



Stadt Rietberg Abwasserbetrieb

Variantenbetrachtung, Machbarkeitsstudie

Ertüchtigung der Zentralkläranlage Rietberg zur Elimination von Spurenstoffen

Juli 2013

gefördert durch:

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes
Nordrhein-Westfalen



Impressum

Auftraggeber: Stadt Rietberg - Abwasserbetrieb
Auftragnehmer: Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH
Groß-Buchholzer Kirchweg 30
30655 Hannover
Bearbeitung: Dr.-Ing. Jens Knollmann
Dipl.-Ing. Holger Hübner

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Spurenstoffe im wasserwirtschaftlichen Kreislauf	3
3	Rechtliche Belange und Grenzwerte	6
3.1	Allgemeines	6
3.2	Gesetzliche Regelungen zur Spurenstoffelimination	7
4	Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung	9
5	Verfahren zur Spurenstoffelimination	10
5.1	Pulveraktivkohle (PAK)	10
5.2	Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern	14
5.3	Oxidation mit Ozon (O ₃)	15
6	Zentralkläranlage Rietberg	17
6.1	Kurzbeschreibung Kläranlage	17
6.2	Dyna-Sand [®] -Filtration	20
7	Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse	23
8	Varianteuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Rietberg zur Spurenstoffelimination	26
8.1	Variante 1a - Pulveraktivkohle-Dosierung in die biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung)	29
8.2	Variante 1b - Pulveraktivkohle-Dosierung in den Zulauf der Dyna-Sand [®] Filtration	32
8.3	Variante 1c - Pulveraktivkohle-Dosierung in eine separate adsorptive Reinigungsstufe	35
8.4	Variante 2a – Nachgeschalteter GAK Festbett-Adsorber	43
8.5	Variante 2b – Umbau der Dyna-Sand Filtration zum Festbettfilter mit granulierter Aktivkohlefüllung	48
8.6	Variante 2c – Dyna-Sand [®] Filtration mit Aktivkohlefüllung	53
8.7	Variante 3 – Ozonanlage mit nachgeschalteter Dyna-Sand-Filtration	57
8.8	Gegenüberstellung der Varianten	62
9	Halbtechnische Versuche zur Umrüstung der Festbettfiltration zur Spurenstoffelimination	65

Inhaltsverzeichnis

9.1	Halbtechnische Dyna-Sand [®] Carbon Versuchsanlage	65
9.2	Halbtechnisch Dyna-Sand – Versuchsbetrieb	67
9.3	Reinigungsleistung der Dyna-Sand - Versuchsanlage	69
9.4	Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb	76
9.4.1	Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb - Kornstabilität	76
9.4.2	Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Sonstige Analytik	81
9.4.4	Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Betriebsverhalten	84
10	Empfehlungen zum großtechnischer Ausbau der Dyna-Sand-Filtration zum Betrieb mit granulierter Aktivkohle (GAK)	85
11	Zusammenfassung	89
12	Literatur	90
13	Anhang	94
13.1	Untersuchungsergebnisse des Screenings	94
13.2	Untersuchungsergebnisse der Filter	104
13.3	Auswertung Mikroschadstoff-Ablaufkonzentrationen Filtration	113
13.4	Auswertung Zu- und Ablaufkonzentrationen Versuchsanlage	114
13.5	Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination	115

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Quellen und Pfade des Eintrages von Arzneimittelstoffen in die Gewässer und mögliche Handlungsansätze zur Eintragsvermeidung	5
Bild 2:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [3]	11
Bild 3:	Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [3]	12
Bild 4:	Schema der Pulveraktivkohledosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe [3]	13
Bild 5:	Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Donau Carbon)	14
Bild 6:	Schematische Darstellung einer Ozonungsanlage [1]	15
Bild 7:	Faulbehälter, Gasbehälter (links); Vorklärbecken (rechts) Kläranlage Rietberg	17
Bild 8:	Lageplan zum geplanten Endausbau der Zentralkläranlage Rietberg	18
Bild 9:	Dyna-Sand Filtration ZKA Rietberg	21
Bild 10:	Dyna-Sand [®] Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)	22
Bild 11:	Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Filtration	24
Bild 12:	Lageplan KA Rietberg - Variante 1a - PAK-Dosierung in die biologischen Reinigungsstufe	29
Bild 13:	Lageplan KA Rietberg - Variante 1b - PAK-Dosierung in den Zulauf zur vorhandenen Filtration	32
Bild 14:	Lageplan KA Rietberg - Variante 1c - PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe	35
Bild 15:	Lageplan KA Rietberg - Variante 2a - Neubau von GAK-Festbett-Adsorber zur Behandlung des Ablaufes der Dyna-Sand-Filtration	43
Bild 16:	Lageplan KA Rietberg - Variante 2b – GAK – Festbettfiltration, Umbau der Dyna-Sand [®] Filtration	48
Bild 17:	Lageplan KA Rietberg - Variante 2c – Umbau der Dyna-Sand [®] Filtration auf Betrieb mit GAK	53
Bild 18:	Lageplan KA Rietberg - Variante 3 – Ozonung	57
Bild 19:	Lageplan der Versuchsanlage auf der Kläranlage Rietberg.	65
Bild 20:	Halbtechnische Dyna-Sand [®] Versuchsanlage, Kläranlage Rietberg (Quelle techn. Zeichnung: Nordic Water GmbH)	67
Bild 21:	Spurenstoffe – Zu- und Ablauf Versuchsanlage (Röntgenkontrastmittel, Süßstoff, Komplexbildner)	69
Bild 22:	Spurenstoffe – Zu- und Ablauf Versuchsanlage (Antiepileptika, Antibiotika, Schmerzmittel, Betablocker)	70
Bild 23:	CSB-Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage	73

