandlungsstufen (Transformationsprodukte, Hygiene)
 - Optimierung des Anlagenbetriebes (z.B. CFD-Modell TU Dortmund)
- Nachhaltiger Ansatz?

Abbildung 6-34 Ergebnisse/ Fazit aus dem Betrieb der Anlagen /Lyko 1/

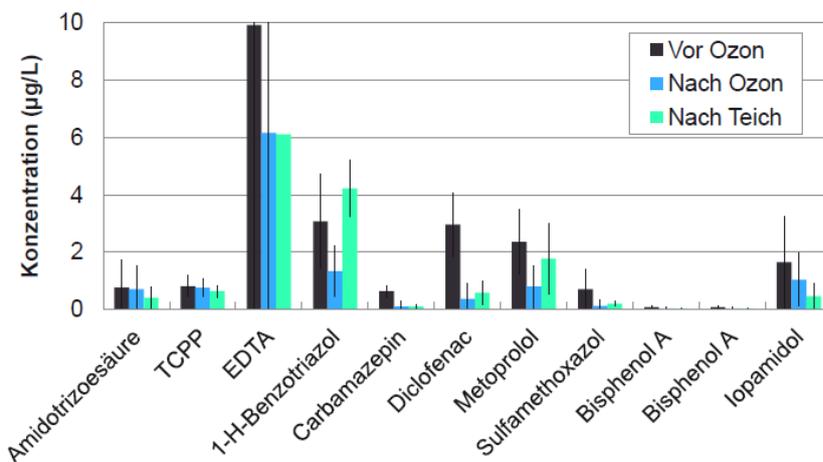


Abbildung 6-35 Eliminationsergebnisse aus Sassendorf /Lyko 1/

Das überschlägige Auslegungsergebnis mit den Aufwendungen für Energie, Einsatz- und Hilfsstoffen bzw. Reststoffen ist in folgender Abbildung 6-36 dargestellt.

Auslegungsgrundlagen zur Spurenstoffelimination				
Ozonung				
Abwasser	Qtmax	1.800,00	[m ³ /h]	
	Qtmittel	1.600,00	[m ³ /h]	
	QT24	1.215	[m ³ /h]	1,0x Trockenwetterzufluss
Abwassermenge min.		900,00	[m ³ /h]	Nachtzufluss
Tagesabwassermenge		32.800,00	[m ³ /d]	Trockenwetter
Jahresabwassermenge		13.832.000,00	[m ³ /a]	(ca. 50 % Regenwettertage)
AFS-Konzentration mittel		4,00	[mg/l]	
CSB-Konzentration mittel		18,40	[mg/l]	
DOC-Konzentration mitte		10,00	[mg/l]	abgeleitet/ Analysen
Ozondosis gewählt		0,62		0,6-0,9 mg O ₃ / mg DOC (siehe Regensdorf (Firk, Abegglen))
Ozonkonzentration		6	[mg/l]	notwendig als f (DOC)
Produktmenge Ozon, max		11.160	[g/ h]	
Produktmenge Ozon, min		5.580	[g/ h]	Auslegung Eintragssystem
Reaktionsvolumen [m ³]		857	[m ³]	über Zehrung 10 [Min]
Reaktionsvolumen [m ³]		750	[m ³]	über Verweilzeit 25 [Min] (15 bis 30 Min) ca. 20 % Ausgasung
Gaseintrag, max [Nm ³ /h]		75		Ozonkonzentration
Gaseintrag, min [Nm ³ /h]		38		Produktgas 148 [g O ₃ / Nm ³] z.B. ~148 g O ₃ / Nm ³ (DWA)
Strombedarf Ozonerzeugung:				
Strombedarf/-verbrauch		gewählt	0,07	kWh/m ³
		968.240 kWh/a	Stromverbrauch	0,04 bis 0,17 kWh/ m ³
Stromkosten	0,18	174.283 €/a		(ISA 5/ Duisburg-Vierl)
Strombedarf biologische Nachbehandlung:				
gewählt		biologisch aktiver Sandfilter		(vorhanden)
			Stromverbrauch	0,01 bis 0,05 kWh/m ³
Stromverbrauch		345.800 kWh/a	gewählt	0,025 kWh/m ³
Stromkosten	0,18	62.244 €/a		
Ozonkosten				
		85.758,40 kg O ₃ /a	Faktor O ₂ /O ₃	10
		857.584,00 kg O ₂ /a		
		214.396,00 €/a		0,25 €/kg O ₂
Betriebskosten, brutto				
	Strom	174.283,20	€/a	
	Sauerstoff	214.396,00	€/a	
Nachbehand	Strom	62.244,00	€/a	hier. Biol. Sandfilter
Summe				
		450.923,20	€/a	
spez. Betriebskosten				
		0,03	€/m ³	

Abbildung 6-36

Auslegungsergebnis zur Ozonzugabe (Variante 4)

6.5 Bewertung der ausgearbeiteten Verfahrenskonzepte zur Mikroschadstoffentfernung

In den vorangegangenen Kapiteln 6.1 bis 6.4 wurden verschiedene Verfahrensalternativen zur Mikroschadstoffentfernung für die Kläranlage Siegen konzeptionell ausgearbeitet und die wesentlichen technischen Eckdaten ermittelt.

Neben diesen technischen Daten zur Realisierung der Verfahrenskonzepte vor Ort spielen für die schlussendliche Entscheidung der ESI sowie der ggf. fördernden Institution die erzielbaren betriebs- und volkswirtschaftlichen Ergebnisse/ Nutzen die maßgebliche Rolle. Diese sind im Einzelnen:

- die kaufmännischen Fragen (Investition, Abschreibungen, Zinsen, Betriebskosten etc.)
- die Fragen zur Eliminationsleistung (Zielerreichung)
- der Betriebbarkeit/ Verfügbarkeit (Technik, Anspruch an das Personal, mehrstrahlig)
- die Risikoabschätzung (Sicherheitstechnik, Konsequenzen aus Unfällen/ Störfällen etc.)
- der grundsätzlich betriebliche Aufwand (Einsatzstoffe, Mannstunden, (Sicherheits-) Ausrüstung) etc.
- die Planungssicherheit der gewählten Konzeption (Datengrundlage, Erfahrungen, Entwicklungspotenzial der Verfahrenstechnik, Referenzen)
- die Gesamt-Öko-bilanzielle Abschätzung (Abgleich des „ökologischen Nutzen mit dem Aufwand“, u.a. CO₂-Produktion, Chemikalieneinsatz)
- der Integrierbarkeit in die vorhandene Anlagentechnik

bei der Entscheidung eine wesentliche Rolle.

Diese Kriterien und die folgende Bewertung erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Um den oben aufgeführten Einflussfaktoren als Gesamtheit gerecht zu werden, wurden die alternativen Verfahrenskonzepte in einer Bewertungsmatrix gelistet und vergleichend dargestellt.

Die Kriterien/ Faktoren wurden prozentual gewichtet (qualitativ) und mit einem Punktesystem von 0 bis 100 quantitativ (ggf. relativ zu den anderen) erfasst. Diese Systematik ist am 27.01.2016 mit den Entscheidungsträgern diskutiert und abgestimmt worden. Dabei wurden u.a. auch die Argumente aus Tabelle 6-1 sowie die Stellungnahme des UBA /UBA 3/ berücksichtigt.

Der Faktor 'Investition' mit den daraus ableitbaren, über den Kapitaldienst relevanten Jahreskosten geht mit einer Gewichtung von 10 % in die Bewertungsmatrix ein. Das Konzept mit den meisten Punkten bietet zum Bewertungszeitpunkt und unter Zugrundelegung der Gegebenheiten/ Randbedingungen sowie der betrieblichen Erfordernissen den größten Vorteil/ Nutzen. Zur Einführung in die Diskussion/ Bewertung sind einige relevante Argumente/ Inhalte aus unterschiedlichen Sichtweisen dargelegt.

Nach /Grünebaum 1/ sind vor bzw. für oder gegen die Realisierung einer Anlage zur Mikroschadstoffentfernung bzw. einzelner Verfahren die folgenden Argumente abzuwägen.

Tabelle 6-1: Argumente Spurenstoffelimination /Grünebaum 1/

Argumente für und gegen eine weitergehende Spurenstoffelimination in kommunalen Kläranlagen	
Pro	Contra
Maßnahmen unterstützen das Multibarrierenprinzip der Trinkwasserversorgung.	Vorhandene Konzentrationen im Gewässer sind i.d.R. deutlich unterhalb der Wirkschwellen für ein menschliches Gesundheitsrisiko.
Maßnahmen entsprechen dem allgemeinen Vorsorge- und Besorgnisgrundsatz.	Mit kommunalem Abwasser ist nur ein Teilstrom der Spurenstoffe im Wasserkreislauf erfassbar.
Maßnahmen unterstreichen Wert des Wassers und ästhetisches Empfinden der Verbraucher.	Vollständige Entfernung ist auch bei hohem Energie- und Betriebsmitteleinsatz nicht möglich.
Lebensbedingungen für aquatisches Leben werden verbessert.	Neben dem Trinkwasser bestehen vielfältige und komplexe Expositionswege von Menschen gegenüber Spurenstoffen.
Restrisiken für die Nahrungskette werden vermindert.	Diskussion ist wegen sinkender Bestimmungsgrenzen der chemischen Analytik erschwert.
Mögliche technische Verfahren stehen vor der Anwendungsreife.	Rechtssicherer Umsetzungsweg im Vollzug ist nicht verfügbar.
Aktuell ist politischer und administrativer Druck zur Umsetzung vorhanden.	Maßnahmen an der Quelle und bei Gebrauch von Spurenstoffen sind nachhaltiger als "end-of-pipe"-Lösungen.
	Bei oxidativen Verfahren ist die Bildung kritischer Transformationsprodukte zu besorgen.
	Verfahren bewirken signifikante Erhöhung des Energieverbrauchs der Abwasserbehandlung. Damit kommt es zu konkurrierenden Umweltzielen (Stoffentlastung vs. Energie- und CO ₂ -Emissionsreduzierung)
	Implementierung und Betrieb der Verfahren führen zu deutlichen Kosten- und damit Gebührenerhöhungen der Abwasserentsorgung.

Quelle /Grünebaum 1/

Das Umweltbundesamt hat in /UBA 3/ zu folgenden wesentlichen Fragen a) bis d) wie folgt festgestellt:“

- a) Die Implementierung und der Betrieb einer vierten Reinigungsstufe kosten zusätzliches Geld.
- b) Der Betrieb einer vierten Reinigungsstufe verbraucht vergleichsweise viel Energie, was unweigerlich den Anstieg von klimaschädlichen CO₂-Emissionen mit sich bringt.
- c) Bei einer Behandlung mit Ozon besteht die Gefahr der Bildung von anderen schädlichen Stoffen (Transformationsprodukten).
- d) Eine Entscheidung zur Einführung der vierten Reinigungsstufe auf kommunalen Kläranlagen geht mit dem Risiko einher, dass wesentliche und sehr effektive Aktivitäten zur Reduzierung von Mikroverunreinigungen in Oberflächengewässern in anderen, ggf. relevanteren Sektoren unterbleiben oder zurückgestellt werden.

Zu a) Die erforderlichen Zusatzkosten sind mit 6 bis 16 Euro pro Jahr und Mensch vergleichsweise niedrig. Auf das Abwasservolumen bezogen fallen relativ geringe Zusatzkosten in Höhe von 0,05 – 0,19 €/m³ an. Je nachdem, wie die Nachrüstung erfolgt, kommen unterschiedliche Finanzierungsmöglichkeiten ... ist eine Minderung der Abwasserabgabe hinsichtlich der Parameter CSB und P zu erwarten.

Zu b) Die Einführung weiterer Behandlungsstufen führt zu einem erhöhten Energieverbrauch, in der Regel um 5 – 30 % gegenüber dem Normalbetrieb. Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz von Kläranlagen würden diesen Mehrbedarf deutlich verringern.

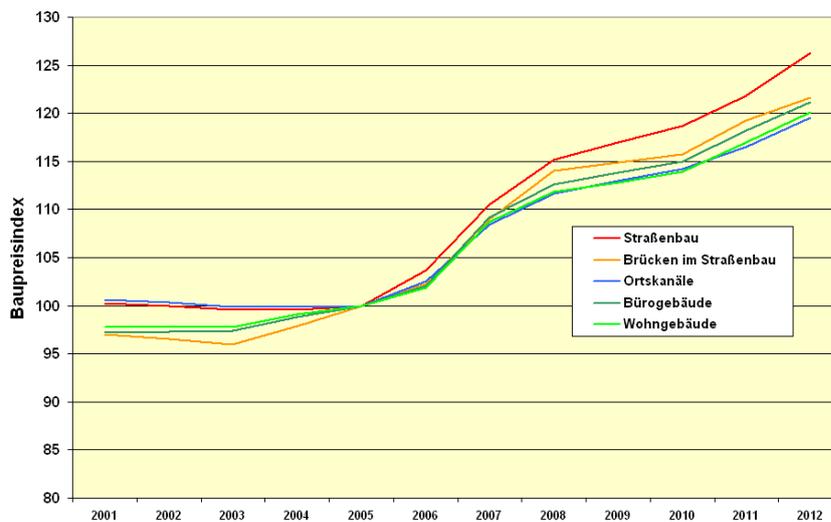
Zu c) Die Ozonung und Adsorption an Pulveraktivkohle oder granuliertem Aktivkohle sind wirkungsvolle Verfahren für eine weitergehende Abwasserbehandlung. Durch die Ozonung wird eine große Bandbreite von Mikroverunreinigungen und ggf. pathogen wirksamen Keimen entfernt (Abwasserdesinfektion). Durch die weitergehende Abwasserbehandlung entstehende Transformationsprodukte, die ggf. andere und höhere Ozonierung Wirkungspotenziale aufweisen können als die Ausgangsstoffe, werden nach Entstehung durch über die Wiedereinleitung in die biologische Klärstufe abgebaut. Kläranlagen mit einer nachgeschalteten, zweiten biologischen Klärung haben bislang keine erhöhten Toxizitätswerte gezeigt.

Zu d) Für die prioritären Stoffe der EG-Wasserrahmenrichtlinie wurde in 2013 ein Eintragsinventar erarbeitet. Dabei stellt der Eintrag über kommunale Abwässer für eine Reihe Stoffe einen sehr wichtigen Eintragspfad dar. Dies bedeutet, dass neben europäischen Maßnahmen, die vordringlich das Inverkehrbringen von Stoffen regeln, weitere nachgeschaltete Maßnahmen, wie die Ertüchtigung der Barriersysteme, d.h., die Nachrüstung von kommunalen Kläranlagen mit einer weiteren Verfahrensstufe sinnvoll sind, um den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Gewässer zu verringern. Die Ergebnisse des COHIBA-Projektes zeigen, dass innerhalb eines Maßnahmenpaketes die weitergehende Abwasserreinigung zudem eine wirksame und kostengünstige Maßnahme ist.“

Erläuterungen zu den Bewertungskriterien/ -inhalten

Faktor Investition/ Kapitaldienst:

Diese Kosten sind als Schätzung vergleichsweise sicher einzustufen. Die typischen Preissteigerungsraten von jährlich etwa 2 %, siehe auch die Entwicklung des Baupreisindex der letzten 15 Jahre, werden mit hoher Wahrscheinlichkeit zukünftige Investitionen kalkulierbar machen.



Quelle: Statistisches Bundesamt (DESTATIS): [Preisindizes für die Bauwirtschaft, Fachserie 17, Reihe 4, 4. Vierteljahresausgabe](#) Wiesbaden, Januar 2013

Abbildung 6-37

Entwicklung des Baupreisindex

Die Investitionen zur Realisation der ausgearbeiteten Verfahrenskonzepte sind im Anhang mit den wichtigsten Positionen aufgeführt.

Abbildung 6-38 zeigt die Investition der Alternativen für die Bereich Bau-/ Maschinen- und EMSR-Technik sowie Nebenkosten als Schätzkosten (siehe Auflistung im Anhang) im Vergleich.

Zusammenstellung der Kosten					
in €					
	Konzept 1a/b	Konzept 1c	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
	GAK/SF 6 K	GAK/SF 8 K	GAK nach Dyna-Sand	PAK/SF 6 K Kontakt	Ozon
Investition					
Bautechnik	1.503.855,00	2.843.944,75	1.594.717,20	1.664.202,13	1.117.840,00
M-technik	1.369.117,85	2.080.645,30	2.492.202,00	1.902.667,85	1.642.942,15
EMSR-technik	641.400,00	710.700,00	868.600,00	816.400,00	755.500,00
Ing.+NK ca. 18%	632.587,11	1.014.352,21	891.993,46	788.988,60	632.930,79
Summe netto	4.146.959,96	6.649.642,26	5.847.512,66	5.172.258,57	4.149.212,94
Summe brutto	4.934.882,36	7.913.074,29	6.958.540,06	6.154.987,70	4.937.563,40

Abbildung 6-38

Investition der ausgearbeiteten Alternativen

Faktor: Betriebskosten

Als zweiter wesentlicher Baustein zur Ermittlung der Gesamtjahreskosten werden die Betriebskosten, mit 15 % gewichtet, in die Bewertung einfließen. Die Betriebskosten unterliegen allerdings höheren Unsicherheiten, wie z.B. sich verändernde Rahmenbedingungen (siehe u.a. Energiepreise durch die Energiewende etc.) sowie Veränderungen/ Schwankungen in der Zusammensetzung des Abwassers, insbesondere, wenn ein größerer gewerblicher/ industrieller Anteil vorliegt. Abbildung 6-39 zeigt die Betriebskosten in der Übersicht.

Zusammenstellung der Kosten					
in €					
	Konzept 1a/b	Konzept 1c	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
	GAK/SF 6 K	GAK/SF 8 K	GAK nach Dyna-Sand	PAK/SF 6 K Kontakt	Ozon
Betriebskosten	719.506,19	754.475,75	793.498,70	799.435,37	567.152,50
Jahreskosten	1.075.152,81	1.295.241,82	1.314.086,45	1.251.919,03	942.612,33
spez. Jahreskost	0,078	0,094	0,095	0,091	0,068
brutto					

Abbildung 6-39

Übersicht der Betriebskosten der ausgearbeiteten Alternativen

Die folgenden Abbildung 6-40 bis 6-42 geben die Grundlagen und Einzelpositionen zur Jahreskostenberechnung der Verfahrensalternativen wieder.

Jahreskostenberechnung Variante 1a/b				Erläuterungen		Jahreskostenberechnung Variante 1c				Erläuterungen	
Verfahrensalternative: GAK/SF 6 K						Verfahrensalternative: GAK/SF 8 K					
Abwassermenge min.		900 m ³ /h		Nachtzufluss		Abwassermenge min.		900 m ³ /h		Nachtzufluss	
Abwassermenge max.		1.800 m ³ /h		QTRmax		Abwassermenge max.		1.800 m ³ /h		QTRmax	
Trockenwettermenge:		32.800 m ³ /d				Trockenwettermenge:		32.800 m ³ /d			
beh. Abwassermenge:		13.800.000 m ³ /a				beh. Abwassermenge:		13.800.000 m ³ /a			
Investition, netto [€]				KFAKR		Investition, netto [€]				KFAKR	
Bautechnik		1.503.855,00 €		0,051 30 a, 3%		Bautechnik		2.843.944,75 €		0,051 30 a, 3%	
Maschinentechnik		1.369.117,85 €		0,0838 15 a, 3%		Maschinentechnik		2.080.645,30 €		0,0838 15 a, 3%	
EMSR-technik		641.400,00 €		0,1172 10 a, 3%		EMSR-technik		710.700,00 €		0,1172 10 a, 3%	
Ing.+Nebenkosten	18,00%	632.587,11 €		0,051 30 a, 3%		Ing.+Nebenkosten	18,00%	1.014.352,21 €		0,051 30 a, 3%	
Summe Investition						Summe Investition					
Jahreskosten, brutto [€/a]						Jahreskosten, brutto [€/a]					
Bautechnik+IngNebenkosten		129.660,67 €/a			Bautechnik+IngNebenkosten		234.160,04 €/a				
Maschinentechnik		136.531,17 €/a			Maschinentechnik		207.486,11 €/a				
EMSR-technik		89.454,78 €/a			EMSR-technik		99.119,91 €/a				
Betriebskosten, brutto [€/a]						Betriebskosten, brutto [€/a]					
Wartung/Unterhalt Bau	0,50%	8.947,94 €/a			Wartung/Unterhalt Bau	0,50%	16.921,47 €/a				
Wartung/Unterhalt Masch	2,00%	32.585,00 €/a			Wartung/Unterhalt Masch	2,00%	49.519,36 €/a				
Wartung/Unterhalt EMSR	2,50%	19.081,65 €/a			Wartung/Unterhalt EMSR	2,50%	21.143,33 €/a				
Personal	[€/a] 48000	16.000,00 €/a			Personal	[€/a] 48000	24.000,00 €/a				
GAK		555.750,00 €/a			GAK		555.750,00 €/a				
Hilfstoffe		€/a			Hilfstoffe		€/a				
Stromverbra	[€/kWh] 0,18	87.141,60 €/a			Stromverbra	[€/kWh] 0,18	87.141,60 €/a				
Schlamm Entsorgung		€/a			Schlamm Entsorgung		€/a				
Summe Betriebskosten		719.506,19 €/a			Summe Betriebskosten		754.475,75 €/a				
Summe brutto		1.075.152,81 €/a			Summe brutto		1.295.241,82 €/a				
spez. Kosten brutto		0,078 €/m³			spez. Kosten brutto		0,094 €/m³				

Abbildung 6-40 Jahreskostenberechnung SF/GAK-Filter (4 und 8 neue Kammern) 1a-6K/6K/1b-8K/8K

Jahreskostenberechnung Variante 2			Erläuterungen	Jahreskostenberechnung Variante 3			Erläuterungen
Verfahrensalternative:				Verfahrensalternative:			
GAK nach				PAK/SF 6 K			
Dyna-Sand				Kontakt			
Abwassermenge min.	900 m ³ /h		Nachtzufluss	Abwassermenge min.	900 m ³ /h		Nachtzufluss
Abwassermenge max.	1.800 m ³ /h		QTRmax	Abwassermenge max.	1.800 m ³ /h		QTRmax
Trockenwettermenge:	32.800 m ³ /d			Trockenwettermenge:	32.800 m ³ /d		
beh. Abwassermenge:	13.800.000 m ³ /a			beh. Abwassermenge:	13.800.000 m ³ /a		
Investition, netto [€]			KFAKR	Investition, netto [€]			KFAKR
Bautechnik	1.594.717,20 €		0,051 30 a, 3%	Bautechnik	1.664.202,13 €		0,051 30 a, 3%
Maschinenteknik	2.492.202,00 €		0,0838 15 a, 3%	Maschinenteknik	1.902.667,85 €		0,0838 15 a, 3%
EMSR-technik	868.600,00 €		0,1172 10 a, 3%	EMSR-technik	816.400,00 €		0,1172 10 a, 3%
Ing.+Nebenkosten	18,00% 891.993,46 €		0,051 30 a, 3%	Ing.+Nebenkosten	18,00% 788.988,60 €		0,051 30 a, 3%
Summe Investition	5.847.512,66 €			Summe Investition	5.172.258,57 €		
Jahreskosten, brutto [€/a]				Jahreskosten, brutto [€/a]			
Bautechnik+IngNebenkosten	150.918,47 €/a			Bautechnik+IngNebenkosten	148.884,14 €/a		
Maschinenteknik	248.527,37 €/a			Maschinenteknik	189.737,84 €/a		
EMSR-technik	121.141,90 €/a			EMSR-technik	113.861,68 €/a		
Betriebskosten, brutto [€/a]				Betriebskosten, brutto [€/a]			
Wartung/Unterhalt Bau	0,50% 9.488,57 €/a			Wartung/Unterhalt Bau	0,50% 9.902,00 €/a		
Wartung/Unterhalt Masch	2,00% 59.314,41 €/a			Wartung/Unterhalt Masch	2,00% 45.283,49 €/a		
Wartung/Unterhalt EMSR	2,50% 25.840,85 €/a			Wartung/Unterhalt EMSR	2,50% 24.287,90 €/a		
Personal [€/a]	48000 48.000,00 €/a			Personal [€/a]	48000 36.000,00 €/a		
GAK	494.000,00 €/a			PAK-Kosten	373.464,00 €/a		
Hilfstoffe	€/a			Hilfstoffe	102.702,60 €/a		
Stromverbra [€/kWh]	0,18 156.854,88 €/a			Stromverbra [€/kWh]	0,18 139.326,97 €/a		
Schlamm Entsorgung	€/a			Schlamm Entsorgung	68.468,40 €/a		
Summe Betriebskosten	793.498,70 €/a			Summe Betriebskosten	799.435,37 €/a		
Summe brutto	1.314.086,45 €/a			Summe brutto	1.251.919,03 €/a		
spez. Kosten brutto	0,095 €/m ³			spez. Kosten brutto	0,091 €/m ³		

Abbildung 6-41 Jahreskostenberechnung nachgeschalteter GAK-Filter und PAK/SF-Filter 6K/6K

Jahreskostenberechnung Variante 4			Erläuterungen
Verfahrensalternative: Ozon			
Abwassermenge min.		900 m ³ /h	Nachtzufluss
Abwassermenge max.		1.800 m ³ /h	QTRmax
Trockenwettermenge:		32.800 m ³ / d	
beh. Abwassermenge:		13.800.000 m ³ / a	
Investition, netto [€]			KFAKR
Bautechnik		1.117.840,00 €	0,051 30 a, 3%
Maschinentechnik		1.642.942,15 €	0,0838 15 a, 3%
EMSR-technik		755.500,00 €	0,1172 10 a, 3%
Ing.+Nebenkosten	18,00%	632.930,79 €	0,051 30 a, 3%
Summe Investition		4.149.212,94 €	
Jahreskosten, brutto [€/a]			
Bautechnik+IngNebenkosten		106.254,28 €/a	
Maschinentechnik		163.837,48 €/a	
EMSR-technik		105.368,07 €/a	
Betriebskosten, brutto [€/a]			
Wartung/Unterhalt Bau	0,50%	6.651,15 €/a	
Wartung/Unterhalt Maschl	2,00%	39.102,02 €/a	
Wartung/Unterhalt EMSR	2,50%	22.476,13 €/a	
Personal	[€/a] 48000,00	48.000,00 €/a	0,5
Sauerstoff		214.396,00 €/a	
Stromverbra [€/kWh]	0,18	236.527,20 €/a	
Schlamm Entsorgung		€/a	
Summe Betriebskosten		567.152,50	
Summe brutto		942.612,33 €/a	
spez. Kosten brutto		0,068 €/m ³	

Abbildung 6-42

Jahreskostenberechnung Ozonierung

Faktor: Eliminationsleistung/ -sicherheit - Restbelastung

Die Verfahrensbewertung in Bezug auf die Eliminationsleistung zur Mikroschadstoffentfernung ist letztlich neben den kaufmännischen Randbedingungen das eigentliche Ziel der gesamten Ausarbeitung bzw. eine Anlagentechnik. Daher wird die Eliminations-/ Reinigungsleistung sowie die Sicherheit der Erzielung des Eliminationsergebnisses mit einer Gewichtung von 35 % in die Beurteilung einfließen.

Wie in den unterschiedlichen Literaturquellen ausgeführt, variiert die Eliminationsleistung der verschiedenen Verfahren in Bezug auf die jeweiligen Mikroschadstoffe erheblich. Hier kann es nur zu einer Gesamtschau der Eliminationsleistung kommen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass auf der KA Siegen die RKM und TCPP in auffällig hoher Konzentration vorliegen.

Die spezifischen Eliminationsleistungen der Verfahren sind in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt worden.

Die vergleichsweise gut oxidier- bzw. adsorbierbaren Mikroschadstoffe, wie z.B. die gängigen Arzneimittel, werden in der Regel zu 80-90 % eliminiert.

Insbesondere für die im Ablaufwasser der Kläranlage Siegen in überdurchschnittlich hoher Konzentration gefundenen RKMs und des TCPs weisen alle Verfahren bescheidenere Eliminationsleistungen im Bereich von 20-50 % auf. Es besteht ein kleiner Vorteil der Adsorption gegenüber der Ozonierung (siehe dazu auch die Abbildungen im Anhang).

In dem Zusammenhang zur Beurteilung der Eliminationsleistung/-sicherheit werden aber insbesondere die durch die Ozonierung entstehenden Transformationsprodukte und die damit einhergehenden Risiken in die Bewertung einfließen. Hier besteht gemäß der entsprechenden Literaturlauswertung und dem Stand der Technik bzw. dem Stand der Wissenschaft derzeit noch die größte Unsicherheit (dies wird auch sehr kontrovers diskutiert) in Bezug auf die als Transformationsprodukte entstehenden Verbindungen sowie deren Abbaumöglichkeiten in einer nachgeschalteten biologisch aktiven Sandfiltration. Des Weiteren sind die schädlichen Wirkungen der sich bildenden und ggf. verbleibenden Transformationsprodukte ebenfalls unklar.

Faktor: Betriebs- und Wartungsaufwand mit Qualifikation des Personals

Der Aufwand und der Erfolg für den reibungslosen, effizienten Betrieb einer Anlagentechnik ist zum einen von den täglich bzw. einer Periode durchzuführenden Arbeiten und dem daraus erwachsenden Anspruch an das Personal (siehe Analysetechnik/ Regelungstechnik etc.), zum anderen insbesondere von der Akzeptanz durch das Betriebspersonal bzw. deren Motivation abhängig.

Faktor: Betriebssicherheit/ Stand der Technik/ Referenzen/ Verfügbarkeit

Unter diesem Faktor wird die Ausgereiftheit der Technik und der Nachweis aus dem praktischen Betrieb in möglichst vielen vergleichbaren Anlagen bewertet. Dabei spielt die grundsätzlich Konzeption (Anzahl der unabhängigen Einheiten-Mehrstrahigkeit, Auslegungssicherheiten/ Kapazitätsreserven etc.) eine maßgebliche Rolle.

Faktor: Entwicklungspotenzial/ Weiterentwicklung

Als weiterer Bewertungspunkt, ebenfalls in Kontext der Verfahrensalternativen und möglicher technischer Weiterentwicklung, ist die Zukunftsfähigkeit des eingeschlagenen Weges bzw. des ausgewählten Verfahrens zu sehen.

Hier stellen die GAK-Filtration die bisher am wenigsten untersuchte Verfahrenstechnik dar /siehe im Anhang Liste der realisierte Anlagen nach Mertsch 1/. Daraus abzuleiten ist das ggf. noch bestehende Entwicklungspotenzial von GAK-Filtern, insbesondere auch im Einsatz/ Kombination zur P-Elimination. Des Weiteren kann die GAK-Filtration aber auch für eine Verfahrenskombination interessant werden.

Hier kommen den AOPs, sprich der Kombination aus ggf. Wasserstoffperoxid, Ozonung oder UV- Bestrahlung, die meisten Weiterentwicklungspotenziale zu.

Aussichtsreiche Ergebnisse hierzu wurden u.a. in dem Forschungsvorhaben unter Leitung des Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen - Bildung von Metaboliten durch den Einsatz von Ozonung Phase 2 - ermittelt. Die Gewichtung dieses Kriteriums fließt mit 10 % in die Bewertungsmatrix ein.

Faktor: Arbeitssicherheit/ Gefährdungspotenzial

Hier besteht beim Betrieb einer GAK-Filtration die geringste bis keine über das „normale“ Maß hinausgehende Gefährdung, da diese im Prinzip mit einer normalen Sandfiltration vergleichbar ist. Daher ist die Akzeptanz einer GAK-Filtration beim Betriebspersonal in der Regel am größten.

Die Zugabe von PAK kann über das sehr feinkörnige Material zu einer gewissen Explosionsgefahr führen.

Das Oxidationsverfahren erfolgt über den Einsatz von Ozon. Über Ozon führt das UBA aus:

Ozon:

Die gesundheitlichen Wirkungen von Ozon bestehen in einer verminderten Lungenfunktion, entzündlichen Reaktionen in den Atemwegen und Atemwegsbeschwerden. Bei körperlicher Anstrengung, also bei erhöhtem Atemvolumen, können sich diese Auswirkungen verstärken. Empfindliche oder vorgeschädigte Personen, zum Beispiel Asthmatiker, sind besonders anfällig und sollten bei hohen Ozonwerten körperliche Anstrengungen im Freien am Nachmittag vermeiden. Ab einem Ozonwert von 180 µg/m³ (1h-Mittelwert) werden dazu über die Medien Verhaltensempfehlungen an die Bevölkerung gegeben.

Da Ozon sehr reaktionsfreudig (reaktiv) ist, liegt die Vermutung nahe, dass es krebserregend sein könnte. Die MAK-Kommission (MAK=Maximale Arbeitsplatz Konzentration) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) beurteilte Ozon als einen Stoff, der „im Verdacht steht, beim Menschen Krebs auszulösen“.

Quelle: UBA unter www.umweltbundesamt.de

Unter diesem Aspekt bestehen in Bezug auf den Einsatz von Ozon auf der Kläranlage beim Betriebspersonal die größten Vorbehalte.

Faktor: Integrierbarkeit/ Einfluss auf die Kläranlage

Unter diesem Faktor werden die Konsequenzen auf die Kläranlage bewertet, z.B. (TS-Gehaltanstieg in der Belebungsstufe durch PAK, die Nutzung der verbleibenden Freiflächen bzw. auch der Verkehrswege etc.). So wurde die Überführung der Reaktionsbecken zur Ozonierung (geschlossen Stahl-Beton) seitens der Betriebsverantwortlichen (siehe auch Gefährdung) kritisch gesehen.

Faktor: Nachhaltigkeit/ Ökobilanz

Im Zuge der öffentlichen Diskussion zur Nachhaltigkeit eingeschlagener Wege bzw. der Gesamt-Ökobilanziellen Betrachtung verschiedener Verfahrenstechniken können die alternativen Verfahrenslösungen, zumindest vorab geschätzt, in die Bewertung einfließen.

Grundsätzlich stehen dabei in Zusammenhang mit dem Einsatz von Aktivkohle die dadurch erzeugten Abfall- bzw. Schlamm-mengen im Fokus der Betrachtung und der ordnungsgemäßen Entsorgung bzw. Regenerierung und den damit einhergehenden insbesondere energetischen Aufwendungen, siehe auch Transport etc.

Im Vergleich dazu wird die Ozonierung durch den Einsatz des klimaschädlichen Gases Ozon und den damit einhergehenden Risiken bei der Herstellung und bei dem Einsatz, u.a. auch dem Energieeinsatz, ein nicht unerhebliches Potenzial der Umweltbelastung, insbesondere durch mögliche Havarien.

Die Beurteilung der Nachhaltigkeit / Öko-bilanzielle Bilanzierung kann aufgrund der oben genannten „Unbekannten“ nicht seriös erfolgen und wird deshalb nicht herangezogen.

Grundsätzlich kann in Zusammenhang der der ausgearbeiteten Bewertung immer nur die derzeitige Ist-Situation mit dem aktuellen Kenntnisstand herangezogen werden. Verschiebungen, wie z.B. der Ökobilanziellen Bewertung bzw. Nachhaltigkeit, ergeben sich ggf. in Zukunft durch die Bereitstellung größerer Mengen an Elektrizität durch regenerative Gewinnungsprozesse. Genauso kann auch die Entsorgung der beladenen Aktivkohle zukünftig energetisch sinnvoll genutzt werden. In Bezug auf die Eliminationsleistung der Mikroschadstoffe werden mit Sicherheit in Zukunft neue Ansätze/ Alternativen (z.B. Kohlen etc.) gefunden.

FAZIT:

Als Ergebnis der Arbeiten/ Untersuchungen sowie des Diskussionstermins am 27.01.2016 ist die Erweiterung der vorhandenen Sandfiltration um 8 neue Kammern mit einer Nutzung als kombinierter GAK- und Sandfilter aus wirtschaftlicher und betrieblicher Sicht vorteilhaft bewertet worden. Dies ist mit den abgestimmten Faktoren, deren Gewichtung und der Punktevergabe das Ergebnis der in Abbildung 6-43 dargestellten Bewertungsmatrix. Dabei liegen die wirtschaftlichen Kriterien (Kapitaldienst 10 %, Betriebskosten 15 %) für die Entscheidung (die spezifischen Jahreskosten liegen mit minimal 0,068 bis maximal 0,095 €/m³Abwasser behandelt nur um knapp 0,03 €/m³Abwasser behandelt auseinander) in einer vergleichsweise engen Bandbreite.

Mikroschadstoffentfernung - Bewertungsmatrix												
Kriterium	Gewichtung		Konzept 1a/b		Konzept 1c		Konzept 2		Konzept 3		Konzept 4	
Beschreibung	[%]		GAK 8 K/ 4K	4 Kammern neu	GAK 10K/ 6K	8 Kammern neu	GAK	nachgesch.	PAK 6K/ 6K	4 Kammern neu	Ozon	2 Straßen
			abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte
Investition/ Kapitaldienst	10		100	10	55	6	60	6	70	7	100	10
Betriebskosten	15		60	9	55	8	45	7	45	7	100	15
Eliminationsleistung	35		70	25	90	32	95	33	70	25	70	25
Eliminationssicherheit												
Betriebs-/ Wartungsaufwand	5		100	5	95	5	80	4	90	5	80	4
Entleerung etc.												
Betriebsicherheit, Mehrstr.	15		50	8	80	12	95	14	90	14	90	14
Stand der Technik, Verfügb.												
Entwicklungspotenzial/ Limitier	5		90	5	100	5	80	4	70	4	50	3
Arbeitssicherheit	10		95	10	100	10	100	10	70	7	50	5
Gefährdungspotenzial												
Integrierbarkeit	5		100	5	90	5	60	3	40	2	90	5
/ Einfluss auf die KA												
Summe/ Ergebnis	100			75		82		81		69		79
Gewichtung	0-100 %											
abs. Punkte	0-100	jeweils		in Relation								

Abbildung 6-43

Bewertungsmatrix der Varianten

In den Kosten der Variante 1 c mit dem Neubau von 8 Filterkammern ist der komplette Neubau eines Gasspeichers enthalten. Gegebenenfalls ist auch ein Versetzen des Gasspeichers (statische Berechnung- Provisorien) zu etwa 50 % der Kosten möglich. Damit lässt sich hier ggf. noch ein Einsparpotenzial ausschöpfen.

Gemäß der ausgewerteten Abwassermengen können nach Anschluss der Kläranlage Weidenau an der dann ausgebauten Kläranlage Siegen knapp 14 Mio m³ Abwasser in der Anlagentechnik zur Mikroschadstoffelimination behandelt werden. Das entspricht etwa 80 % der aktuellen summierten Jahresabwassermenge beider Kläranlagen von rund 17,5 Mio m³.

Grundsätzlich erscheint eine Einteilung der dann zur Verfügung stehenden 16 Filterkammern mit 10 GAK-Kammern und dann 320 m² Filterfläche und 576 m³ Volumen für Q_{TR} bis 1.800 m³/h sowie 6 SF-Kammern mit 192 m² Filterfläche und 345 m³ Volumen für Q_{Misch} - max. rund 2.000 m³/h sinnvoll.

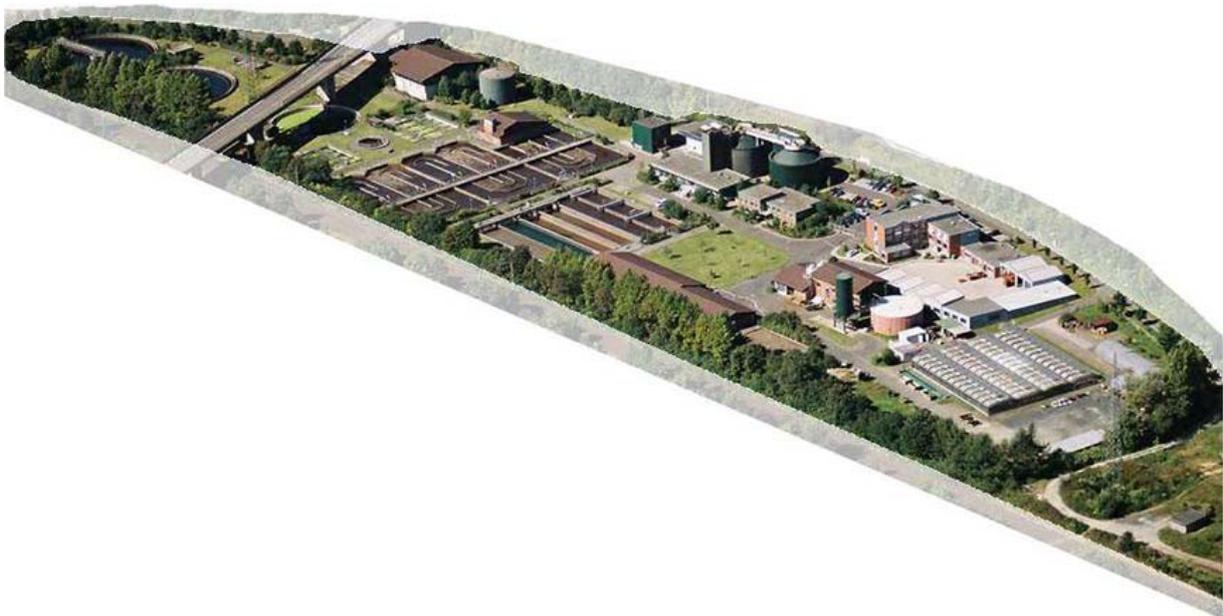
Die schlussendliche „Festlegung“ der Filterkammerzuordnung wäre dann Ergebnis einer Vor- bzw. Entwurfsplanung. Das oben dargestellte Ergebnis kann „nur“ als Momentaufnahme gelten. Die Darstellung von Sensitivitätsanalysen, z.B. bezüglich des Strom- oder A-Kohlepreises machen im Rahmen dieser Studie wenig Sinn, da die Entscheidung für die Variante 1 c GAK nicht maßgeblich aufgrund der ökonomischen Eckdaten gefallen ist. Aufgrund der kombinierten Betriebsweise besteht ein hoher Anspruch an die Regelungstechnik und das SPS-Programm, u.a. in Bezug auf das Beschickungskonzept und das anzupassende Spülkonzept (GAK/SF).

Grundsätzlich erachten wir einen Untersuchungsbetrieb ggf. mit drei Kammern (2 x GAK und 1 SF) zur Erprobung der optimalen Regelstrategie sowie einer Erprobung/ Auswahl einer effizienten GAK mit den Erfordernissen zur Mikroschadstoffentfernung (u.a. RKM) sowie P-Elimination für sinnvoll.

7. Zusammenfassung

Die KA Siegen liegt im Stadtteil Eiserfeld und ist als mechanisch-biologische Kläranlage ausgebaut. Die Belebungsstraße verfügt über drei als simultane Denitrifikation betriebene Belebungsbecken mit nach aktueller Planung dann ertüchtigter 3-straßiger Nachklärung als Rundbecken mit Schildräumer.

Als Ergänzung der fest-flüssig-Separation wird der Nachklärstufe nachgeschaltet ein abwärts durchströmter Sandfilter mit 8 Filterkammern je 32 m² Filterfläche betrieben. Die Schlammstabilisierung erfolgt als anaerobe Schlammbehandlung in 2 Faultürmen.



Quelle: Esi-siegen.de

Derzeit sind gut 80.000 EW an die Kläranlage Siegen angeschlossen. Die anvisierte Ausbaugröße nach Anschluss der KA Weidenau (etwa 50.000 EW) beträgt inkl. des prognostizierten EW-Zuwachs ca. 136.000 EW. Die anfallende und zu behandelnde Abwassermenge beträgt aus Summation der beiden Kläranlagen Siegen und Weidenau aktuell 17.500.000 m³/a. Der maximal in der Sandfiltration zu behandelnde Volumenstrom beträgt nach Anschluss der Kläranlage Siegen-Weidenau 3.780 m³/h. Die Inbetriebnahme der Filtration erfolgte im Jahre 1999 und wurde schon in der damaligen Planung auf einen maximalen Volumenstrom von gut 3.800 m³/h dimensioniert.

Die Entsorgungsbetriebe der Stadt Siegen (ESi) beabsichtigen in den nächsten Jahren die Ertüchtigung/ Ausbau der KA Siegen u.a. für den Anschluss der Kläranlage Siegen-Weidenau zu realisieren. Parallel dazu soll ggf. eine „4. Reinigungsstufe“ zur Mikroschadstoffentfernung im Verfahrenskonzept integriert werden.

Die Kapazität der Anlagentechnik zur Mikroschadstoffentfernung soll entsprechend der ermittelten Abwassermengen etwa 1.800 m³/h betragen.

Im Vorfeld der ingenieurtechnischen Konzeption wurde eine Analytik durch das ISA der RWTH Aachen durchgeführt und als Ergebnis den Daten aus der Liste D4, Elwas sowie der Simulation gemäß Tabelle 7-1 gegenübergestellt. Als Indikatorsubstanzen sind die rot dargestellten, im wesentlichen Arzneien und RKMs identifiziert worden.

Tabelle 7-1 Zusammenstellung der Analyseergebnisse zum Vergleich mit „Elwas“ und Simulation

Parameter	28.-29.10.2015			03.-04.11.2015			Envilab 1 simuliert KA Siegen	Elwas Messstelle 451400	Zielgröße* aus D4-Liste	
	KA Siegen	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb	KA Siegen	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb				
Carbamazepin	2520	289	369	2290	270	456	390	192	500	ng/l
Metoprolol	2370	447	624	2180	550	760	920	301	7300	ng/l
Clarithromycin	356	41,6	71,3	254	33,6	57,2	160	unbefriedigend	20	ng/l
Ritalinsäure	<10	<10	<10	<10	<10	<10			100	ng/l
Sotalol	210	44,3	57,3	190	50,4	65	280	25	100	ng/l
Sulfamethoxazol	1220	202	243	1360	137	232	340	<25	100	ng/l
Diclofenac	3710	523	941	3550	754	1110	470	unbefriedigend	100	ng/l
Ibuprofen	368	35	77,5	500	37,7	119		Schlecht	10	ng/l
Iopamidol	41600	4290	8610	28300	3220	5940		Schlecht	100	ng/l
Amidotrizoesäure	17700	305	2020	18500	366	2680		Schlecht	100	ng/l
Benzotriazol	9610	3850	4830	9840	3260	4190	5650		10000	ng/l
TCPP	1180	178	295	1560	270	291				ng/l
EDTA	20,1	2,7	2,8	63,5	1,4	1,6			240	µg/l
Glyphosat	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			0,1	µg/l
Bisphenol-A		Fehler in Analyse			68,8	41,2	47		100	ng/l
17aEthinylestradiol	<10	<10	<10	<10	<10	<10			0,035	ng/l
17-β-Estradiol	<10	<10	<10	<10	<10	<10			0,4	ng/l
Benzo(ghi)perylen	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002			0,002	µg/l
Pyren	0,00366	<0,002	<0,002	0,00351	<0,002	<0,002		unbefriedigend		µg/l
AMPA	1,2	2,6	2,8	1,7	2,8	<0,1			96	µg/l
Mecoprop	80	<10	15,5	57,2	<10	17		unbefriedigend	100	ng/l
PFT 10 Summe	0,078	n.b.	n.b.	0,086	n.b.	n.b.			0,1	µg/l
DOC	10,2	5,1	5,67	8,4	2,89	3,55				mg/l
Bromid	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				mg/l
n.b. nicht berechenbar										*Jahresmittel Oberfläche

In der ausgearbeiteten Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffentfernung wurden verschiedene Varianten zum Einsatz von PAK, GAK und Ozon betrachtet. Unter anderem die Varianten 1a/b, 1 c und 2 – 3 mit dem Ausbau der vorhandenen Sandfiltration um Kapazitäten von 4 bis 8 Filter-Kammern zur GAK-Filtration sowie einer komplett neuen „GAK-Stufe“ die der Sandfiltration nachgeschaltet wäre. Als „PAK-Variante 3“ wurde die Dosierung von PAK von PAK unter Ergänzung eines Kontaktbeckens vor die Sandfiltration betrachtet.