Abbildungsverzeichnis

Bild 24:	P_{ges} -Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage	74
Bild 25:	N_{ges} -Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage	75
Bild 26:	$\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage	75
Bild 27:	Änderung der Partikelgrößenverteilung der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Filter 1: AquaSorb CS; Filter 2: AquaSorb 2000 (12x 40 Mesh) – Zeitraum 08.10.12 – 24.01.13	77
Bild 28:	Änderung der Partikelgrößenverteilung der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Filter 1: AquaSorb 5000 (8x30 Mesh) und Filter 2: AquaSorb 2000 (12 x 40 Mesh)– Zeitraum 08.02.13 – 09.04.13	79
Bild 29:	Lageplan, Foto – Umzurüstende Dyna-Sand-Filtration, Kläranlage Rietberg	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bemessung- und Auslegungswerte Kläranlage Rietberg	19
Tabelle 2: Zusammenstellung technische Daten – Filtration ZKA Rietberg	20
Tabelle 3: Spurenstoffe mit signifikant erhöhten Werten im Ablauf der Filtration	23
Tabelle 4: Vergleich ausgewählter Spurenstoffe – Kläranlage Rietberg	25
Tabelle 5: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 1a - PAK-Dosierung in die biologischen Reinigungsstufe	31
Tabelle 6: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 1b - PAK-Dosierung in den Zulauf zur vorhandenen Filtration	34
Tabelle 7: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 1c - PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe	41
Tabelle 8: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 2a – nachgeschalteter GAK-Festbett-Adsorber	46
Tabelle 9: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 2b – Umbau Dyna-Sand* Filtration zur GAK-Festbettfiltration	51
Tabelle 10: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 2c – Umbau Dyna-Sand® Filtration zum Betrieb mit Aktivkohle	56
Tabelle 11: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten (netto) - Variante 3 - Ozonanlage	60
Tabelle 12: Vergleich der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination	62
Tabelle 13: Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Versuchsfilter	72
Tabelle 14: Änderung der Filterbetthöhe in Bezug auf die Ausgangshöhe (Ruhelage)	79
Tabelle 15: Untersuchung der gebrauchten Aktivkohle im Versuchsbetrieb	81
Tabelle 16: Eigenschaften der gelieferten Aktivkohle nach Angaben des Herstellers (Jacobi Carbons)	83

1. Veranlassung

1 Veranlassung

Spurenstoffe in Gewässern, Rückstände von Medikamenten, Röntgenkontrastmittel und sonstige Chemikalien, die in herkömmlichen Kläranlagen nicht vollständig abgebaut werden konnten, stehen immer mehr im Blick der Medien, der Politik und Öffentlichkeit. Erst einmal im Wasserkreislauf vorhanden, gefährden sie nicht nur unsere Oberflächengewässer, sondern auch das Grundwasser und unser Trinkwasser. Insbesondere in der Schweiz, den Niederlanden und in Deutschland wird die Spurenstoffbelastung der Gewässer durch Kläranlageneinleitungen diskutiert. Die Schweiz beabsichtigt durch Änderung der Gewässerschutzverordnung die Elimination von Mikroverunreinigungen für ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen vorzuschreiben. Ähnliche Regelungen werden in einzelnen Bundesländern, dazu gehört Nordrhein-Westfalen, diskutiert.

Seit einigen Jahren wird durch Forschungsarbeiten, Pilotanlagen und erste Kläranlagenausrüstungen die Verfahrenstechnik zur Entnahme von Spurenstoffen in kommunalen Kläranlagen untersucht.

Vom Land Nordrhein-Westfalen werden Projekte für innovative Technologien auf öffentlichen Kläranlagen zur Elimination von gefährlichen Stoffen gefördert (Investitionsprogramm Abwasser NRW). Die Stadt Rietberg hat einen entsprechenden Förderantrag gestellt um die Nachrüstung der bestehenden Kläranlage zur Spurenstoffelimination zu untersuchen.

Mit Zuwendungsbescheid der Bezirksregierung vom 01.08.2011 wurde dem Abwasserbetrieb der Stadt Rietberg die Förderung des Projekts „Variantenbetrachtung und Machbarkeitsstudie zur Erhöhung der Zentralkläranlage Rietberg zur Elimination von Spurenstoffen“ bewilligt. Ergänzend wurden, mit dem Bescheid vom 25.07.2012, Untersuchungen im halbtechnischen Maßstab zur Nutzung der vorhandenen Dyna-Sand Filtration der Kläranlage Rietberg zur Spurenstoffelimination zugestimmt.