Ferner wurde als abschließende Variante 4 die Errichtung einer Ozonungsanlage mit 2 separaten Kontaktbecken / Reaktionsbecken vor der Nachbehandlung im biologisch aktivierten Sandfilter untersucht.

Die abgeschätzten wirtschaftlichen Eckdaten der einzelnen Varianten ergeben sich gemäß Abbildung 7-1 zu:

Zusammenstellung der Kosten					
in €					
	Konzept 1a/b	Konzept 1c	Konzept 2	Konzept 3	Konzept 4
	GAK/SF 6 K	GAK/SF 8 K	GAK nach Dyna-Sand	PAK/SF 6 K Kontakt	Ozon
Investition					
Bautechnik	1.503.855,00	2.843.944,75	1.594.717,20	1.664.202,13	1.117.840,00
M-technik	1.369.117,85	2.080.645,30	2.492.202,00	1.902.667,85	1.642.942,15
EMSR-technik	641.400,00	710.700,00	868.600,00	816.400,00	755.500,00
Ing.+NK ca. 18%	632.587,11	1.014.352,21	891.993,46	788.988,60	632.930,79
Summe netto	4.146.959,96	6.649.642,26	5.847.512,66	5.172.258,57	4.149.212,94
Summe brutto	4.934.882,36	7.913.074,29	6.958.540,06	6.154.987,70	4.937.563,40
Betriebskosten	719.506,19	754.475,75	793.498,70	799.435,37	567.152,50
Jahreskosten	1.075.152,81	1.295.241,82	1.314.086,45	1.251.919,03	942.612,33
spez. Jahreskost	0,078	0,094	0,095	0,091	0,068
brutto					

Abbildung 7-1 Kosten der Varianten

Als Vorzugs-Variante wurde die um 8 Filterkammern erweiterte Sandfiltration für den Einsatz von GAK zur Adsorption von Mikroschadstoffen in diesen ergänzten 8-GAKfilter-Kammern ermittelt – Variante 1c.

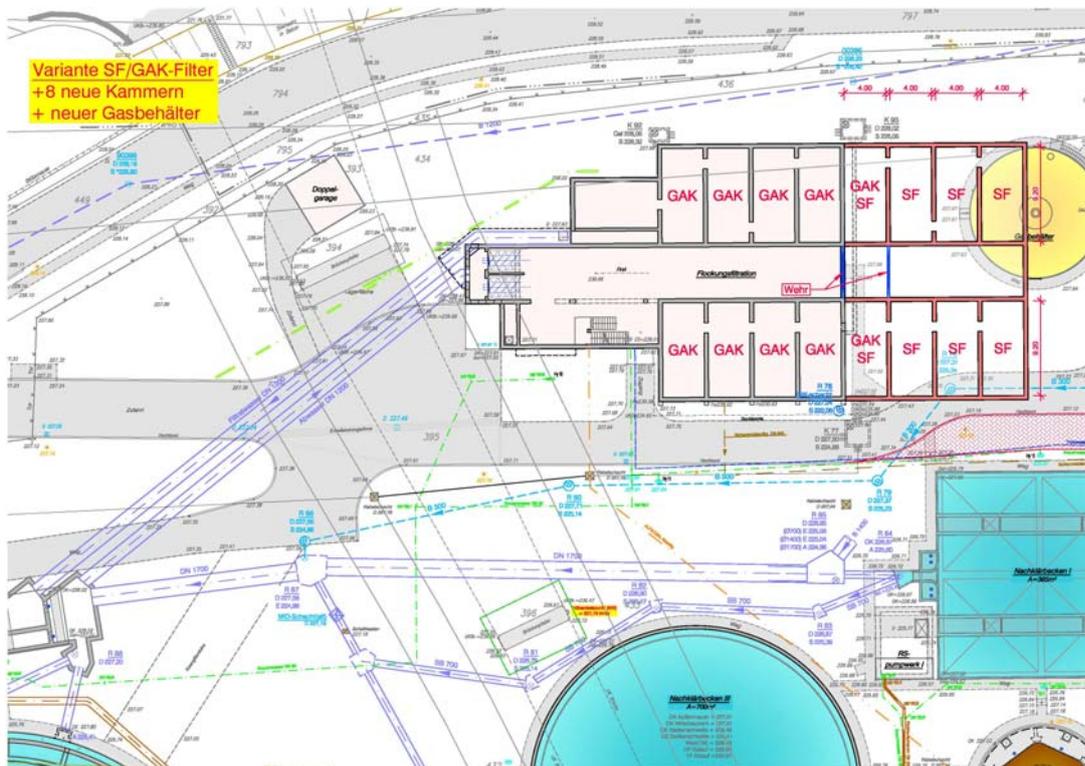


Abbildung 7-2 Lageskizze SF/ GAK Filter in 8/ 8 Kammern Variante 1c

Das Ergebnis der Bewertung über die Varianten ist in Abbildung 7-3 dargestellt

Mikroschadstoffentfernung - Bewertungsmatrix												
Kriterium	Gewichtung	Konzept 1a/b		Konzept 1c		Konzept 2		Konzept 3		Konzept 4		
Beschreibung	[%]	GAK 8 K/ 4K	4 Kammern neu	GAK 10K/ 6K	8 Kammern neu	GAK	nachgesch.	PAK 6K/ 6K	4 Kammern neu	Ozon	2 Straßen	
		abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	abs. Punkte	gew. Punkte	
Investition/ Kapitaldienst	10	100	10	55	6	60	6	70	7	100	10	
Betriebskosten	15	60	9	55	8	45	7	45	7	100	15	
Eliminationsleistung	35	70	25	90	32	95	33	70	25	70	25	
Eliminations-sicherheit												
Betriebs-/ Wartungsaufwand	5	100	5	95	5	80	4	90	5	80	4	
Entleerung etc.												
Betriebssicherheit, Mehrstr.	15	50	8	80	12	95	14	90	14	90	14	
Stand der Technik, Verfüg.												
Entwicklungspotenzial/ Limitier.	5	90	5	100	5	80	4	70	4	50	3	
Arbeits-sicherheit	10	95	10	100	10	100	10	70	7	50	5	
Gefährdungspotenzial												
Integrierbarkeit	5	100	5	90	5	60	3	40	2	90	5	
/ Einfluss auf die KA												
Summe/ Ergebnis	100		75		82		81		69		79	
Gewichtung	0-100 %											
abs. Punkte	0-100	jeweils	in Relation									

Abbildung 7-3

Bewertungsmatrix der Varianten

Mit der erarbeiteten Vorzugsvariante 1c (Stand Frühjahr 2016) unter Nutzung/ Erweiterung der vorhandenen Sandfiltration und Realisierung einer kombinierten GAK/ SF-filtration können in Zukunft (nach Anschluss der KA Siegen-Weidenau) etwa 80 % der Jahresabwassermenge behandelt werde. Für die oben aufgeführten Indikatorsubstanzen wie Arzneien erscheinen Eliminationsgrade von 70-90 % für die RKMs von 30-50 % erreichbar.

8. Literaturverzeichnis

- /Abegglen 1/ Abegglen, C., Siegrist, H.
Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur
weitergehenden Elimination auf Kläranlagen
BAFU, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214, 210 S, 2012
- /Abegglen 2/ Abegglen, C., et. al.
Schlussbericht Pilotversuche Regensdorf
Eawag, AWEL, Bafu, BMG, Hunziker, 2009
- /Alt 1/ Alt, K., Heuner, F., Barnscheidt, I.,
Energetische und wirtschaftliche Betrachtung der Spurenstoffelimination
In wwt, 3/2015
- /Alt 2/ Alt, K., Maurer C., Nahrstedt, A., Burbaum, H, et. al.
Einsatz granulierter Aktivkohle auf dem Verbandsklärwerk „obere Lutter“
in KA, 61. Jahrgang Nr. 5, 2014
- /Alt 3/ Alt, K., Kuhlmann, S.,
Energiebedarf und Kosten der Spurenstoffelimination, in in: Strategien zur
Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, Seminar der DWA in Köln,
21.05.2014
- /Alt 4/ Alt, K., Heuner F., Barnscheidt, I.,
Energetische und wirtschaftliche Betrachtung der Spurenstoffelimination, in:
wwt, Ausgabe 03.2015
- /Altmann 1/ Altmann, J., et. al.
Pulveraktivkohledosierung und Flockungsfiltration zur kombinierten Entfernung
von anthropogenen organischen Spurenstoffen und Phosphor, in: Begleitband
11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015, Aachen
- /AVT 1/ Kazner., C., Herr, J., Melin, T.,,
Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen durch den Einsatz der Membrantechnik
Mikromem/ Einzelauftrag 7 - Folien zu dem Fachgespräch 12. April 2011
- /ATV 1/ n.n
ATV-Regelwerk Abwasserfiltration durch Raumfiltration nach biologischer
Behandlung. ATV Arbeitsbericht A 203
Hennef, 1995
- /ATV 2/ n.n
Arbeitsbericht des ATV Fachausschuss 2.8, „Verfahren der weitergehenden
Abwasserreinigung...“ in. KA, 1997 (44), Nr. 3
- /ATV 3/ n.n
Arbeitsbericht des ATV Fachausschuss 2.1.6 „Bedeutung der
Abwasserfiltration...“ in. KA, 1997 (44), Nr. 3
- /Barjenbruch 1/ Barjenbruch, M.,
Leistungsfähigkeit und Kosten von Filtern in der kommunalen
Abwasserreinigung
ISAH, Heft 97, Hannover 1997

- /Barjenbruch 2/ Barjenbruch, M., Firk, W., Peter-Fröhlich, A.,
Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen auf
kommunalen Kläranlagen
in KA, 61. Jahrgang Nr. 10, 2014
- /Baur 1/ Baur, B., Hartenberger, M.,
AdOxKöln-Planungsaspekte zur großtechn. Umsetzung für Kornaktivkohle
und Ozonung, in: Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen,
Seminar der DWA in Köln, 21.05.2014
- /Biebersdorf 1/ Biebersdorf, N., et. al.
Wirtschaftlicher Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK), granulierter Aktivkohle
(GAK) und Ozonung....Modellkläranlagen
in KA, 61. Jahrgang Nr. 10, 2014
- /Blauth 1/ Blauth, F., et. al.
Effektive Spurenstoffelimination mit hoch aktivierter abriebfester Adsorbentien
in einem kontinuierlichen Adsorptionsverfahren in: Begleitband
11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27. u. 28.10.2015, Aachen
- /Böhm 1/ Böhm, B., und Schmidt, R.,
Neubau einer Sandfiltrationsanlage auf dem Klärwerk München 1,
in. KA, 2009 (56), Nr. 6
- /Bornemann 1/ Bornemann, C.,
Filter AK+ Forschung des Wupperverbandes zur Spurenstoffelimination mit
Aktivkohle, in: 18. Symposium Flussgebietsmanagement/ Gebietsforum
„Wupper“ 19.05.2015
- /Brockhaus 1/ n.n
Allgemeine Informationen über Aktivkohlefiltration
www.brockhaus-umwelt.de
- /Burbach 1/ Burbach H., Bruhn G.,
Einsatz von granulierter Aktivkohle beim Abwasserverband „Obere Lutter“,
in: Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, Seminar der
DWA in Köln, 21.05.2014
- /Cluster Umwelt 1/ Herbst, H., et. al
Übersicht der Aktivkohlehändler....
Cluster Umwelttechnologie NRW, 2011/ Kom-M NRW, 2013
- /Cluster Umwelt 2/ Herbst, H., et. al
Übersicht der Hersteller von Anlagen zur Ozonproduktion....
Cluster Umwelttechnologie NRW/ Kom-M NRW, 2013
- /Dohmann 1/ Dohmann, M., Herbst, H., Schilling, S.
Kosten der gezielten Elimination von organischer Spurenstoffe aus Abwässern
Tagungsband zur Essener Tagung, 2005
- /DWA 1/ n.n
DWA Themen: T3, Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen
Spurenstoffen
DWA Fachausschuss KA-8, Hennef, April 2015

- /DWA 2/ n.n
DWA-Arbeitsbericht AK 1.3 „Rückbelastung aus der Schlammbehandlung“
Hennef, 2006
- /Eawag 1/ Böhler, M. et. al.
Ergänzende Untersuchungen zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf
der ARA Neugut, Projekt 85336,
Dübendorf , Dezember 2012 für das Bafu der Schweiz
- /Eawag 2/ Böhler, M. et. al.
Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus
kommunalem Abwasser
Dübendorf , September 2010 für das Bafu der Schweiz
- /Eawag 3/ Böhler, M. et. al.
Praxisanwendungen von Regelung und Steuerung der Ozondosierung bei der
Spurenstoffelimination via Adsorbanz-Messung in: Begleitband
11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015, Aachen
- /Elwas 1/ www.elwasweb.nrw.de
- /Envilab 1/ Götz, C., et. al.
Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser
Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für NRW,
Studie für das MKULNV, 2012
- /Enviro Consult 1/ n.n
Sickerwasserreinigung, Deponiegasverwertung, MBA
Klenkes Druck, Aachen, 1998
- /GFM 1/ Christ, O., Mitsdoerffer, R.,
Weitergehende Reduzierung von Mikroverunreinigungen auf der KA
Espelkamp, München im August 2013 für die Stadtwerke Espelkamp
- /Grömping 1/ Grömping, M.,
Konzeptstudie „Spurenstoffelimination mittels A-kohle im Ablauf der KA
Gütersloh-Putzhagen, Aachen 2011
- /Grontmij 1/ Herbst, H., Maus, C.
Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels A-kohle in der
Abwasserfiltration der KA Neuss Ost, Phase II
Köln, November 2013 für die Infrastruktur Neuss AöR
- /Grünebaum 1/ Günebaum, T., Klopp, R., Thöle, D.,
Mikroverunreinigungen in der Ruhr-Eintragspfade und technische
Möglichkeiten auf Kläranlagen. 12. Ruhrverbandsforum 2013, Essen
- /Herbst 1/ Herbst, H., et. al.
Abwasserzonung-Optimierte Auslegung auf Basis mehrjähriger
Betriebserfahrungen in
Kölner Kanalkolloquium, 2013
- /Herbst 2/ Herbst, H.,
Betriebswirtschaftliche Kosten bei der Elimination von Mikroschadstoffen in
der Abwasserbehandlung, in: 23. Osnabrücker Wasserfachtagung -
Umweltverträgliches Wirtschaften, 02.04.2014, Osnabrück
- /HMUELV 1/ n.n

- Arbeitshilfe...Energieeffizienz von Abwasseranlagen
HMUELV 2012
- /Hobby 1/ Hobby, R.,
Berechnung der Laufzeiten von Aktivkohlefiltern bei der Trinkwasserauf-
bereitung, DVGW-Technisches Komitee/ Forum Wasseraufbereitung 2004
Tagung am 28.10.2004, Karlsruhe
IWW Mülheim/ Universität Duisburg-Essen
- /ISA 1/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen
insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz
von Aktivkohle, „Mikroflock“ AZ IV-7-042 600 001 E, 2012 , MKULNV NRW
- /ISA 2/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen
durch den Einsatz der Membrantechnik. Elimination von Arzneimittel und
organischer Spurenstoffe, AZ IV-7-042 600 001 G, 2012 , MKULNV NRW
- /ISA 3/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Energiebedarf von Verfahren zur
Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase 1, „Envelos“ AZ IV-7-042
600 003 J, 2011 , MKULNV NRW
- /ISA 4/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Ertüchtigung kommunaler
Kläranlagen durch den Einsatz von Verfahren mit UV-Behandlung (Mikrolight) -
Phase 2“, AZ IV-7-042 600 001H, Vergabenummer 08/0581., 2014, MKULNV
NRW
- /ISA 5/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Elimination von Arzneimitteln und org.
Spurenstoffen. Entwicklung von Konzeptionen und innovativen,
kostengünstigen Reinigungsverfahren - Phase 2“, Vergabenummer 08/058-1.,
2013, MKULNV NRW
- /ISA 6/ n.n
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Elimination von Arzneimitteln und org.
Spurenstoffen. Entwicklung von Konzeptionen und innovativen,
kostengünstigen Reinigungsverfahren – Metabolitenbildung beim Einsatz von
Ozon - Phase 2“, AZ IV-7-042 600 001J, 2014, MKULNV NRW
- /Ivashechkin 1/ Ivashechkin, P.,
Elimination organischer Spurenstoffe aus kommunalen Abwasser
Promotion an der RWTH Aachen, 2006
- /IWAR 1/ Cornel, P., Yang., F., Knopp, G.
Abschlussbericht zum FuE-Vorhaben „Untersuchungen zur weitergehenden
Entfernung von Spurenstoffen auf der Kläranlage des AV Langen-Egelsbach-
Erzhausen, TU Darmstadt, 2013
- /IWW 1/ n.n
Bericht zum FuE-Vorhaben „Metabolitenbildung beim Einsatz von Ozon –
Phase 2, AZ IV-7-042 600 001 J, 2014 , MKULNV NRW
- /Jagemann 1/ Jagemann, P., Lyko, S.,

- Mess- und Betriebskonzepte beim großtechnischen Einsatz weitergehender Abwasserreinigungsverfahren Bsp. Ablaufozonung. Beitrag der EG/LV 2012
- /Kazner 1/ Kazner, C.,
Weitergehende Abwasserreinigung durch Nanofiltration und Aktivkohle für hochwertige Wasserwiederverwendung
Dissertation an der RWTH Aachen, AVT, 2011
- /Kolisch 1/ Kolisch, G.,
Potential der Spurenstoffelimination durch Pulver- und Kornkohle in bestehenden Filteranlagen, in: Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, Seminar der DWA in Köln, 21.05.2014
- /KOM-BW 1/ n.n.
Verschiedene Angaben/ Darstellungen zur Mikroschadstoffentfernung im Internet unter: www.koms-bw.de, Juli 2015
- /KOM-BW 2/ n.n.
Handlungsempfehlungen zur Vergleichskontrolle und zur Betriebsüberwachung der 4. Reinigungsstufe
unter: www.koms-bw.de, Oktober 2014
- /KOM-M.NRW1/ n.n.
Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffentfernung
Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW
Düsseldorf, 20.03.2015
- /KOM-M.NRW2/ n.n.
Mikroschadstoffentfernung machbar ?....
Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW
Düsseldorf, 07.04.2015
- /Koti 1/ Koti, M., et. al.
Oxidation, PAK und keramische Membranfiltration zur weitergehenden Abwasseraufbereitung in: Begleitband 11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015, Aachen
- /LfU 1/ Huber, S., Kopf, W., Schade, M.,
Ermittlung des Potenzials weitergehender Abwasserreinigungsmaßnahmen auf die Reduktion endokrin wirksamer Substanzen
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Mai 2013
- /Löwenberg 1/ Löwenberg, J., et. al.
Spurenstoffelimination durch PAK Adsorption mit nachgeschalteter Membran- und Tiefenfiltration in: Begleitband 11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015, Aachen
- /Lyko 1/ Lyko, S.,
Aktuelle Erkenntnisse bei Planung und Betrieb von Ozonanlagen, in: Strategien zur Spurenstoffelimination auf Kläranlagen, Seminar der DWA in Köln, 21.05.2014
- /Mertsch 1/ Mertsch, V., Herbst, H., Alt, K.,
Kosten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen
Tagungsband der 46. Essener Tagung für...
Aachen, ISA, März 2013

- /Mönnich 1/ Mönnich, K-H.,
Tuchfiltration kommunalen Abwassers nach der P-Simultanfällung in der KA
Kiel in. KA, 1997 (44), Nr. 3
- /Nahrstedt 1/ Nahrstedt, A, Benstöm. F., Alt, K., Burbaum. H.,
GAK zur Mikroschadstoffentfernung in vorhandenen Abwasser-
filteranlagen, obere Lutter und Düren-Merken
Symposium Mikroschadstoffe 21.06.2013 in Düsseldorf
- /Schilling 1/ Schilling, S.,
Bewertung der Membrantechnik zur Aufbereitung kommunaler Abwässer
Dissertation an der RWTH Aachen, IVT, 2005
- /SWA 1/ n.n
Bewertung vorhandener Technologien für die Elimination anthropogener
Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen
Universität der Bundeswehr München Institut für Wasserwesen
Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Neubiberg, 2013
- /Theilen 1/ Theilen. U.,
Arbeitshilfe zur Verminderung der Phosphoremissionen aus kommunalen
Kläranlagen
Überarbeitete Fassung, HMuKLV, 2015
- /TU Dortmund 1/ n.n
Untersuchungen zur Einleitung und Elimination gefährlicher Stoffe in
kommunalen Kläranlagen/ NRW, Abschlussbericht und Kurzfassung–Phase III
AZ IV-9-0421720030, MKULNV NRW, 2008
- /UBA 1/ n.n.
„Maßnahmen zur Verminderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in
die Gewässer“ TEXTE 85/2014 aus Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit,
Forschungskennzahl 3712 21 225, UBA-FB 002037
- /UBA 2/ n.n.
„Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe“ TEXTE 26/2015 aus
Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Natur-
schutz, Bau und Reaktorsicherheit, Forschungskennzahl 3711 26 202,
UBA-FB 02088
- /UBA 3/ n.n.
„Organische Mikroverunreinigungen in Gewässern“ Position März 2015
Umweltbundesamt, Dessau, März 2015, ISSN 2363-829X
- /UBA 4/ n.n
Klärschlamm Entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland, Stand 2012
www.bundesumweltamt.de
- /Vogel 1/ Vogel, A., et. al.
Nachweis von Aktivkohle im Ablauf von Abwasserbehandlungsanlagen...
in: Begleitband 11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015,
Aachen
- /WBG 1/ n.n
Formelheft
Der Wasser Bau Gesellschaft, Kulmbach, 2009

/Zhao 1/

Zhao, F., et. al.

Ermittlung der optimalen Betriebsbedingungen für die Mikrowellenregeneration von granulierter Aktivkohle mittels orthogonaler Versuchsplanung in:
Begleitband 11. Aachener Tagung Wassertechnologie, 27.u. 28.10.2015,
Aachen

9. Anhang

Im FuE-Vorhaben unter Leitung der TU Dortmund /TU Dortmund 1/ wurde als Ergebnis im Jahr 2008 festgehalten bzw. Folgendes ermittelt:

Grundsätzlich zeigen die Einzelergebnisse:

- mit allen drei untersuchten Verfahren lassen sich bei nahezu allen Spurenstoffen technisch nutzbare Eliminationen trotz der Gegenwart eines Abwasser-DOC-Werts von 8 bis 13 mg/l erzielen,
- Stoffe mit endokriner Wirkung lassen sich technisch nutzbar eliminieren,
- die speziell für den Fall der O₃-Behandlung durchgeführten Untersuchungen auf estrogene und androgene Aktivität, sowie Zytotoxizität und Mutagenität weisen bei O₃-Dosierungen von mehr als $Z_{\text{spez}} = 0,5 \text{ mg}_{\text{O}_3}/\text{mg}_{\text{DOC},0}$ deutlich abnehmende Wirkung aus,
- im Rahmen des eigenen Messprogramms lässt sich keine ökotoxische Wirkung der Ozonung (Bildung umweltrelevanter Metabolite) beobachten; trotzdem sollte aufgrund der in der Literatur dokumentierten Nebenwirkung in Form einer möglichen Nitrosamin-Bildung bei der Bewässerung von Herbizidgeschützten Erdbeerpflanzen mit ozoniertem Trinkwasser (N-Nitrosodimethylamin-Bildung im Fall Tolyfluanid-haltiger Herbizide) einschlägige Forschung durchgeführt werden,
- die am schwierigsten zu eliminierenden Spurenstoffe sind Röntgenkontrastmittel (RKM), wobei ein sichtbarer Unterschied zwischen der bromierten Verbindung Amidotrizoesäure und den iodierten RKM-Verbindungen bestehen,
- im Einzelnen werden die Eliminationsraten im Untersuchungsbereich sichtbar von der eingesetzten Additivkonzentration beeinflusst,
- von den drei untersuchten Verfahren zeigt die Ozonung das höchste Potenzial (keine aufzubereitenden oder zu entsorgenden Reststoffe; bei geeigneter Messtechnik ‚schnelle‘ Regelstrecke), die PAC-Dosierung das niedrigste Potenzial, obwohl die technische ‚Nebenwirkung‘ einer Schlammkonditionierung (Entwässerungsverhalten, Heizwert) diese Verfahrenstechnik als zumindest fallweise interessant ausweist,
- bei der Kostenbewertung der drei betrachteten Verfahren zeigt sich ein signifikanter Einfluss des Betriebsmittelverbrauchs gegenüber den anteilig verrechneten Investitionskosten.

”

Die Eliminationsleistung der Verfahren bzgl. ausgewählter Spurenstoffe nach /TU Dortmund 1/ wurde gemäß den Abbildungen A-1 und A-2 qualitativ bewertet

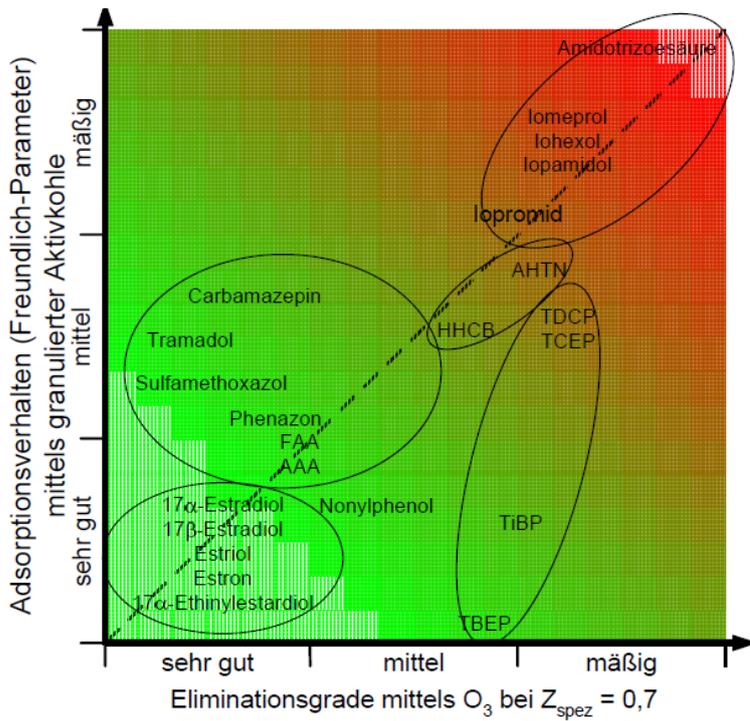


Bild 8: Relative Elimination umweltrelevanter Spurenstoffe in Abwasser mittels Aktivkohleadsorption (GAC) im Vergleich zur Ozon-Oxidation bei einem Betriebswert von $Z_{\text{spezifisch}} = 0,7$

Abbildung A-1 Wertung der Eliminationsraten von GAK im Vergleich zu Ozon

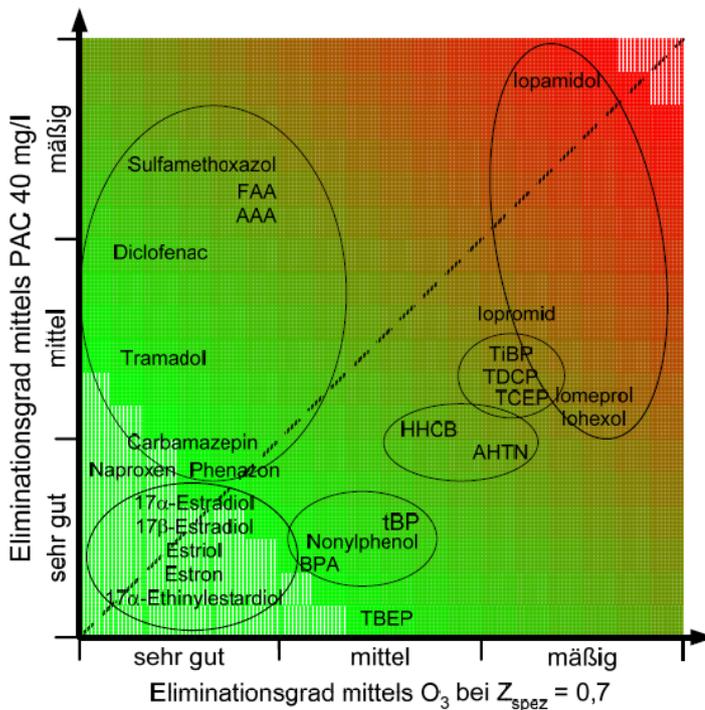


Bild 9: Relative Elimination umweltrelevanter Spurenstoffe in Abwasser mittels Aktivkohleadsorption (PAC) im Vergleich zur Ozon-Oxidation bei einem Betriebswert von $Z_{\text{spezifisch}} = 0,7$

Abbildung A-2 Wertung der Eliminationsraten von PAK im Vergleich zu Ozon

Tabelle 3: Aktivkohlefestbettauflaufzeiten und Ozonungs-Eliminationsgrade der untersuchten Spurenstoffe

	Verfahren	Ozonung				pulverisierte Aktivkohle			granulierte Aktivkohle			
		$Z_{\text{DOC}} = 0,7 \pm 0,05^{2)}$		$Z_{\text{DOC}} = 0,9 \pm 0,05^{2)}$		20 mg _{PAC} /l	40 mg _{PAC} /l	80 mg _{PAC} /l	$K [^{-1}]$	$n [-]$	$V_{\text{so}}^{2)}$	Laufzeit ²⁾
		Elimination [%] ⁴⁾	DOC [mg/l] ⁴⁾	Elimination [%] ⁴⁾	DOC [mg/l] ⁴⁾	Elimination [%]	Elimination [%]	Elimination [%]			[m ³ /kg]	[d]
Estrogene	17a-Estradiol	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	Zulauf < BG	Zulauf < BG	-	-	-	-
	17b-Estradiol	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	< BG	< BG	-	-	-	-
	Estriol	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-
	Estrone	< BG (1)	11,1 (1)	< BG (1)	11,1 (1)	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-
	17a-Ethinylestradiol	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	Zulauf < BG	Zulauf < BG	-	-	-	-
Moschus- duftstoffe	HHCB - Galaxolid ⁴⁾	74 ± 9 (3)	10,2 ± 0,6 (3)	96 (1)	11,1 (1)	82	79	94	90,66	0,35	53	182
	AHTN - Tonalid ⁴⁾	48 (1)	11,1 (1)	80 (1)	11,1 (1)	90	86	92	82,13	0,34	43	146
	Moschus-Xylol - MX	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	57	< BG	< BG	-	-	-	-
	Moschus-Keton - MK	-	-	-	-	69	< BG	< BG	-	-	-	-
Organophosphate	TIBP	53 ± 3 (3)	10,2 ± 0,6 (3)	60 ± 14 (2)	10,9 ± 0,2 (2)	65	79	84	110,11	0,2	75	256
	TnBP	-	-	-	-	75	84	< BG	-	-	-	-
	TCEP ⁵⁾	62 ± 14 (5)	10,0 ± 0,5 (5)	54 (1)	11,1 (1)	78	85	99	88,32	0,49	52	178
	TCPP ⁵⁾	62 ± 22 (5)	10,0 ± 0,5 (5)	61 ± 13 (3)	11,1 ± 0,2 (3)	62	82	96	-	-	-	-
	TDCP ⁵⁾	63 ± 15 (5)	10,0 ± 0,5 (5)	51 ± 16 (2)	11,1 ± 0,0 (2)	60	86	< BG	98,25	0,27	58	-
	TPP ⁵⁾	51 (1)	11,1 (1)	47 (1)	11,1 (1)	19	60	< BG	-	-	-	-
	TBEP	68 ± 5 (4)	10,1 ± 0,3 (4)	78 (1)	11,1 (1)	99	< BG	< BG	145,95	0,19	158	542
Pharmazutilla	FAA	< BG (5)	10,0 ± 0,5 (5)	< BG (5)	11,0 ± 1,3 (5)	22	23	70	100,05	0,21	60	206
	AAA	< BG (5)	10,0 ± 0,5 (5)	< BG (5)	11,0 ± 1,3 (5)	19	35	55	103,59	0,21	66	224
	Sulfamethoxazol ⁴⁾	94 ± 4 (5)	10,0 ± 0,5 (5)	< BG (5)	11,0 ± 1,3 (5)	24	16	70	86,78	0,22	42	144
	Phenazon ⁴⁾	< BG (2)	10,1 ± 1,3 (2)	< BG (4)	11,0 ± 0,3 (4)	< BG	< BG	39	95,17	0,23	56	191
	AMDOPH	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	Zulauf < BG	Zulauf < BG	-	-	-	-
	Tramadol	< BG (5)	10,0 ± 0,5 (5)	< BG (4)	11,0 ± 0,3 (4)	68	74	95	75,3	0,83	45	154
	AMPH	< BG (1)	9,2 (1)	< BG (2)	10,9 ± 0,2 (2)	Zulauf < BG	Zulauf < BG	Zulauf < BG	-	-	-	-
	Clofibrinsäure ⁴⁾	< BG (1)	11,1 (1)	< BG (2)	11,2 ± 0,2 (2)	< BG	< BG	46	-	-	-	-
	Naproxen ⁴⁾	< BG (3)	10,2 ± 0,9 (3)	< BG ± 13	10,9 ± 0,5 (4)	95	94	96	-	-	-	-
	Propyphenazon ⁴⁾	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	< BG	< BG	Zulauf < BG	-	-	-	-
	Carbamazepin	< BG (5)	10,0 ± 0,5 (5)	< BG (5)	11,0 ± 1,3 (5)	84	89	98	68,17	0,49	34	115
	Bezafibrat ⁴⁾	< BG (2)	10,1 ± 1,3 (2)	< BG ± 13	11,1 ± 0,3 (4)	97	96	< BG	-	-	-	-
	Diclofenac	< BG (4)	10,1 ± 0,3 (4)	< BG ± 5 (5)	11,0 ± 1,3 (5)	65	78	93	-	-	-	-
Ibuprofen ⁴⁾	-	-	< BG (2)	11,1 ± 0,5 (2)	< BG	< BG	99	-	-	-	-	
Phenole	tBP	54 ± 21 (2)	10,1 ± 1,3 (2)	89 (1)	11,1 (1)	93	96	< BG	-	-	-	-
	tOP ⁵⁾	-	-	-	-	66	39	< BG	-	-	-	-
	NP ⁵⁾	51 (1)	11,1 (1)	88 ± 2 (2)	10,9 ± 0,2 (2)	94	92	95	114,84	0,28	88	300
	PCP	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-
	BPA	79 ± 4 (2)	10,5 ± 0,8 (2)	92 ± 11 (2)	10,9 ± 0,2 (2)	95	98	99	-	-	-	-
	Phtalate	DBP ⁴⁾	-	-	-	-	83	79	87	-	-	-
BBzP ⁴⁾		-	-	-	-	96	< BG	87	-	-	-	-
DEHP ⁴⁾		-	-	-	-	95	68	98	-	-	-	-
DOP		-	-	-	-	91	< BG	< BG	-	-	-	-
Röntgenkon- trastmittel		Iopamidol ⁴⁾	-	-	24 ± 2 (2)	11,2 ± 0,2 (2)	22	8	8	-	-	-
	Iopromid ⁴⁾	54 (1)	11,1 (1)	75 (1)	11,1 (1)	91	3	78	2,41	1,41	2	7
	Iomeprol ⁴⁾	18 (1)	11,1 (1)	52 (1)	11,1 (1)	97	80	84	0,41	11,07	0	0
	Iohexol ⁴⁾	22 (1)	11,1 (1)	35 (1)	11,1 (1)	93	88	79	0,02	7,63	0	0
	Amidotrizoesäure ^{4,5)}	62 (1)	11,1 (1)	69 (1)	11,1 (1)	-	88	-	-	-	-	-
PFT	PFOA	-	-	-	-	-	Zulauf < BG	-	-	-	-	-
	PFOS	-	-	-	-	-	Zulauf < BG	-	-	-	-	-
Son- stige	DCPA	Zulauf < BG	-	Zulauf < BG	-	< BG	< BG	< BG	-	-	-	-
	Triclosan	-	-	< BG (1)	11,1 (1)	95	< BG	< BG	-	-	-	-

¹⁾ K in [(mg_{DOC}/g)/(mg_{DOC}/l)]

²⁾ Aktivkohlelaufzeit bzw. bis zum Abbruch durchgesetztes Wasservolumen V_{so} bezieht sich auf normierte Ablaufkonzentration von $c/c_0 = 0,1$

³⁾ Z_{DOC} in [mg_{OS}/mg_{DOC}·l]

⁴⁾ angegeben: Median ± Standardabweichung (Anzahl der Messwerte)

⁵⁾ Schwankende Zulaufwerte können in Bezug auf die eingesetzte Ozonosis/Aktivkohlemenge nicht kohärente Eliminationsgrade verursachen

⁶⁾ Eliminationsgrade zu hoch (deckt sich nicht mit Erkenntnissen aus "Gefährliche Stoffe - Teil II")

Quelle: /TU Dortmund 1/

Abbildung A-3

Zusammenfassung der Eliminationsraten/ Bettvolumen

Tabelle A-1 Elimination der GAK auf der KA Rietberg /Knollmann 1/

Untersuchungen vom 15.11.2012 - 18.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

Analysennummer:		41715 130533	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Acesulfam	µg/l	3,2	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	2200	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	560	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	90	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	2300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	4200	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	1300	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	780	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	2900	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	580	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	1800	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	290	Hausmethode (LC-MS-MS)

Untersuchungen vom 15.11.2012 - 18.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Filter 1 – AK - Typ: AquaSorb CS

(2) = Ablauf Filter 2 – AK - Typ: AquaSorb 2000

Analysennummer:		41745 130709		41759 130790	
Parameter:	Einheit:	(1)	(2)	Verfahren	
<i>Messungen im Labor</i>					
Acesulfam	µg/l	0,84	0,21	Hausmethode LC-MS	
Sucralose	ng/l	1000	< 250	Hausmethode LC/MS	
Clarithromycin	ng/l	130	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Sulfamethoxazol	ng/l	210	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Carbamazepin	ng/l	240	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Diclofenac	ng/l	800	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Benzotriazol	ng/l	740	49	Hausmethode LC/MS	
4-Methylbenzotriazol	ng/l	260	55	Hausmethode LC/MS	
5-Methylbenzotriazol	ng/l	190	290	Hausmethode LC/MS	
Metoprolol	ng/l	680	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Sotalol	ng/l	130	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	
Amidotrizoesäure	ng/l	240	61	Hausmethode (LC-MS-MS)	
lomeprol	ng/l	1200	82	Hausmethode (LC-MS-MS)	
lopamidol	ng/l	1100	72	Hausmethode (LC-MS-MS)	
lopromid	ng/l	200	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)	

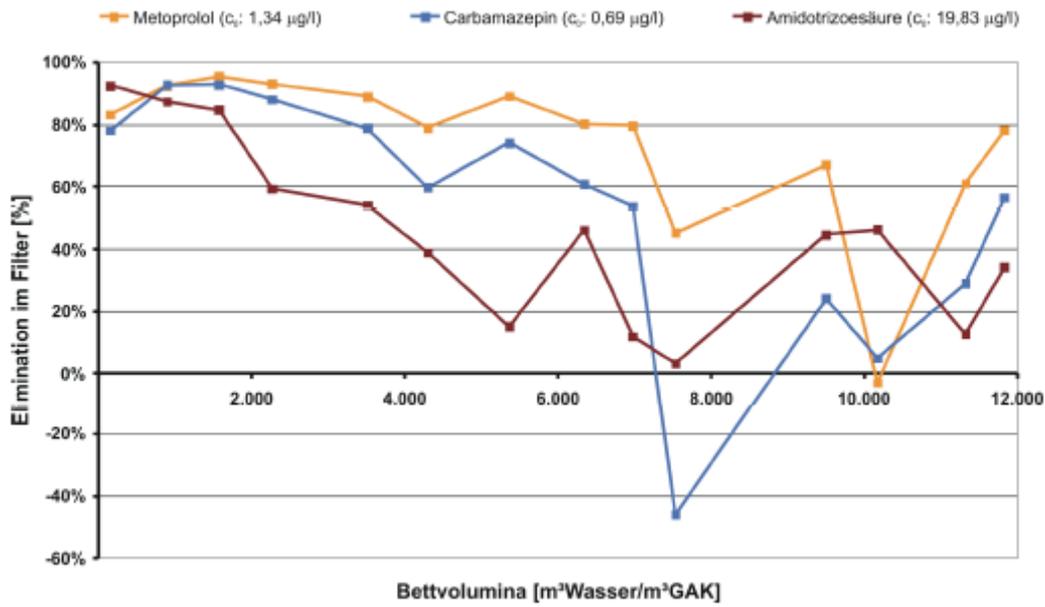


Abbildung A-4 Eliminationsleistung GAK auf KA Düren /Nahrstedt 1/ in /SWA 1/

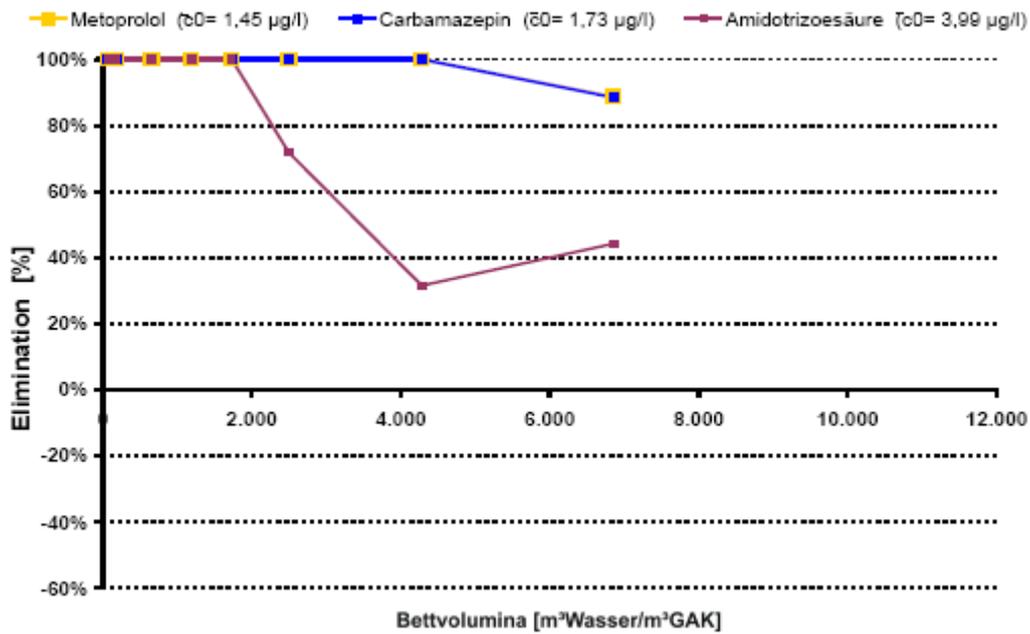


Abbildung A-5 Eliminationsleistung GAK auf KA Obere Lutter /Nahrstedt 1/ in /SWA 1/

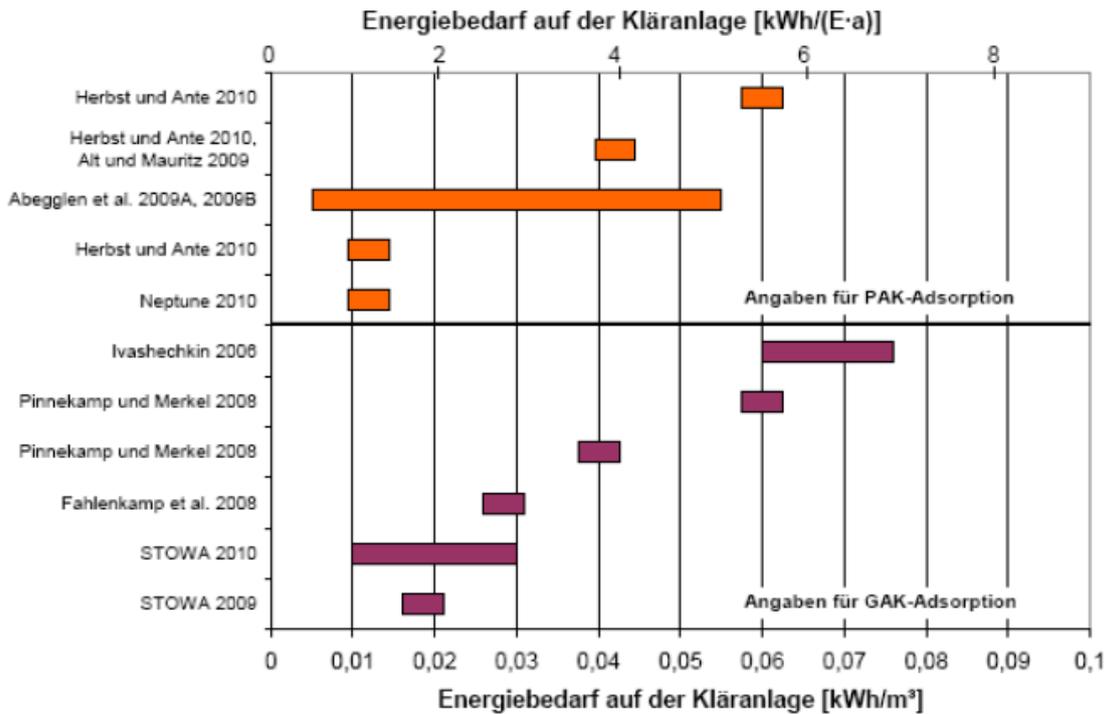


Abbildung 13: Energiebedarf von Adsorptionsverfahren nach verschiedenen Literaturangaben (Bolle et al., 2011)

Abbildung A-6 Strombedarf der Verfahren PAK und GAK in /SWA 1/

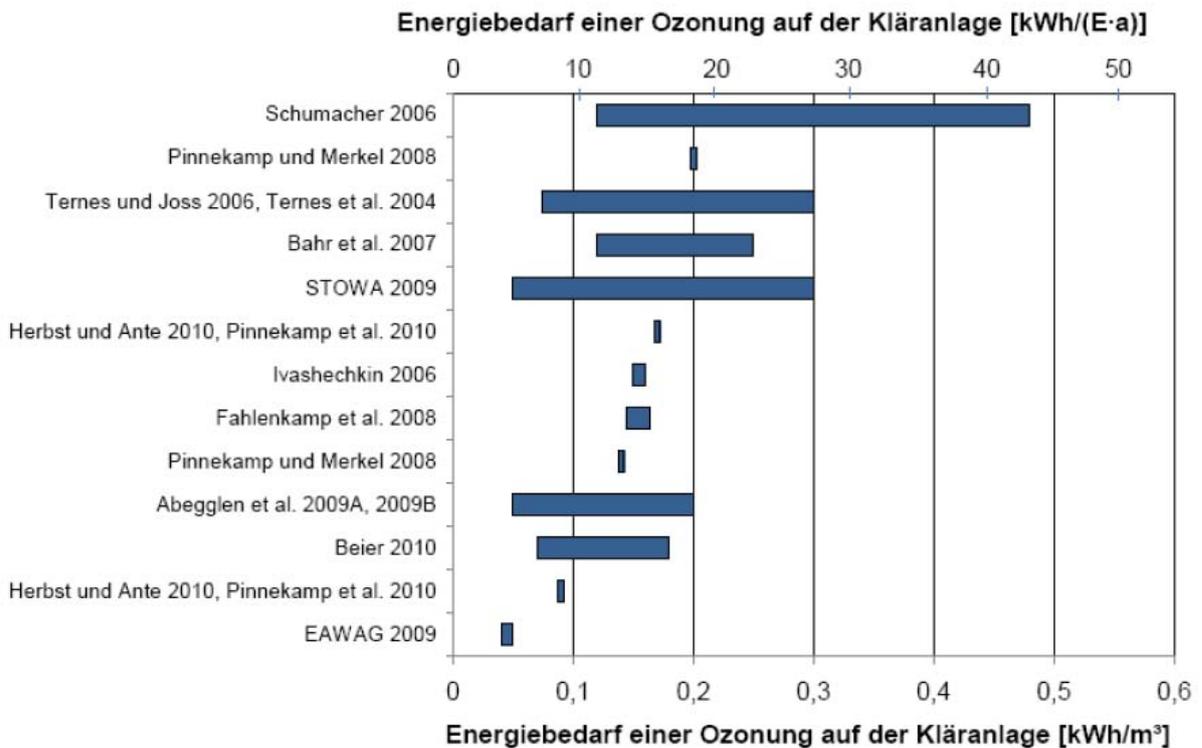


Abbildung A-7 Energiebedarf einer Ozonierung in /SWA 1/

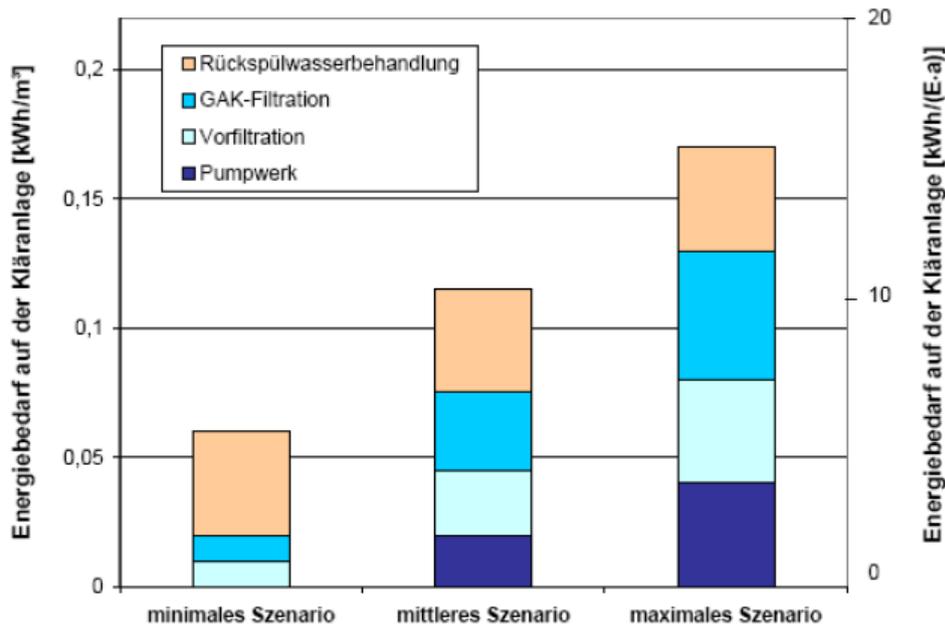


Abbildung A-8 Energiebedarf eines GAK-Filters /Biebersdorf 1/ in /SWA 1/

Tabelle 14: Zusammenstellung der Kosten für eine vierte Reinigungsstufe (Ozonierung) modifiziert nach Pinnekamp & Merkel (2008) und Fahlenkamp et al. (2008)

4. Reinigungsstufe, Ozonierung (KA 90.000 EW)	Pinnekamp (2008)	Fahlenkamp (2008)
1 zusätzlicher Personalaufwand	24.000 €/a	99.000 €/a
2 zusätzlicher Energieaufwand	210.908 €/a	180.280 €/a
3 RHB	100.915 €/a	183.800 €/a
4 Reststoffe	0 €/a	0 €/a
5 Versicherungen	19.992 €/a	7.628 €/a
6 Ersatzteile Maschinentechnik	22.919 €/a	18.000 €/a
7 Ersatzteile EMSR	1.238 €/a	oben enth. €/a
8 externe Personalkosten	9.100 €/a	oben enth. €/a
9 Bautechnik Gesamt	726.050 €	360.000 €
10 Maschinentechnik	642.017 €	203.800 €
11 EMSR	312.185 €	198.800 €
Betriebskosten gesamt (1-8)	389.070 €/a	488.708 €/a
spezifische Betriebskosten €/m³ f. Musterunternehmen	0,05 €/m³	0,08 €/m³
Investitionskosten gesamt	1.680.252,10 €	762.600,00 €
spezifische Investitionskosten	18,80 €/E	7,63 €/E

Tabelle 15: Zusammenstellung der Kosten für eine vierte Reinigungsstufe (PAK + Sandfilter) modifiziert nach Pinnekamp & Merkel (2008) und Fahlenkamp et al. (2008)

4. Reinigungsstufe, Aktivkohlefiltration + Sandfilter (KA 90.000 EW)	Pinnekamp (2008)	Fahlenkamp (2008)
1 zusätzlicher Personalaufwand	30.000 €/a	115.500 €/a
2 zusätzlicher Energieaufwand	194.350 €/a	32.300 €/a
3 RHB	273.312 €/a	397.000 €/a
4 Reststoffe	136.656 €/a	oben enth. €/a
5 Versicherungen	95.890 €/a	44.100 €/a
6 Ersatzteile Maschinentechnik	99.389 €/a	95.850 €/a
7 Ersatzteile EMSR	7.902 €/a	oben enth. €/a
8 externe Personalkosten	14.000 €/a	oben enth. €/a
9 Bautechnik Gesamt	3.282.000 €	2.045.000 €
10 Maschinentechnik	2.784.000 €	1.590.000 €
11 EMSR	1.992.000 €	775.000 €
Betriebskosten gesamt (1-8)	851.499 €/a	684.750 €/a
spezifische Betriebskosten €/m³ f. Musterunternehmen	0,10 €/m³	0,08 €/m³
Investitionskosten gesamt	8.058.000,00 €	4.410.000,00 €
spezifische Investitionskosten	81 €/E	44 €/E

Abbildung A-9 Kosten der Verfahren nach Pinnekamp und Fahlenkamp in /SWA 1/



	GAK / nGAK
Produkt	Hydraffin AR
Korndurchmesser	0,425 - 2,36 mm (8 x 40 mesh)
Schüttdichte	ca. 400 kg/m ³ (Frischkohle) ca. 350 kg/m ³ (eingebaut)
Jodadsorption	> 950 mg/g
Innere Oberfläche (B.E.T.)	1.100 m ² /g

Quelle: /Bornemann 1/

Spurenstoff-Elimination im Filter (GAK)

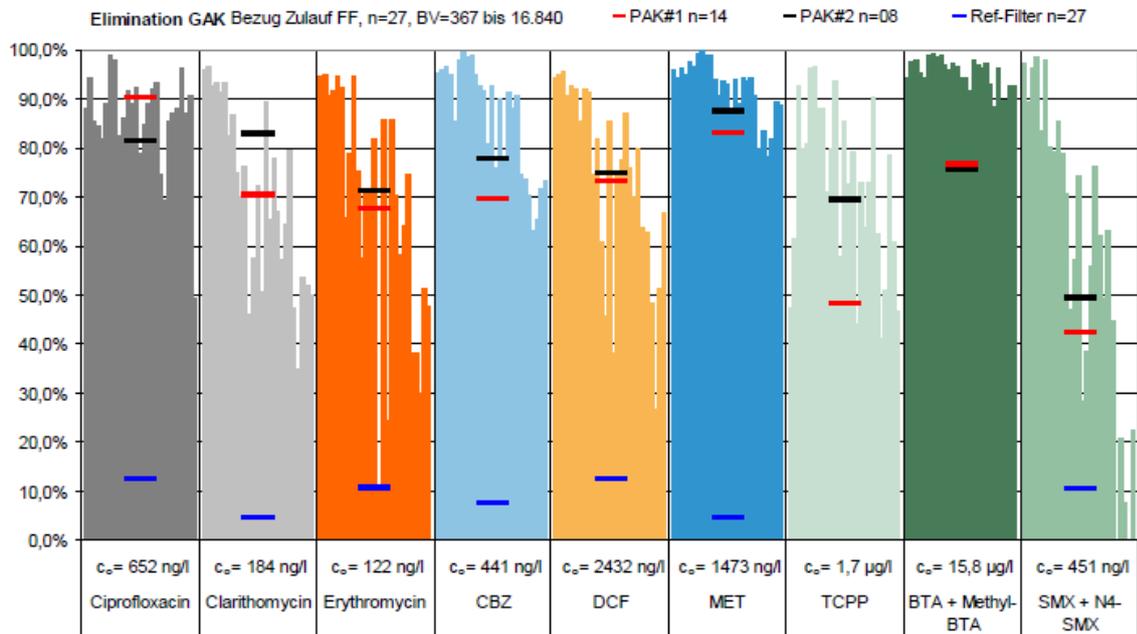
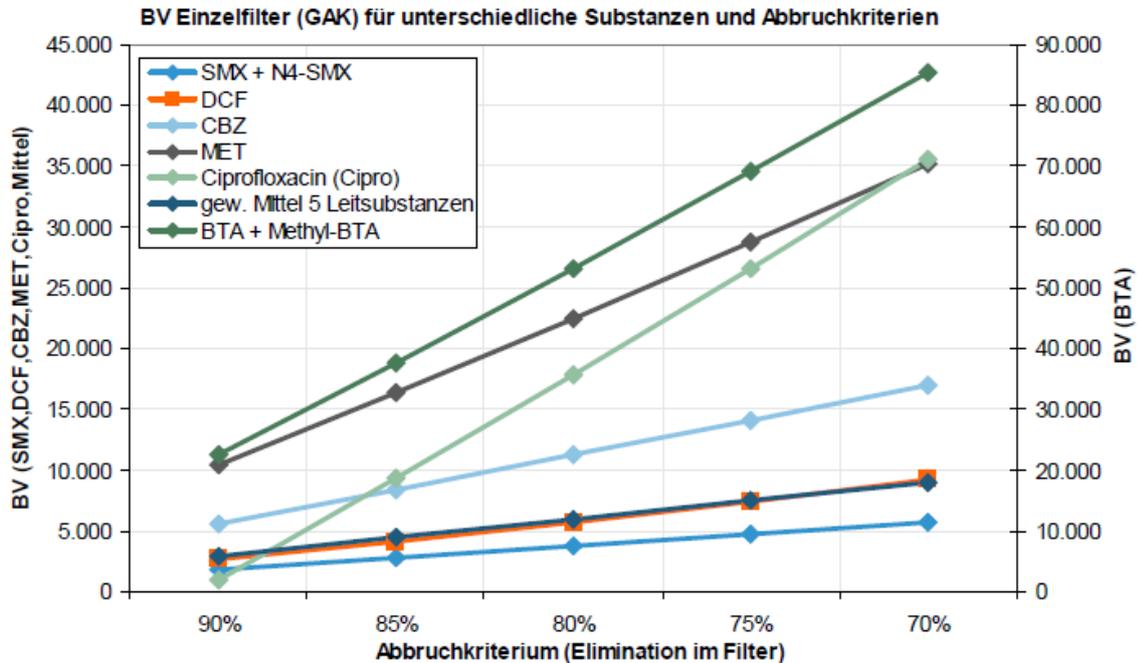


Abbildung A-10

GAK und Eliminationsleistung auf der KA Buchenhofen /Bornemann 1/

Das Abbruchkriterium bestimmt die Filterlaufzeit



Das Abbruchkriterium bestimmt die Kosten

- **spez. Kosten** (brutto Jahreskosten bezogen auf 80% JAM) bei Eliminationen 70-90% für 5 Substanzen

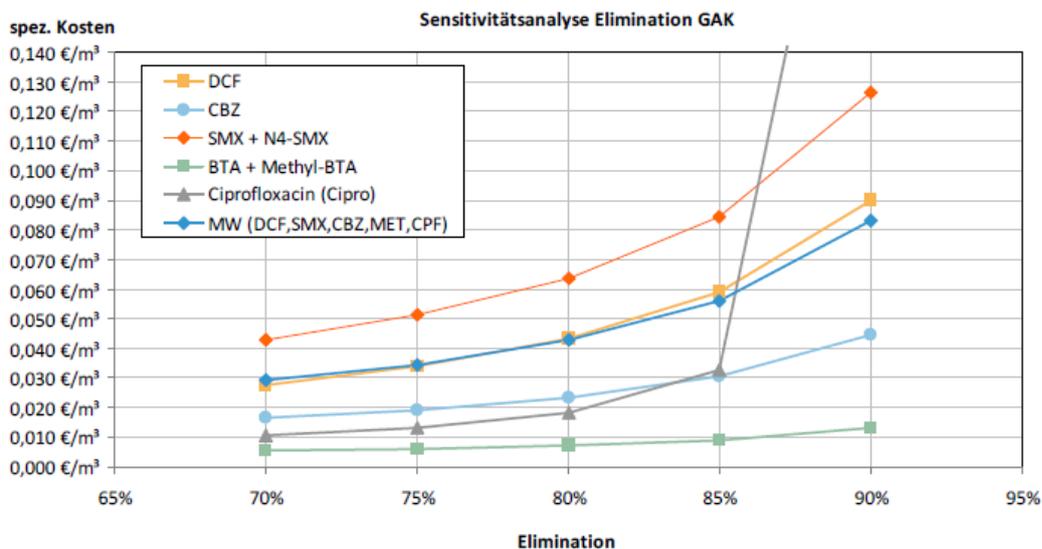
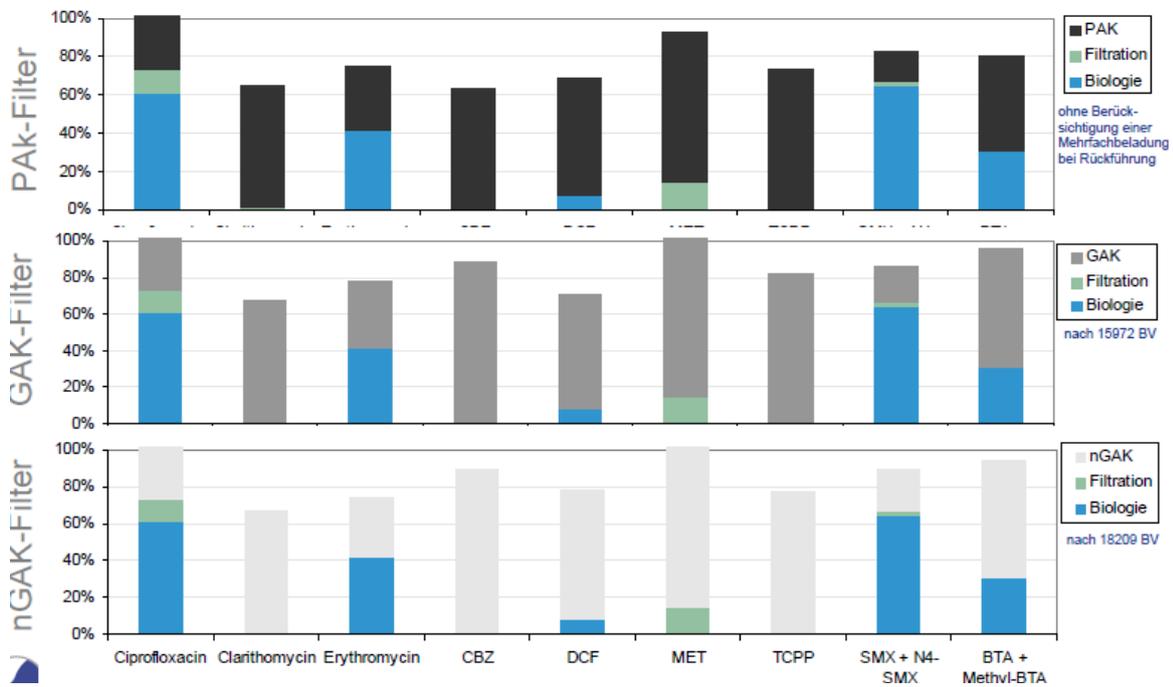


Abbildung A-11

GAK Eliminationsleistung/ Abbruchkriterium bzgl. Bettvolumen und Kosten /Bornemann 1/

Elimination in der Gesamtanlage



Parallelschaltung mehrerer Filter verlängert die Laufzeit

SZ	Kriterium	Substanz	Bettvolumina bei Abbruchkriterium 80%		$f_{parallel}$ Erhöhungsfaktor Parallelbetrieb
			Einzelfilter	14 Filter	
1	80% Elimination im Filter, Einzelsubstanz	DCF	5.700	11.200	1,96
		SMX + N4-SMX	3.900	7.600	1,95
		CBZ	10.493	21.500	2,05
		MET	22.500	42.700	1,90
		BTA + Methyl-BTA	55.000	105.000	1,91
		Ciprofloxacin (Cipro)	17.800	28.400	1,60
		TCPP	4.700	9.600	2,04
2	80% Elimination im Filter, Mittelwert aus 5	Mittelwert (DCF,SMX,CBZ, MET,Cipro)	6.000	11.200	1,87
3	Konzentrations-bezogen	$C_{DCF,ab} < 0,1 \mu\text{g/l}$	1.040	2.044	1,96
4		$C_{CSB,ab} < 20 \text{ mg/l}$			
5	Gesamt-wirkungsgrad KA	$\eta_{GES} = \eta_{BB} + \eta_{AK}$ (Beispiel: DCF)	8.119	15.954	1,96

Abbildung A-12

Eliminationsleistung Anlage sowie Bettvolumen /Bornemann 1/

Zusammenstellung der Investition des jeweiligen Verfahrenskonzeptes

Tabelle A-2 Variante/ Konzept 1a/b SF/ GAK-Filter unter Neubau von vier Kammern

Investition	GAK/Filter abgeschätzt (netto)			je 6 Kammern	
	Einheit	Masse	EP	GP	
Bautechnik			[in €]	[in €]	
Sandfilter 4 Kammern	neu				
Erdaushub	m ³	1620	10,00	16.200,00	
Entsorgung	m ³	1350	35,00	47.250,00	
Verbau	m ²	260	220,00	57.200,00	
Mineralgemisch	m ³	120	40,00	4.800,00	
Stahlbeton	m ³	720	650,00	468.000,00	
Bewehrung	t	150	1.200,00	180.000,00	
Wasserhaltung	psch	1	8.000,00	8.000,00	
Erdung	psch	1	2.500,00	2.500,00	
Betonschnitt	psch	1	9.800,00	9.800,00	
Wandsystem	m ²	215	120,00	25.800,00	
Dachkonstruktion	m ²	225	185,00	41.625,00	
Entleerung/ Reinigung	Stck	8	7.000,00	56.000,00	
Anthrazit neu	m ³	96	300,00	28.800,00	
Quarzsand neu	m ³	288	160,00	46.080,00	
GAK-füllung	m ³	384	1.300,00	499.200,00	
Erdeinbau	m ³	250	12,00	3.000,00	
Oberflächen	m ²	100	6,00	600,00	
Provisorien/ Unwägbarkeiten	psch	1	9.000,00	9.000,00	
Baustelleneinrichtung		1	75.192,75	75.192,75	
Bauabwicklung/Engineering		1	37.596,38	37.596,38	
Summe				1.503.855,00	
Maschinentechnik	SF 8 + 4 Kammern				
Zulaufschieber 500x500 Hand	Stck	12	1.800,00	21.600,00	
Zulaufschieber 500x500 auto	Stck	12	1.800,00	21.600,00	
Spülwasserklappe 200x4000 auto	Stck	12	5.800,00	69.600,00	
Schlammwasserklappe auto	Stck	12	2.600,00	31.200,00	
Spülwasserpumpen	Stck	2	67.000,00	134.000,00	
RS-klappe	Stck	2	2.800,00	5.600,00	
Verrohrung DN 600	m	60	560,00	33.600,00	
Formstücke DN 600	Stck	45	830,00	37.350,00	
Klappe DN 600 auto	Stck	12	2.500,00	30.000,00	
Spülabwasserpumpe	Stck	2	7.500,00	15.000,00	
RS-klappe	Stck	2	1.300,00	2.600,00	

Verrohrung DN 300	m		18	280,00	5.040,00
Formstücke DN 300	Stck		8	460,00	3.680,00
Klappe DN 300	Stck	-			
Hochwasserleitung					
Verrohrung DN 1200	m		10	1.100,00	11.000,00
Formstücken DN 1200	Stck		2	1.600,00	3.200,00
Filtratleitung					
Verrohrung DN 400	m		48	340,00	16.320,00
Formstücke DN 400	Stck		24	580,00	13.920,00
Klappe DN 400 auto	Stck		12	1.800,00	21.600,00
Verrohrung DN 80	m		30	60,00	1.800,00
Formstücke DN 80	Stck		24	62,00	1.488,00
Klappe DN Hand 80	Stck		12	350,00	4.200,00
Auma-Antrieb	Stck		72	2.400,00	172.800,00
Spülluftgebläse	Stck		2	29.000,00	58.000,00
RS-klappe/ Handklappe	Stck		4	1.200,00	4.800,00
Klappe DN 250 auto	Stck		12	950,00	11.400,00
Verrohrung DN 250	m		60	160,00	9.600,00
Formstücke DN 250	Stck		50	300,00	15.000,00
Düsenboden 4x8m	Stck		12	31.500,00	378.000,00
Abbruch	Stck		12	1.800,00	21.600,00
Dosieranlage Fesalz	Stck		1	68.000,00	68.000,00
Dosieranlage PE	Stck		1	50.000,00	50.000,00
Baustelleneinrichtung			1	63.679,90	63.679,90
BauabwicklungEngineering			1	31.839,95	31.839,95
Summe					1.369.117,85
EMSR-technik					
Schaltschrank/ Felder	Stck		32	18.000,00	576.000,00
SPS S7-400 Anbindung PLS	Stck		1	2.500,00	2.500,00
Programmierung	psch		1	14.500,00	14.500,00
Füllstandsmessung	Stck		12	950,00	11.400,00
MIDs DN 400 Ablauf Kamme	Stck		12	2.500,00	30.000,00
Füllstand Spülwasser	Stck		2	950,00	1.900,00
Druckaufnehmer	Stck		6	850,00	5.100,00
Summe					641.400,00

Tabelle A-3 Variante Konzept 1c SF/ GAK-Filter unter Neubau von acht Kammern

Investition	GAK/Filter abgeschätzt (netto)		je 8 Kammern	
	Einheit	Masse	EP	GP
Bautechnik			[in €]	[in €]
Sandfilter 8 Kammern	neu			
Erdaushub	m ³	3100	10,00	31.000,00
Entsorgung	m ³	2500	35,00	87.500,00
Verbau	m ²	520	220,00	114.400,00
Mineralgemisch	m ³	240	40,00	9.600,00
Stahlbeton	m ³	1440	650,00	936.000,00
Bewehrung	t	300	1.200,00	360.000,00
Wasserhaltung	psch	1	12.000,00	12.000,00
Erdung	psch	1	3.000,00	3.000,00
Betonschnitt	psch	1	9.800,00	9.800,00
Wandsystem	m ²	300	120,00	36.000,00
Dachkonstruktion	m ²	450	185,00	83.250,00
Anthrazit neu	m ³	384	300,00	115.200,00
Quarzsand neu	m ³	128	160,00	20.480,00
GAK-Füllung	m ³	512	1.300,00	665.600,00
Entleerung/ Reinigung	Stck	8	3.500,00	28.000,00
Erdeinbau	m ³	500	12,00	6.000,00
Oberflächen	m ²	200	6,00	1.200,00
Provisorien/ Unwägbarkeiten	psch	1	9.000,00	9.000,00
Montageplanung/ Doku etc.		1	7.500,00	7.500,00
Gasspeicher versetzen/ Neubau				
neue Bodenplatte				
Kondensatschacht/ Rohrleitung	psch	1	110.000,00	110.000,00
Baustelleneinrichtung		1	132.276,50	132.276,50
Bauabwicklung/Engineering		1	66.138,25	66.138,25
Summe				2.843.944,75
Maschinentechnik	SF 8 + 8 Kammern			
Zulaufschieber 500x500 Hand	Stck	16	1.800,00	28.800,00
Zulaufschieber 500x500 auto	Stck	16	1.800,00	28.800,00
Spülwasserklappe 200x4000 auto	Stck	16	5.800,00	92.800,00
Schlammwasserklappe auto	Stck	16	2.600,00	41.600,00
Spülwasserpumpen	Stck	2	67.000,00	134.000,00
RS-klappe	Stck	2	2.800,00	5.600,00

Verrohrung DN 600	m	70	560,00	39.200,00
Formstücke DN 600	Stck	54	830,00	44.820,00
Klappe DN 600 auto	Stck	16	2.500,00	40.000,00
Spülabwasserpumpe	Stck	2	7.500,00	15.000,00
RS-klappe	Stck	2	1.300,00	2.600,00
Verrohrung DN 300	m	18	280,00	5.040,00
Formstücke DN 300	Stck	8	460,00	3.680,00
Klappe DN 300	Stck	-		
Hochwasserleitung				
Verrohrung DN 1200	m	10	1.100,00	11.000,00
Formstücken DN 1200	Stck	2	1.600,00	3.200,00
Filtratleitung				
Verrohrung DN 400	m	56	340,00	19.040,00
Formstücke DN 400	Stck	32	580,00	18.560,00
Klappe DN 400 auto	Stck	16	1.800,00	28.800,00
Verrohrung DN 80	m	38	60,00	2.280,00
Formstücke DN 80	Stck	32	62,00	1.984,00
Klappe DN Hand 80	Stck	16	350,00	5.600,00
Auma-Antrieb	Stck	96	2.400,00	230.400,00
Spülluftgebläse	Stck	2	29.000,00	58.000,00
RS-klappe/ Handklappe	Stck	4	1.200,00	4.800,00
Klappe DN 250 auto	Stck	16	950,00	15.200,00
Verrohrung DN 250	m	68	160,00	10.880,00
Formstücke DN 250	Stck	58	300,00	17.400,00
Düsenboden 4x8m	Stck	16	31.500,00	504.000,00
Abbruch	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Dosieranlage Fesalz	Stck	1	68.000,00	68.000,00
Dosieranlage PE	Stck	1	50.000,00	50.000,00
Gasspeicher Neubau	psch	1	390.000,00	390.000,00
V = 800 m ³ bzw. 2 x 400 m ³				
Baustelleneinrichtung		1	96.774,20	96.774,20
BauabwicklungEngineering		1	48.387,10	48.387,10
Summe				2.080.645,30
EMSR-technik				
Schaltschrank/ Felder	Stck	35	18.000,00	630.000,00
SPS S7-400 Anbindung PLS	Stck	1	2.500,00	2.500,00
Programmierung	psch	1	16.000,00	16.000,00
Füllstandsmessung	Stck	16	950,00	15.200,00
MIDs DN 400 Ablauf Kammer	Stck	16	2.500,00	40.000,00
Füllstand Spülwasser	Stck	2	950,00	1.900,00
Druckaufnehmer	Stck	6	850,00	5.100,00
Summe				710.700,00

Tabelle A-4 Variante Konzept 2 GAK-Filter nachgeschaltet als Neubau

Investition	GAK/Filter Einheit	abgeschätzt (netto)		separat
		Masse	EP	GP
			[in €]	[in €]
Bautechnik				
Fundamentplatte 20 x 28 m				
Erdaushub	m ³	450	10,00	4.500,00
Entsorgung	m ³	400	35,00	14.000,00
Mineralgemisch	m ³	280	40,00	11.200,00
Stahlbeton	m ³	170	550,00	93.500,00
Bewehrung	t	25	1.100,00	27.500,00
Hebepumpwerk/ Verrohrung	psch	1	85.000,00	85.000,00
Wasserhaltung	psch	1	2.500,00	2.500,00
Erdung	psch	1	250,00	250,00
Leichtbauhalle	m ³	6000	95,00	570.000,00
Lüftungstechnik etc.	psch	1	85.000,00	85.000,00
GAKFüllung	t	325	1.300,00	422.500,00
Entleerung/ Reinigung	Stck	8	7.000,00	56.000,00
Anthrazit neu	m ³	128	300,00	38.400,00
Quarzsand neu	m ³	384	160,00	61.440,00
Mineralgemisch	m ³	120	40,00	4.800,00
Baustelleneinrichtung		1	73.829,50	73.829,50
BauabwicklungEngineering		1	44.297,70	44.297,70
Summe				1.594.717,20
Maschinentechnik SF-Filter 8 Kammern				
Zulaufschieber 500x500 Hand	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Zulaufschieber 500x500 auto	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Spülwasserklappe 200x4000	Stck	8	5.800,00	46.400,00
Schlammwasserklappe auto	Stck	8	2.600,00	20.800,00
Spülwasserpumpen	Stck	2	67.000,00	134.000,00
RS-klappe	Stck	2	2.800,00	5.600,00
Verrohrung DN 600	m	50	560,00	28.000,00
Formstücke DN 600	Stck	35	830,00	29.050,00
Klappe DN 600 auto	Stck	8	2.500,00	20.000,00
Spülabwasserpumpe	Stck	2	7.500,00	15.000,00
RS-klappe	Stck	2	1.300,00	2.600,00
Verrohrung DN 300	m	12	280,00	3.360,00
Formstücke DN 300	Stck	8	460,00	3.680,00
Klappe DN 300	Stck	-		
Hochwasserleitung				

Verrohrung DN 1200	m	10	1.100,00	11.000,00
Formstücken DN 1200	Stck	2	1.600,00	3.200,00
Filtratleitung				
Verrohrung DN 400	m	40	340,00	13.600,00
Formstücke DN 400	Stck	16	580,00	9.280,00
Klappe DN 400 auto	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Verrohrung DN 80				
Verrohrung DN 80	m	22	60,00	1.320,00
Formstücke DN 80	Stck	16	62,00	992,00
Klappe DN Hand 80	Stck	8	350,00	2.800,00
Auma-Antrieb				
Auma-Antrieb	Stck	48	2.400,00	115.200,00
Spülluftgebläse				
Spülluftgebläse	Stck	2	29.000,00	58.000,00
RS-klappe/ Handklappe	Stck	4	1.200,00	4.800,00
Klappe DN 250 auto	Stck	8	950,00	7.600,00
Verrohrung DN 250	m	42	160,00	6.720,00
Formstücke DN 250	Stck	42	300,00	12.600,00
Düsenboden 4x8m				
Düsenboden 4x8m	Stck	8	31.500,00	252.000,00
Abbruch	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Dosieranlage Fesalz				
Dosieranlage Fesalz	Stck	1	68.000,00	68.000,00
Dosieranlage PE	Stck	1	50.000,00	50.000,00
Schieber/ Verrohrung/ etc.				
Schieber/ Verrohrung/ etc.	Stck	50	2.500,00	125.000,00
Dyna-SandCarboFilter	Stck	50	21.000,00	1.050.000,00
Laufstege etc.	psch	1	125.000,00	125.000,00
Hebepumpen	Stck	4	28.000,00	112.000,00
Verrohrung/ Formteile/ Schi	psch	1	22.000,00	22.000,00
Druckluft	Stck	1	75.000,00	75.000,00
Baustelleneinrichtung				
Baustelleneinrichtung		1	124.610,10	124.610,10
BauabwicklungEngineering				
BauabwicklungEngineering		1	74.766,06	74.766,06
Summe				2.492.202,00
EMSR-technik				
Schaltschrank/ Felder				
Schaltschrank/ Felder	Stck	29	18.000,00	522.000,00
SPS S7-400	Stck	1	2.500,00	2.500,00
Programmierung	psch	1	14.500,00	14.500,00
Füllstandsmessung	Stck	8	950,00	7.600,00
MIDs DN 400 Ablauf Kammer	Stck	8	2.500,00	20.000,00
Füllstand Spülwasser	Stck	2	950,00	1.900,00
Druckaufnehmer	Stck	6	850,00	5.100,00
Schaltanlage EMSR GAK				
Schaltanlage EMSR GAK	Stck	1	295.000,00	295.000,00
Hebepumpen/ Drucksensoren				
Summe				868.600,00

Tabelle A-5 Variante Konzept 3 SF/ PAK-Filter mit Neubau von vier Kammern

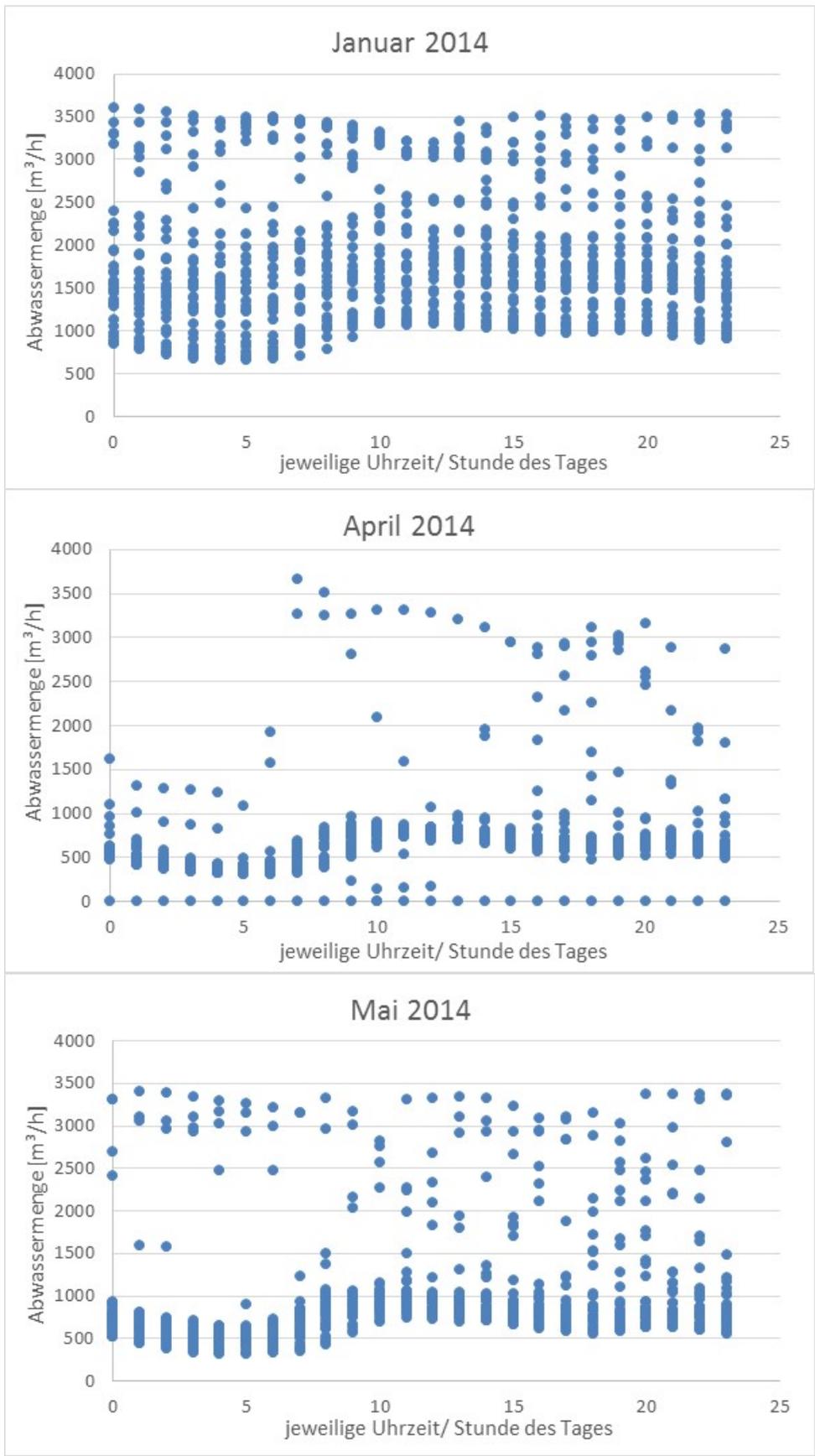
Investition	PAK/Filter	abgeschätzt (netto)			
		Einheit	Masse	EP	GP
Bautechnik				[in €]	[in €]
Fundamentplatte 8 x 8 m + Unterbau					
Erdaushub	m ³	64	10,00	640,00	
Entsorgung	m ³	64	35,00	2.240,00	
Verbau	m ²		220,00	0,00	
Mineralgemisch	m ³	30	40,00	1.200,00	
Stahlbeton Platte	m ³	25	550,00	13.750,00	
Bewehrung Platte	t	4	1.100,00	4.400,00	
Stahlbeton Unterbau	m ³	30	650,00	19.500,00	
Bewehrung Unterbau	t	5	1.200,00	6.000,00	
PAKErstfüllung	t	65	1.512,00	98.280,00	
Wasserhaltung	psch	1	800,00	800,00	
Erdung	psch	1	250,00	250,00	
Hebepumpwerk	psch	1	4.000,00	4.000,00	
Kernbohrung/ Ringraum	Stck	1	250,00	250,00	
Kontaktbecken	m ³	~ 400 m ³			
Erdaushub	m ³	950	10,00	9.500,00	
Entsorgung	m ³	450	35,00	15.750,00	
Verbau	m ²	360	220,00	79.200,00	
Mineralgemisch	m ³	50	40,00	2.000,00	
Stahlbeton	m ³	220	650,00	143.000,00	
Bewehrung	t	40	1.200,00	48.000,00	
Verteilerbauwerk	psch	1	25.000,00	25.000,00	
Wasserhaltung	psch	1	8.000,00	8.000,00	
Erdung	psch	1	1.800,00	1.800,00	
Sandfilter 4 Kammern	neu				
Erdaushub	m ³	1620	10,00	16.200,00	
Entsorgung	m ³	1350	35,00	47.250,00	
Verbau	m ²	260	220,00	57.200,00	
Mineralgemisch	m ³	120	40,00	4.800,00	
Stahlbeton	m ³	720	650,00	468.000,00	
Bewehrung	t	150	1.100,00	165.000,00	
Wasserhaltung	psch	1	8.000,00	8.000,00	
Erdung	psch	1	2.500,00	2.500,00	
Betonschnitt	psch	1	9.800,00	9.800,00	
Wandsystem	m ²	215	120,00	25.800,00	
Dachkonstruktion	m ²	225	185,00	41.625,00	
Entleerung/ Reinigung	Stck	8	7.000,00	56.000,00	
Anthrazit neu	m ³	192	300,00	57.600,00	
Quarzsand neu	m ³	576	160,00	92.160,00	
Erdeinbau	m ³	250	12,00	3.000,00	
Oberflächen	m ²	100	6,00	600,00	
Provisorien/ Unwägbarkeit	psch	1	9.000,00	9.000,00	
Baustelleneinrichtung		1	77.404,75	77.404,75	
BauabwicklungEngineering		1	38.702,38	38.702,38	
Summe				1.664.202,13	
Maschinentechnik	SF 8 + 4 Kammern				
Zulaufschieber 500x500 Hand	Stck	12	1.800,00	21.600,00	
Zulaufschieber 500x500 auto	Stck	12	1.800,00	21.600,00	
Spülwasserklappe 200x4000	Stck	12	5.800,00	69.600,00	
Schlammwasserklappe auto	Stck	12	2.600,00	31.200,00	
Spülwasserpumpen	Stck	2	67.000,00	134.000,00	
RS-Klappe	Stck	2	2.800,00	5.600,00	
Verrohrung DN 600	m	60	560,00	33.600,00	
Formstücke DN 600	Stck	45	830,00	37.350,00	
Klappe DN 600 auto	Stck	12	2.500,00	30.000,00	

Spülabwasserpumpe	Stck	2	7.500,00	15.000,00
RS-klappe	Stck	2	1.300,00	2.600,00
Verrohrung DN 300	m	18	280,00	5.040,00
Formstücke DN 300	Stck	8	460,00	3.680,00
Klappe DN 300	Stck	-		
Hochwasserleitung				
Verrohrung DN 1200	m	10	1.100,00	11.000,00
Formstücken DN 1200	Stck	2	1.600,00	3.200,00
Filtratleitung				
Verrohrung DN 400	m	48	340,00	16.320,00
Formstücke DN 400	Stck	24	580,00	13.920,00
Klappe DN 400 auto	Stck	12	1.800,00	21.600,00
Verrohrung DN 80	m	30	60,00	1.800,00
Formstücke DN 80	Stck	24	62,00	1.488,00
Klappe DN Hand 80	Stck	12	350,00	4.200,00
Auma-Antrieb	Stck	72	2.400,00	172.800,00
Spülluftgebläse	Stck	2	29.000,00	58.000,00
RS-klappe/ Handklappe	Stck	4	1.200,00	4.800,00
Klappe DN 250 auto	Stck	12	950,00	11.400,00
Verrohrung DN 250	m	60	160,00	9.600,00
Formstücke DN 250	Stck	50	300,00	15.000,00
Düsenboden 4x8m	Stck	12	31.500,00	378.000,00
Abbruch	Stck	12	1.800,00	21.600,00
Dosieranlage Fesalz	Stck	1	68.000,00	68.000,00
Dosieranlage PE	Stck	1	50.000,00	50.000,00
Rührwerke	Stck	12	7.500,00	90.000,00
PAK-Anlage (Silo 150 m ³ / Dosiereinr. etc.)	Stck	1	395.000,00	395.000,00
Hebepumpwerk	psch	1	2.500,00	2.500,00
Rohrleitung DN 80	m	120	45,00	5.400,00
Formteile	Stck	8	125,00	1.000,00
MID	Stck	1	1.200,00	1.200,00
Schieber	Stck	3	225,00	675,00
Auma-Antrieb	Stck	1	1.400,00	1.400,00
Baustelleneinrichtung		1	87.929,90	87.929,90
BauabwicklungEngineering		1	43.964,95	43.964,95
Summe				1.902.667,85
EMSR-technik				
Schaltschrank/ Felder	Stck	32	18.000,00	576.000,00
SPS S7-400	Stck	1	2.500,00	2.500,00
Programmierung	psch	1	14.500,00	14.500,00
Füllstandsmessung	Stck	12	950,00	11.400,00
MIDs DN 400 Ablauf Kammer	Stck	12	2.500,00	30.000,00
Füllstand Spülwasser	Stck	2	950,00	1.900,00
Druckaufnehmer	Stck	6	850,00	5.100,00
EMSR-Schaltanlage PAK	Stck	1	175.000,00	175.000,00
Summe				816.400,00

Tabelle A-6 Variante Konzept 4 Ozonierung und Nachbehandlung im SF

Investition	Ozonung Einheit	abgeschätzt (netto)		
		Masse	EP	GP
			[in €]	[in €]
Bautechnik				
Erdaushub	m ³	1500	10,00	15.000,00
Entsorgung	m ³	1000	35,00	35.000,00
Verbau	m ²	550	220,00	121.000,00
Mineralgemisch	m ³	80	40,00	3.200,00
Stahlbeton	m ³	600	650,00	390.000,00
Bewehrung	t	100	1.200,00	120.000,00
Verteilerbauwerk	psch	1	30.000,00	30.000,00
Wasserhaltung	psch	1	8.000,00	8.000,00
Erdung	psch	1	2.500,00	2.500,00
Entleerung/ Reinigung	Stck	8	7.000,00	56.000,00
Anthrazit neu	m ³	128	300,00	38.400,00
Quarzsand neu	m ³	384	160,00	61.440,00
Maschinenhaus Ozon	psch	1	75.000,00	75.000,00
Rohrleitung	m	8	950,00	7.600,00
Formteile		4	1.600,00	6.400,00
MID	Stck	2	2.800,00	5.600,00
Schieber/ Schütz	Stck	2	4.800,00	9.600,00
Auma-Antrieb	Stck	2	2.400,00	4.800,00
Kernbohrung/ Ringraur	Stck	2	2.200,00	4.400,00
Edelstahleinbauten alternativ Beton	Stck	6	18.000,00	108.000,00
Erdeinbau	m ³	500	12,00	6.000,00
Oberflächen	m ²	150	6,00	900,00
Provisorien/ Unwägbar	psch	1	9.000,00	9.000,00
Baustelleneinrichtung		1	55.892,00	55.892,00
Bauabwicklung Engineering		1	27.946,00	27.946,00
Summe				1.117.840,00
Maschinentechnik	SF-Filter 8 Kammern			
Zulaufschieber 500x500	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Zulaufschieber 500x500	Stck	8	1.800,00	14.400,00
Spülwasserklappe 200x	Stck	8	5.800,00	46.400,00
Schlammwasserklappe	Stck	8	2.600,00	20.800,00
Spülwasserpumpen	Stck	2	67.000,00	134.000,00
RS-klappe	Stck	2	2.800,00	5.600,00
Verrohrung DN 600	m	50	560,00	28.000,00
Formstücke DN 600	Stck	35	830,00	29.050,00
Klappe DN 600 auto	Stck	8	2.500,00	20.000,00
Spülabwasserpumpe	Stck	2	7.500,00	15.000,00
RS-klappe	Stck	2	1.300,00	2.600,00
Verrohrung DN 300	m	12	280,00	3.360,00
Formstücke DN 300	Stck	8	460,00	3.680,00
Klappe DN 300	Stck	-		
Hochwasserleitung				
Verrohrung DN 1200	m	10	1.100,00	11.000,00
Formstücken DN 1200	Stck	2	1.600,00	3.200,00

Filtratleitung					
Verrohrung DN 400	m		40	340,00	13.600,00
Formstücke DN 400	Stck		16	580,00	9.280,00
Klappe DN 400 auto	Stck		8	1.800,00	14.400,00
Verrohrung DN 80	m		22	60,00	1.320,00
Formstücke DN 80	Stck		16	62,00	992,00
Klappe DN Hand 80	Stck		8	350,00	2.800,00
Auma-Antrieb	Stck		48	2.400,00	115.200,00
Spülluftgebläse	Stck		2	29.000,00	58.000,00
RS-Klappe/ Handklappe	Stck		4	1.200,00	4.800,00
Klappe DN 250 auto	Stck		8	950,00	7.600,00
Verrohrung DN 250	m		42	160,00	6.720,00
Formstücke DN 250	Stck		42	300,00	12.600,00
Düsenboden 4x8m	Stck		8	31.500,00	252.000,00
Abbruch	Stck		8	1.800,00	14.400,00
Dosieranlage Fesalz	Stck		1	68.000,00	68.000,00
Dosieranlage PE	Stck		1	50.000,00	50.000,00
Baustelleneinrichtung			1	49.160,10	49.160,10
Bauabwicklung Engineering			1	24.580,05	24.580,05
Ozonanlage					
Reinsauerstofftank	Stck		1	idR gemietet	
Ozongenerator	Stck		2		
inkl. Kühlung/ WT					
Ozonvernichter	Stck		2		
Verrohrung intern	m	psch			
Diffusoren	Stck	in zwei Becken			
	komplett	(Richtpreisangebot)			586.000,00
Summe					1.642.942,15
EMSR-technik	SF-Filter 8 Kammern				
Schaltschrank/ Felder	Stck		29	18.000,00	522.000,00
SPS S7-400	Stck		1	2.500,00	2.500,00
Programmierung	psch		1	14.500,00	14.500,00
Füllstandsmessung	Stck		8	950,00	7.600,00
MIDs DN 400 Ablauf Ka	Stck		8	2.500,00	20.000,00
Füllstand Spülwasser	Stck		2	950,00	1.900,00
Druckaufnehmer	Stck		6	850,00	5.100,00
Schaltanlage Ozonung	Stck		4	18.000,00	72.000,00
SPS S7-400	Stck		1	2.500,00	2.500,00
CODmessung	Stck		1	28.000,00	28.000,00
SAK-Messung	Stck		2	20.500,00	41.000,00
MID	Stck		2	5.500,00	11.000,00
Schieber DN 1000 mit A	Stck		2	9.500,00	19.000,00
Programmierung	psch		1	6.500,00	6.500,00
Füllstandsmessung	Stck		2	950,00	1.900,00
Summe					755.500,00



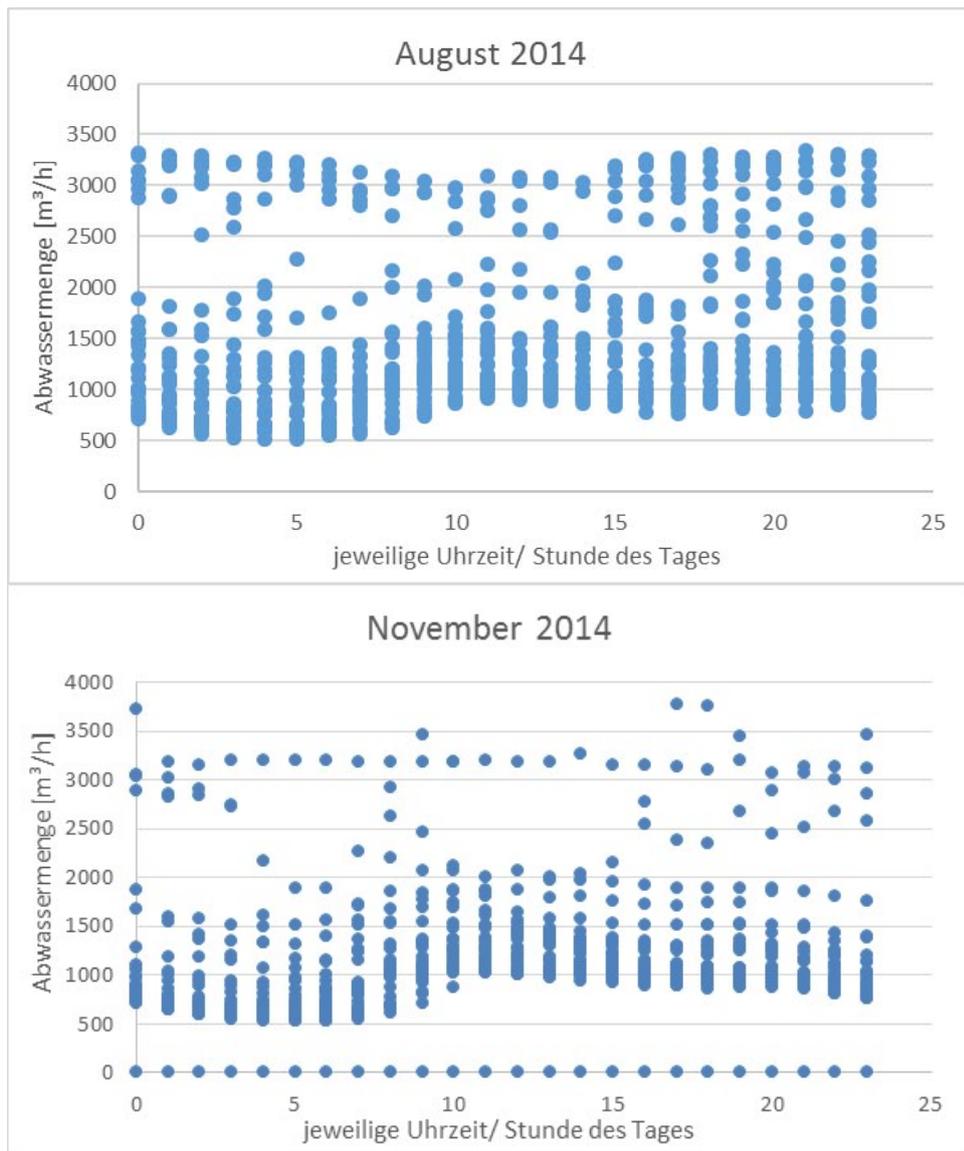
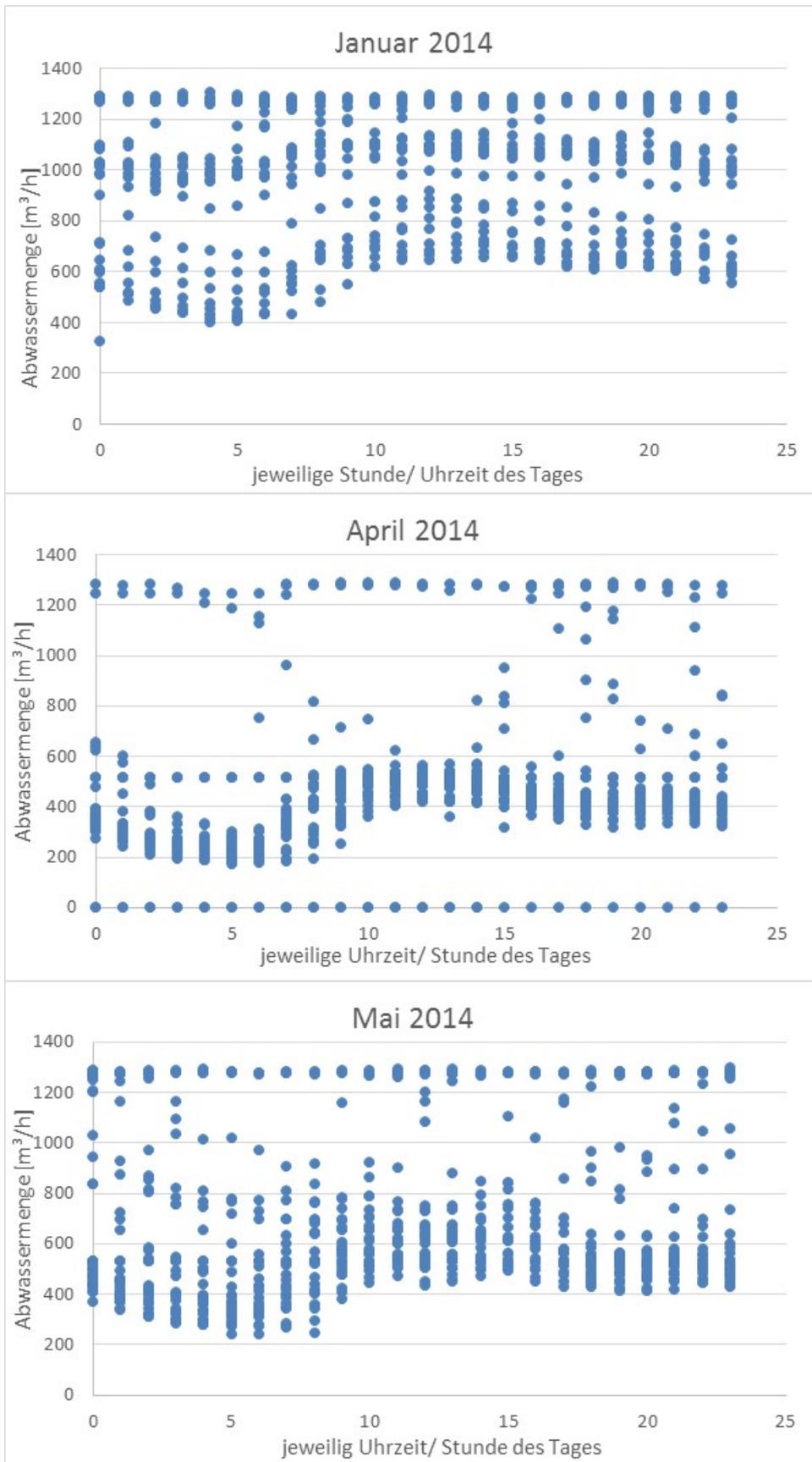


Abbildung A-13

Stündliche Abwassermengen der Kläranlage Siegen



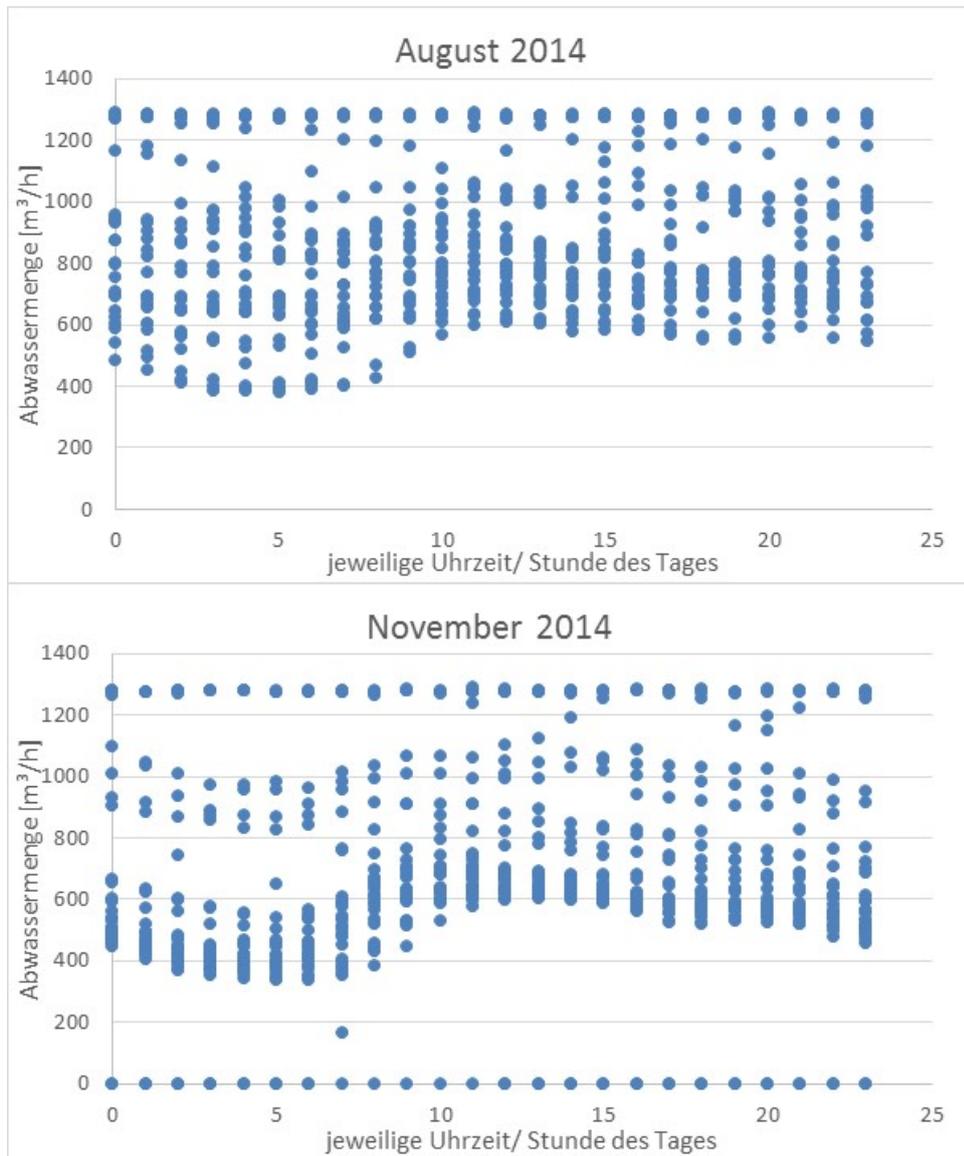


Abbildung A-14

Stündliche Abwassermengen der Kläranlage Siegen-Weidenau

Verfahren	Standort	Studie/geplant	Versuchsanlagen (Halbtechnischer Maßstab)	Pilotanlagen (Großtechnischer Maßstab)
NRW				
O ₃	Duisburg Vierlinden			x
O ₃	Bad Sassendorf			x
O ₃ +PAK	Schwerte			x
PAK	Wuppertal- Buchenhofen			x
GAK	Obere Lutter		x	x
GAK/PAK	Neuss-Ost	x		
GAK	Düren-Merken			x
GAK/PAK	Lage	x		
UV	Kalterherberg			x
UV	Rosenthal			x
UV/O ₃ /H ₂ O ₂	Essen-Süd	x		
Baden-Württemberg				
PAK	Steinhäule Ulm			x
PAK	Mannheim			x
PAK	Böblingen Sindelfin- gen			x
PAK	Kressbronn- Langenargen			x
PAK	Stockacher Ach			x
PAK	Espasingen			x
PAK	Ravensburg			x
PAK	Albstadt-Ebingen			x
PAK	Lautlingen			x
PAK	Hechingen			x
PAK	Lahr	x		
PAK	Karlsruhe	x		
PAK	Stuttgart	x		
Schweiz				
O ₃	Regensdorf			x
PAK	Kloten-Opfikon		x	
PAK/O ₃	Untersee	x		
PAK/O ₃	Aadorf	x		
PAK/O ₃	Furt	x		
PAK/O ₃	Au	x		
PAK/O ₃	Luzern	x		
PAK/O ₃	Werdhölzli	x		
O ₃	Lausanne			x
O ₃	Dübendorf	x		
Sonstige				
UV	Wolfertshausen			x
UV	Starnberg			x

Abbildung A-15

Auflistung der Projekte und realisierter Anlagen /Mertsch 1/

Umweltanalytisches Laboratorium des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft -
RWTH Aachen - Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

DIENSTGEBÄUDE

Umweltanalytisches Laboratorium,
Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

Ingenieurbüro Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15

51580 Reichshof-Odenspiel

AUSKUNFT ERTEILT

Herr Reiner Gschwendtner/Dr. Linnemann

Telefon +49(0)241-80 25197

Fax: +49(0)241-80 92500

E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de

DATUM	MEIN ZEICHEN	IHR ZEICHEN
25.11.15	RGs/Lin	

Analysenbericht

Seite 1 von 5

Probenummer (ISA)		2015-03493	2015-03494	2015-03495
Herkunft		Ablauf	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb
Art der Probe		KA Siegen	KA Siegen	KA Siegen
Datum		24h-	Stichprobe	Stichprobe
Uhrzeit		Mischprobe		
		28.-29.10.15	29.10.15	29.10.15
		08:00-08:00	12:40	13:00
Carbamazepin	ng/l	2520	289	369
Clarithromycin	ng/l	356	41,6	71,3
Diclofenac	ng/l	3710	523	941
Ibuprofen	ng/l	368	35	77,5
Metoprolol	ng/l	2370	447	624
Ritalinsäure	ng/l	<10	<10	<10
Sotalol	ng/l	210	44,3	57,3
Sulfamethoxazol	ng/l	1220	202	243
Benzotriazol	ng/l	9610	3850	4830
Amidotrizoesäure	ng/l	17700	305	2020
Iopamidol	ng/l	41600	4290	8610
17-a-Ethinylestradiol	ng/l	<10	<10	<10
17-b-Estradiol	ng/l	<10	<10	<10
Bisphenol-A	ng/l	685	58,4	32,6
Benzo(ghi)perylen	µg/l	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Pyren	µg/l	0,00366	< 0,002	< 0,002
Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP)	ng/l	1180	178	295
Glyphosat	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1
AMPA	µg/l	1,2	2,6	2,8
Mecoprop	ng/l	80	<10	15,5

Umweltanalytisches Laboratorium des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft -
RWTH Aachen - Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

DIENSTGEBÄUDE

Umweltanalytisches Laboratorium,
Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

Ingenieurbüro Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15

51580 Reichshof-Odenspiel

AUSKUNFT ERTEILT

Herr Reiner Gschwendtner/Dr. Linnemann

Telefon +49(0)241-80 25197

Fax: +49(0)241-80 92500

E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de

DATUM	MEIN ZEICHEN	IHR ZEICHEN
25.11.15	RGs/Lin	

Analysenbericht

Seite 2 von 5

Probenummer (ISA)	2015-03493	2015-03494	2015-03495
Herkunft	Ablauf KA Siegen	Sieg oberhalb KA Siegen	Sieg unterhalb KA Siegen
Art der Probe	24h- Mischprobe	Stichprobe	Stichprobe
Datum	28.-29.10.15	29.10.15	29.10.15
Uhrzeit	08:00-08:00	12:40	13:00
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	µg/l 0,031	< 0,015	< 0,015
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	µg/l < 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l 0,015	< 0,010	< 0,010
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l 0,013	< 0,010	< 0,010
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l < 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	µg/l < 0,015	< 0,015	< 0,015
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l 0,019	< 0,010	< 0,010
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l < 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluorononansäure (PFNoA)	µg/l < 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l < 0,010	< 0,010	< 0,010
Summe PFOA/PFOS	µg/l 0,015	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾
Summe 10 PFT (LANUV NRW)	µg/l 0,078	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	µg/l 20,1	2,7	2,8
Dissolved Organic Carbon (DOC)	mg/l 10,2	5,10	5,67
Bromid (Br ⁻)	mg/l < 0,1	< 0,1	< 0,1

Anmerkung:

¹⁾ n.b.: Nicht berechenbar, da zur Summenbestimmung nur Werte > BG verwendet werden

Umweltanalytisches Laboratorium des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft -
RWTH Aachen - Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

DIENSTGEBÄUDE

Umweltanalytisches Laboratorium,
Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

Ingenieurbüro Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15

51580 Reichshof-Odenspiel

AUSKUNFT ERTEILT

Herr Reiner Gschwendtner/Dr. Linnemann

Telefon +49(0)241-80 25197

Fax: +49(0)241-80 92500

E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de

DATUM	MEIN ZEICHEN	IHR ZEICHEN
25.11.15	RGs/Lin	

Analysenbericht

Seite 3 von 5

Probennummer (ISA)	2015-03496	2015-03497	2015-03498
Herkunft	Ablauf KA Siegen	Sieg oberhalb KA Siegen	Sieg unterhalb KA Siegen
Art der Probe	24h- Mischprobe	Stichprobe	Stichprobe
Datum	03.-04.11.15	03.11.15	03.11.15
Uhrzeit	08:00-08:00	10:25	10:35
Carbamazepin	ng/l 2290	270	456
Clarithromycin	ng/l 254	33,6	57,2
Diclofenac	ng/l 3550	754	1110
Ibuprofen	ng/l 500	37,7	119
Metoprolol	ng/l 2180	550	760
Ritalinsäure	ng/l <10	<10	<10
Sotalol	ng/l 190	50,4	65
Sulfamethoxazol	ng/l 1360	137	232
Benzotriazol	ng/l 9840	3260	4190
Amidotrizoensäure	ng/l 18500	366	2680
Iopamidol	ng/l 28300	3220	5940
17-a-Ethinylestradiol	ng/l <10	<10	<10
17-b-Estradiol	ng/l <10	<10	<10
Bisphenol-A	ng/l 68,8	41,2	47,0
Benzo(ghi)perylen	µg/l < 0,002	< 0,002	< 0,002
Pyren	µg/l 0,00351	< 0,002	< 0,002
Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP)	ng/l 1560	270	291
Glyphosat	µg/l < 0,1	< 0,1	< 0,1
AMPA	µg/l 1,7	2,8	< 0,1
Mecoprop	ng/l 57,2	<10	17

Umweltanalytisches Laboratorium des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft -
RWTH Aachen - Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

DIENSTGEBÄUDE

Umweltanalytisches Laboratorium,
Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

Ingenieurbüro Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15

51580 Reichshof-Odenspiel

AUSKUNFT ERTEILT

Herr Reiner Gschwendtner/Dr. Linnemann

Telefon +49(0)241-80 25197

Fax: +49(0)241-80 92500

E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de

DATUM	MEIN ZEICHEN	IHR ZEICHEN
25.11.15	RGs/Lin	

Analysenbericht

Seite 4 von 5

Probennummer (ISA)		2015-03496	2015-03497	2015-03498
Herkunft		Ablauf	Sieg oberhalb	Sieg unterhalb
Art der Probe		KA Siegen	KA Siegen	KA Siegen
Datum		24h-	Stichprobe	Stichprobe
Uhrzeit		Mischprobe		
		03.-04.11.15	03.11.15	03.11.15
		08:00-08:00	10:25	10:35
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	µg/l	0,037	< 0,015	< 0,015
Perfluoroctansulfonsäure (PFOS)	µg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluoroctansäure (PFOA)	µg/l	0,016	< 0,010	< 0,010
Perfluorbutansäure (PFBA)	µg/l	0,012	< 0,010	< 0,010
Perfluorpentansäure (PFPeA)	µg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	µg/l	< 0,015	< 0,015	< 0,015
Perfluorhexansäure (PFHxA)	µg/l	0,021	< 0,010	< 0,010
Perfluorheptansäure (PFHpA)	µg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluorononansäure (PFNoA)	µg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Perfluordecansäure (PFDeA)	µg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Summe PFOA/PFOS	µg/l	0,016	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾
Summe 10 PFT (LANUV NRW)	µg/l	0,086	n.b. ¹⁾	n.b. ¹⁾
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	µg/l	63,5	1,4	1,6
Dissolved Organic Carbon (DOC)	mg/l	8,40	2,89	3,55
Bromid (Br ⁻)	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Anmerkung:

¹⁾ n.b.: Nicht berechenbar, da zur Summenbestimmung nur Werte > BG verwendet werden

Umweltanalytisches Laboratorium des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft -
RWTH Aachen - Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

DIENSTGEBÄUDE

Umweltanalytisches Laboratorium,
Krefelder Str. 299, D-52070 Aachen

Ingenieurbüro Klapp + Müller GmbH
Rehwinkel 15

51580 Reichshof-Odenspiel

AUSKUNFT ERTEILT

Herr Reiner Gschwendtner/Dr. Linnemann

Telefon +49(0)241-80 25197

Fax: +49(0)241-80 92500

E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de

DATUM	MEIN ZEICHEN	IHR ZEICHEN
25.11.15	RGs/Lin	

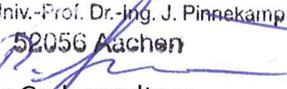
Analyseverfahren

Seite 5 von 5

Parameter	Bestimmungs- grenze	Methode
Pharmaka	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
Benzotriazol	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
EDC	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
Röntgenkontrastmittel	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
PAK	2 ng/l	DIN 38407, Teil 39
Tris(2-chlorisopropyl)phosphat (TCPP)	10 ng/l	GC/MS-Hausmethode ISA-Labor
Terbutryn	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
Mecoprop	10 ng/l	LC/MS-Hausmethode ISA-Labor
PFT ²⁾	0,01 µg/l	DIN 38407-F42
Glyphosat/AMPA ²⁾	0,1 µg/l	DIN ISO 16308
EDTA	0,5 µg/l	DIN EN ISO 16588 (modifiziert)
DOC	1 mg/l	DIN EN 1484
Bromid	0,1 mg/l	DIN EN 10304-1

Anmerkungen:

²⁾ Bestimmung durch EUROFINS Umwelt West GmbH

Institut
für Siedlungswasserwirtschaft
Aachen, Germany
Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen
Direktor Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
52056 Aachen
i. A. 
Reiner Gschwendtner

Probenahmebericht Projekt Sieg – KA Siegen

RWTH Aachen University
Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)
Umweltanalytisches Laboratorium
Krefelder Str. 299
52070 Aachen
Phone : (+49) (0)241 / 80 25197
FAX : (+49) (0)241 / 80 92500
E-Mail: labor@isa.rwth-aachen.de
WWW: <http://www.isa.rwth-aachen.de>

Jürgen Schöllhorn, R. Gschwendtner, Volker Linnemann
16.11.2015

Kurzbericht:

Das Monitoringprogramm an der KA Siegen wurde im Rahmen einer abgestimmten Probenahmekampagne an der Sieg (KA Netphen, Kreuztal und Siegen) im Zeitraum 29.10.-4.11.2015 durchgeführt (Abb. 1). Die Vorort-Parameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur und organoleptische Bestimmungen) sind in Tab. 2 dargestellt.

Am 29.10.15 und 04.11.15 wurde das Oberflächenfließgewässer „Sieg“ gem. DIN 38402 15 oberhalb und unterhalb der Kläranlage Siegen mit einem Teleskopschöpfer mit Becherglas beprobt (Abb.2). Die korrespondierenden Abwasserproben im Ablauf der Kläranlage Siegen (24h-Mischproben, mengenproportional) wurden vom 28.10. - 29.10.2015 und vom 03.11. - 04.11.2015 mit automatischen Probenehmer des Umweltanalytischen Laboratoriums entnommen (Tab. 1). Nach der Probenahme wurden die Proben vor Ort homogenisiert und gekühlt in 5L Glasflaschen ins Umweltanalytische Laboratorium transportiert.

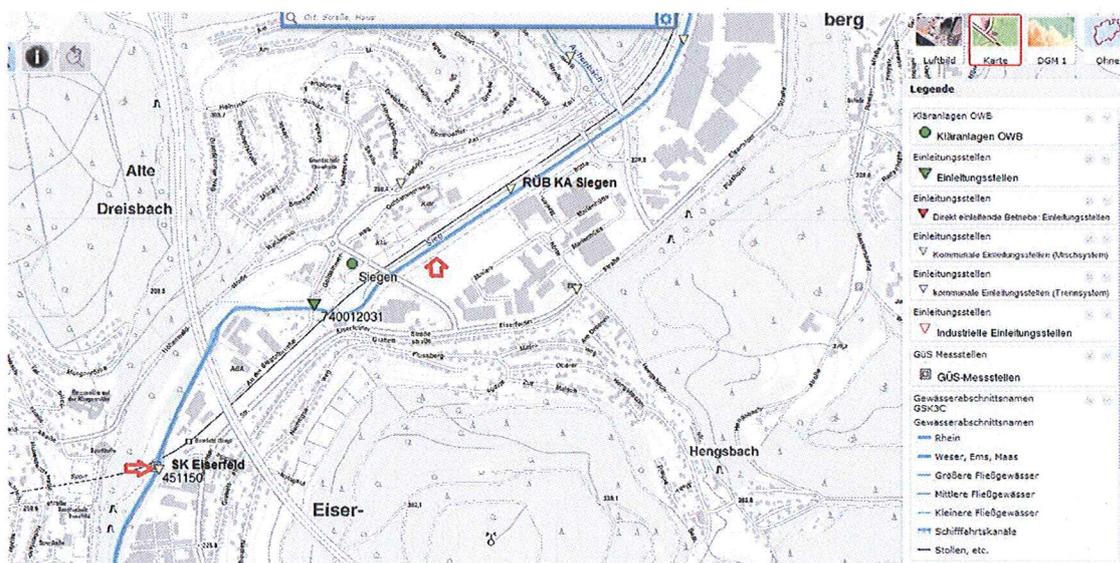


Abbildung 2: Lage der Probenahmestellen an der Sieg und KA Siegen (<http://www.elwasweb.nrw.de/elwasweb/index.jsf>)

Tabelle 1: Probennummern und Probenahmedetails zur Kläranlagenbeprobung

Probenahme Ablauf	
1. Probenahme (2015-03493) Datum / Uhrzeit von bis	28.10. 8 Uhr bis 29.10. 8 Uhr
2. Probenahme (2015-03496) Datum / Uhrzeit von bis	03.11. 8 Uhr bis 04.11. 8 Uhr

Tabelle 2: Probennummern und Probenahmedetails zur Gewässerprobenahme an der Sieg

Ergebnisse Gewässerbeprobung oh KA, Vor-Ort-Parameter: (vgl Anhang):

Allgemeine Daten		
Probennummer	2015-03494	2015-03497
Datum/Uhrzeit Probenahme	29.10.2015 / 12:40	04.11.2015 / 10:25
Exakte Lage der Messstelle	50°51'09.1"N 7°59'49.9"E	50°51'09.1"N 7°59'49.9"E
Wetter bei Probenahme/Wetter an den Vortagen	bewölkt	sonnig
Gewässerbreite/Gewässertiefe/Fließgeschwindigkeit	ca.7m/ ca.0,45m/ ca.0,8 m/s	ca. 7m/ ca.0,45m/ ca.0,8 m/s
Entnahmestelle: In Fließrichtung	links	rechts

Organoleptische Analyse		
Färbung	farblos	farblos
Schaumbildung	schwach	schwach
Trübung	ohne	ohne
Geruch	ohne	ohne

Vor-Ort-Parameter		
pH-Wert []	8,79	8,61
elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	458	469
Sauerstoffgehalt [mg/L]	10,8	10,9
Wassertemperatur/Umgebungstemperatur [°C]	12,1 / 14,1	7,5 / 9,5

Ergebnisse Gewässerbeprobung uh KA, Vor-Ort-Parameter: (vgl Anhang):

Allgemeine Daten		
Probennummer	2015-03495	2015-03498
Datum/Uhrzeit Probenahme	29.10.2015 / 13:00	04.11.2015 / 10:35
Exakte Lage der Messstelle	50°50'47.0"N 7°59'07.5"E	50°50'47.0"N 7°59'07.5"E
Wetter bei Probenahme/Wetter an den Vortagen	bewölkt	sonnig
Gewässerbreite/Gewässertiefe/Fließgeschwindigkeit	ca.5m/ ca.0,55m/ ca.1 m/s	ca.5m/ ca.0,55m/ ca.1 m/s
Entnahmestelle: In Fließrichtung	links	links

Organoleptische Analyse		
Färbung	farblos	farblos
Schaumbildung	keine	keine
Trübung	ohne	ohne
Geruch	ohne	ohne

Vor-Ort-Parameter		
pH-Wert []	8,00	8,63
elektrische Leitfähigkeit [µS/cm]	501	564
Sauerstoffgehalt [mg/L]	10,9	10,9
Wassertemperatur/Umgebungstemperatur [°C]	12,2 / 14,1	8,4 / 12,1

Probenahmeprotokoll



Datum:

Messstelle:

Gemeinde:

See:

Gewässername:

Anlage:

Erlaubnisinhaber:

Ansprechpartner:

Probenehmer:

Fahrer:

auß. anwesend:

Probenahme am:

Stichprobe: Uhr Mischprobe: von Uhr bis Uhr

Bemerkungen:

2015-03493/Klapp + Müller

Ablauf

Ablauf KA Siegen 24h-Mischprobe 28

29.10.2015, 08:-08:00

(mengenproportional)

131

Vor-Ort-Abwasserprotokoll

Abwassermenge Zählerstand 1:

Abwassermenge Zählerstand 2:

Umrechnungsfaktor:

Trübung: 0 = keine Trübung 2 = mittlere Trübung 99 = ...
1 = schwache Trübung 3 = starke Trübung

Farbe: 0 = farblos 2 = grau 4 = violett 6 = grün 8 = braun 99 = ...
1 = weiß 3 = schwarz 5 = blau 7 = gelb 9 = rot

Geruchsstärke: 0 = ohne 2 = mittel 99 = ...
1 = schwach 3 = stark

Wasserabschlag:

Regenbecken in Betrieb:

Niederschläge vor der Entnahme:

Niederschläge bei der Entnahme:

Niederschläge Schneeschmelze:

Absetzbare Stoffe abgefüllt:

1. Gefäß/ml:

2. Gefäß/ml:

Ankunft am Tor um Uhr
um Uhr
um Uhr

Wassermenge: 1 = geschätzt 99 = ...
9 = gemessen

Zu- oder Ablauf: 1 = Zulauf 99 = ...
2 = Ablauf

Geruch:

- 0 = geruchlos
- 1 = aromatisch
- 2 = erdig
- 3 = faulig
- 4 = fischig
- 5 = jauchig
- 6 = modrig
- 7 = tranig
- 8 = würzig
- 9 = Chlor
- 10 = Fäkalien
- 11 = Urin
- 12 = Mineralöl
- 13 = Schwefelwasserstoffe
- 14 = Silage
- 15 = andere
- 16 = Phenole
- 99 = ...

Einleiter hat Teilprobe übernommen: Datum, Unterschrift: 29.10.15 R. Geschwendtner



Institut für
Siedlungswasserwirtschaft



Probenahmeprotokoll für physikalisch-chemische Fließgewässeruntersuchungen					
Gewässername		Sieg, oh KA Siegen		Datum	29.10.15
Gebietsbezeichnung				Uhrzeit	12:40
Messstellenbezeichnung				Rechtswert	
Fluss-km				Hochwert	
Art der Probenahme		<input checked="" type="checkbox"/> Stichprobe/		<input type="checkbox"/> Gauss-Krüger	<input type="checkbox"/> UTM
Entnahmetiefe		<input checked="" type="checkbox"/> oberflächennah		Probenahmegerät	
Probennehmer (Name)				<input type="checkbox"/> Eimer	<input checked="" type="checkbox"/> Schöpfer
Wetter		Gewässerbreite		Abfluss	
Tag der Probenahme	an den Vortagen	Schätzwert		Pegel-Name	
<input type="checkbox"/> sonnig	<input type="checkbox"/> sonnig	7,0	m	Ableseung (cm)	
<input checked="" type="checkbox"/> bewölkt	<input type="checkbox"/> bewölkt	Gewässertiefe		Abfluss (l/s)	
<input type="checkbox"/> wechselhaft	<input type="checkbox"/> wechselhaft	Schätzwert mittlere Tiefe		Schätzwert (l/s)	
<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Regen	0,45	m	Entnahmestelle	
<input type="checkbox"/> Hitze	<input type="checkbox"/> Hitze	Fließgeschwindigkeit		<input type="checkbox"/> Ufer rechts	
<input type="checkbox"/> Frost	<input type="checkbox"/> Frost	Schätzwert		<input checked="" type="checkbox"/> Ufer links	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,8	m/s	<input type="checkbox"/> Gewässermitte	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Beschaffenheit der Wasserprobe			
Färbung	Schaumbildung	Geruch		Vor-Ort-Messdaten	
<input checked="" type="checkbox"/> farblos	<input checked="" type="checkbox"/> keine	<input checked="" type="checkbox"/> ohne		pH-Wert	8,73
<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach		elektr. Leitfähigkeit	458
<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark		(µS/cm bei 25 °C)	
<input type="checkbox"/> braun		<input type="checkbox"/> erdig		O ₂ -Gehalt/-sättigung	10,8
<input type="checkbox"/> grau		<input type="checkbox"/> modrig		(mg/l%)	10,8
<input type="checkbox"/> gelb	Trübung	<input type="checkbox"/> faulig		Wasser-/Lufttemperatur	
<input type="checkbox"/> grün-blau	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> jauchig		(°C)	12,1 / 14,1
<input type="checkbox"/> gelb-grün	<input type="checkbox"/> fast klar	<input type="checkbox"/> fischig			
<input type="checkbox"/> gelb-braun	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> aromatisch			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> Abwasser			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Kraftstoffe/Öle			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Bemerkungen					
z. B. Verunreinigungen, Baumaßnahmen, Fließverhalten, Verweis auf die Norm (DIN 38402-15) usw.					
Datum/Unterschrift					
29.10.15 R. J.					

2015-03494/Klapp + Müller
Sieg oh KA Siegen, Stichprobe



Institut für
Siedlungswasserwirtschaft



Probenahmeprotokoll für physikalisch-chemische Fließgewässeruntersuchungen					
Gewässername <u>Sieg, uh KA Siegen</u>			Datum <u>25.10.15</u>		
Gebietsbezeichnung _____			Uhrzeit <u>13:00</u>		
Messstellenbezeichnung _____			Rechtswert _____		
Fluss-km _____			Hochwert _____		
Art der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Stichprobe/			<input type="checkbox"/> Gauss-Krüger <input type="checkbox"/> UTM		
Entnahmetiefe <input checked="" type="checkbox"/> oberflächennah			Probenahmegerät _____		
Probenehmer (Name) _____			<input type="checkbox"/> Eimer <input checked="" type="checkbox"/> Schöpfer		
Wetter		Gewässerbreite		Abfluss	
Tag der Probenahme	an den Vortagen	Schätzwert	Pegel-Name _____		
<input type="checkbox"/> sonnig	<input type="checkbox"/> sonnig	<u>5.0</u> m	Ablesung (cm) _____		
<input checked="" type="checkbox"/> bewölkt	<input type="checkbox"/> bewölkt	Gewässertiefe	Abfluss (l/s) _____		
<input type="checkbox"/> wechselhaft	<input type="checkbox"/> wechselhaft	Schätzwert mittlere Tiefe	Schätzwert (l/s) _____		
<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Regen	<u>0.55</u> m			
<input type="checkbox"/> Hitze	<input type="checkbox"/> Hitze	Fließgeschwindigkeit	Entnahmestelle		
<input type="checkbox"/> Frost	<input type="checkbox"/> Frost	Schätzwert	<input type="checkbox"/> Ufer rechts		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>1</u> m/s	<input checked="" type="checkbox"/> Ufer links		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/> Gewässermitte		
Beschaffenheit der Wasserprobe					
Färbung		Schaumbildung		Geruch	
<input checked="" type="checkbox"/> farblos	<input checked="" type="checkbox"/> keine	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	Vor-Ort-Messdaten		
<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	pH-Wert <u>8.00</u>		
<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	elektr. Leitfähigkeit		
<input type="checkbox"/> braun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> erdig	(µS/cm bei 25 °C) <u>501</u>		
<input type="checkbox"/> grau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> modrig	O ₂ -Gehalt/-sättigung		
<input type="checkbox"/> gelb	Trübung	<input type="checkbox"/> faulig	(mg/l%) <u>10.9</u>		
<input type="checkbox"/> grün-blau	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> jauchig	Wasser-/Lufttemperatur		
<input type="checkbox"/> gelb-grün	<input type="checkbox"/> fast klar	<input type="checkbox"/> fischig	(°C) <u>12.2 / 14.1</u>		
<input type="checkbox"/> gelb-braun	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> aromatisch			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> Abwasser			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Kraftstoffe/Öle			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Bemerkungen					
z. B. Verunreinigungen, Baumaßnahmen, Fließverhalten, Verweis auf die Norm (DIN 38402-15) usw.					
Datum/Unterschrift <u>25.10.15, P. Müller</u>					

2015-03495/Klapp + Müller
Sieg uh KA Siegen, Stichprobe

Probenahmeprotokoll



Datum:

Messstelle:

Gemeinde:

See:

Gewässername:

Anlage:

Erlaubnisinhaber:

Ansprechpartner:

Probenehmer:

Fahrer:

auß. anwesend:

Probenahme am:

Stichprobe: Uhr Mischprobe: von Uhr bis Uhr

Bemerkungen:

2015-03496/Klapp + Müller

Ablauf

Ablauf KA Siegen 24h-Mischprobe 03

04.11.2015, 08:-08:00

(mengenproportional)

Vor-Ort-Abwasserprotokoll

Abwassermenge Zählerstand 1:

Abwassermenge Zählerstand 2:

Umrechnungsfaktor:

Trübung: 0 = keine Trübung 2 = mittlere Trübung 99 = ...
1 = schwache Trübung 3 = starke Trübung

Farbe: 0 = farblos 2 = grau 4 = violett 6 = grün 8 = braun 99 = ...
1 = weiß 3 = schwarz 5 = blau 7 = gelb 9 = rot

Geruchsstärke: 0 = ohne 2 = mittel 99 = ...
1 = schwach 3 = stark

Wasserabschlag:

Regenbecken in Betrieb:

Niederschläge vor der Entnahme:

Niederschläge bei der Entnahme:

Niederschläge Schneeschmelze:

Absetzbare Stoffe abgefüllt:

1. Gefäß/ml:

2. Gefäß/ml:

Ankunft am Tor um Uhr
um Uhr
um Uhr

Wassermenge: 1 = geschätzt 99 = ...
9 = gemessen

Zu- oder Ablauf: 1 = Zulauf 99 = ...
2 = Ablauf

Geruch:

- 0 = geruchlos
- 1 = aromatisch
- 2 = erdig
- 3 = faulig
- 4 = fischig
- 5 = jauchig
- 6 = modrig
- 7 = tranig
- 8 = würzig
- 9 = Chlor
- 10 = Fäkalien
- 11 = Urin
- 12 = Mineralöl
- 13 = Schwefelwasserstoffe
- 14 = Silage
- 15 = andere
- 16 = Phenole
- 99 = ...

Einleiter hat Teilprobe übernommen: Datum, Unterschrift: 04.11.15 R. G. Schwandtner



Institut für
Siedlungswasserwirtschaft



Probenahmeprotokoll für physikalisch-chemische Fließgewässeruntersuchungen							
Gewässername		Sieg		Datum		04.11.15	
Gebietsbezeichnung		24 KA Siegen		Uhrzeit		10:25	
Messstellenbezeichnung				Rechtswert			
Fluss-km				Hochwert			
Art der Probenahme		<input checked="" type="checkbox"/> Stichprobe/		<input type="checkbox"/> Gauss-Krüger		<input type="checkbox"/> UTM	
Entnahmetiefe		<input checked="" type="checkbox"/> oberflächennah		Probenahmegerät			
Probennehmer (Name)				<input type="checkbox"/> Eimer		<input checked="" type="checkbox"/> Schöpfer	
Wetter		Gewässerbreite		Abfluss			
Tag der Probenahme	an den Vortagen	Schätzwert		Pegel-Name			
<input checked="" type="checkbox"/> sonnig	<input type="checkbox"/> sonnig	7,0 m		Ablesung (cm)			
<input type="checkbox"/> bewölkt	<input type="checkbox"/> bewölkt	Gewässertiefe		Abfluss (l/s)			
<input type="checkbox"/> wechselhaft	<input type="checkbox"/> wechselhaft	Schätzwert mittlere Tiefe		Schätzwert (l/s)			
<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Regen	0,45 m					
<input type="checkbox"/> Hitze	<input type="checkbox"/> Hitze	Fließgeschwindigkeit		Entnahmestelle			
<input type="checkbox"/> Frost	<input type="checkbox"/> Frost	Schätzwert		<input type="checkbox"/> Ufer rechts			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,8 m/s		<input checked="" type="checkbox"/> Ufer links			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/> Gewässermitte			
Beschaffenheit der Wasserprobe							
Färbung		Schaumbildung		Geruch		Vor-Ort-Messdaten	
<input checked="" type="checkbox"/> farblos	<input checked="" type="checkbox"/> keine	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	pH-Wert		8,6-1		
<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	elektr. Leitfähigkeit		465		
<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	(µS/cm bei 25 °C)				
<input type="checkbox"/> braun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> erdig	O ₂ -Gehalt/-sättigung		10,9		
<input type="checkbox"/> grau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> modrig	(mg/l%)				
<input type="checkbox"/> gelb	Trübung		Wasser-/Lufttemperatur		7,5 bis 8,5		
<input type="checkbox"/> grün-blau	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> faulig	°C				
<input type="checkbox"/> gelb-grün	<input type="checkbox"/> fast klar	<input type="checkbox"/> jauchig					
<input type="checkbox"/> gelb-braun	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> fischig					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> aromatisch					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Abwasser					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Kraftstoffe/Öle					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Bemerkungen							
z. B. Verunreinigungen, Baumaßnahmen, Fließverhalten, Verweis auf die Norm (DIN 38402-15) usw.							
Datum/Unterschrift							
04.11.15, R. [Signature]							

2015-03497/Klapp + Müller
Sieg oh KA Siegen, Stichprobe



Institut für
Siedlungswasserwirtschaft



Probenahmeprotokoll für physikalisch-chemische Fließgewässeruntersuchungen					
Gewässername <u>Sieg</u>			Datum <u>04.11.15</u>		
Gebietsbezeichnung <u>uh KA Siegen</u>			Uhrzeit <u>10:35</u>		
Messstellenbezeichnung _____			Rechtswert _____		
Fluss-km _____			Hochwert _____		
Art der Probenahme <input checked="" type="checkbox"/> Stichprobe/ _____			<input type="checkbox"/> Gauss-Krüger <input type="checkbox"/> UTM		
Entnahmetiefe <input checked="" type="checkbox"/> oberflächennah _____			Probenahmegerät _____		
Probenehmer (Name) _____			<input type="checkbox"/> Eimer <input checked="" type="checkbox"/> Schöpfer		
Wetter		Gewässerbreite		Abfluss	
Tag der Probenahme	an den Vortagen	Schätzwert	Pegel-Name _____		
<input checked="" type="checkbox"/> sonnig	<input type="checkbox"/> sonnig	<u>5,0</u> m	Ablesung (cm) _____		
<input type="checkbox"/> bewölkt	<input type="checkbox"/> bewölkt	Gewässertiefe	Abfluss (l/s) _____		
<input type="checkbox"/> wechselhaft	<input type="checkbox"/> wechselhaft	Schätzwert mittlere Tiefe	Schätzwert (l/s) _____		
<input type="checkbox"/> Regen	<input type="checkbox"/> Regen	<u>0,55</u> m	Entnahmestelle		
<input type="checkbox"/> Hitze	<input type="checkbox"/> Hitze	Fließgeschwindigkeit	<input type="checkbox"/> Ufer rechts		
<input type="checkbox"/> Frost	<input type="checkbox"/> Frost	Schätzwert	<input checked="" type="checkbox"/> Ufer links		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<u>1</u> m/s	<input type="checkbox"/> Gewässermittle		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Beschaffenheit der Wasserprobe					
Färbung		Schaumbildung		Geruch	
<input checked="" type="checkbox"/> farblos	<input checked="" type="checkbox"/> keine	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	Vor-Ort-Messdaten		
<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> schwach	pH-Wert <u>8,63</u>		
<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> stark	elektr. Leitfähigkeit		
<input type="checkbox"/> braun	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> erdig	<u>564</u>		
<input type="checkbox"/> grau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> modrig	(µS/cm bei 25 °C)		
<input type="checkbox"/> gelb	Trübung	<input type="checkbox"/> faulig	O ₂ -Gehalt/-sättigung		
<input type="checkbox"/> grün-blau	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> jauchig	<u>10,9</u>		
<input type="checkbox"/> gelb-grün	<input type="checkbox"/> fast klar	<input type="checkbox"/> fischig	(mg/l%)		
<input type="checkbox"/> gelb-braun	<input type="checkbox"/> schwach	<input type="checkbox"/> aromatisch	Wasser-/Lufttemperatur		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> stark	<input type="checkbox"/> Abwasser	<u>8,4/12,1</u>		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Kraftstoffe/Öle	(°C)		
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Bemerkungen					
z. B. Verunreinigungen, Baumaßnahmen, Fließverhalten, Verweis auf die Norm (DIN 38402-15) usw.					
Datum/Unterschrift <u>04.11.15</u>					

2015-03498/Klapp + Müller
Sieg uh KA Siegen. Stichprobe