Mit der Ausarbeitung über die möglichen Maßnahmen zur Aus- und Umrüstung der Zentralkläranlage Rietberg zur Spurenstoffelimination wurde die Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH, Hannover, beauftragt.

Die Studie untergliedert sich in die zwei Abschnitte – Variantenuntersuchung und Machbarkeit - sowie – halbtechnische Versuche der Vorzugsvariante.

Im Zuge der Varianten- und Machbarkeitsbetrachtung wurden folgende Verfahren der Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg untersucht:

1. Veranlassung

- Einsatz von Pulveraktivkohle
- Nachrüstung eines nachgeschalteten Adsorptionsfilters
- Umrüstung der vorhandenen Filtration
- Ozonung

Schwerpunkt der Untersuchungen waren dabei: Abwasseruntersuchung u.a. zu Spurenstoffen, Bemessung /Dimensionierung von Verfahrensstufen, Verfahrenstechnik, Umrüstung der vorhandenen Anlagentechnik, Kosten.

Die Kläranlage der Stadt Rietberg verfügt über eine Fließbett-Filtration vom Typ Dyna-Sand[®]. Filtrationen können nach Austausch des Filtermaterials durch granuliert Aktivkohle grundsätzlich zur Spurenstoffelimination eingesetzt werden, wie verschiedene großtechnische Erfahrungen mit herkömmlichen Festbettfiltrationen zeigen. Vorteilhaft ist, dass ein Großteil der vorhandenen Anlagentechnik zu nutzen ist. Erfahrungen über die Umrüstung einer Dyna-Sand[®] Anlage zum Betrieb mit Aktivkohle zur Spurenstoffelimination lagen bisher nicht vor.

Um Aussagen zum Betriebsverhalten und zur technischen Umrüstung von Dyna-Sand[®] Anlagen zu erhalten, wurde ein Versuchsbetrieb im halbtechnischen Maßstab durchgeführt. Die Versuche wurden mit einer 2-straßigen Versuchsanlage über einen Zeitraum von rd. 5,5 Monaten durchgeführt.

Untersucht wurden u.a. das Betriebsverhalten der Filter bei Einsatz mit Aktivkohle, Abbauraten, mittlere/max. Belastung, Betriebsregelung (Filterspülzeiten, Luftzufuhr) und der Einfluss auf die Kornstabilität (Partikelgrößenanalyse).

Die Ergebnisse der Variantenuntersuchung und der halbtechnischen Versuche werden nachfolgend vorgestellt.

2 Spurenstoffe im wasserwirtschaftlichen Kreislauf

„Spurenstoffe“ oder auch „Mikroverunreinigungen“ oder „Mikroschadstoffe“ sind Inhaltsstoffe von Abwasser, Trinkwasser und Gewässern die in geringen Konzentrationen (ng/l bis µg/l) vorliegen. Aufgrund von verfeinerten Analyse- und Nachweismethoden, sowie Veröffentlichungen zu „neuen“ Funden beschäftigt sich nicht nur die Fachwelt mit Spurenstoffen im wasserwirtschaftlichen Kreislauf. Generell wird unterstellt, dass eine negative Wirkung auf die Menschen und die belebte Umwelt zumindest potenziell vorhanden ist.

Bei den Spurenstoffen werden zwei Stoffgruppen unterschieden. Die anorganischen Spurenstoffe wie z.B. Schwermetalle und die organischen Spurenstoffe. Zu den organischen Spurenstoffen gehören Industriechemikalien, Additive, Nahrungsmittelzusatzstoffe, Körperpflegeprodukte, Waschmittelinhaltsstoffe sowie Hormone, Arzneimittel (Pharmazeutika aus der Human- und Veterinärmedizin) und Diagnostika, insbesondere Röntgenkontrastmittel.

Auch wird davon ausgegangen, dass sich tendenziell die Konzentrationen von Spurenstoffen in Oberflächengewässern zukünftig erhöhen werden. Durch den Klimawandel wird der Rückgang des Gewässerabflusses prognostiziert und hierdurch der prozentuale Anteil der kommunalen Abwässer und der Einträge aus der Landwirtschaft erhöht. Hinzu kommt der tendenziell steigende Arzneimittelverbrauch, der mit der demographische Entwicklung, mit einem steigenden Anteil älterer Menschen, einhergeht.

Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten der Spurenstoffe in Gewässern und dem Eintrag über kommunale Kläranlagen ist bekannt und vielfach nachweisbar. Bei der kommunalen Abwasserbehandlung sind anthropogene Spurenstoffe auf den Gebrauch persönlicher Pflegeprodukte (Moschusduftstoffe), Tenside, Hormone und im Besonderen auf die Einnahme von Arzneimitteln (Pharmazeutika) und Röntgenkontrastmitteln (Diagnostika) zurückzuführen.

Unter der Vielzahl von anthropogenen Spurenstoffen werden in zahlreichen veröffentlichten Untersuchungen einige Spurenstoffe aus dem Bereich der Pharmazeutika und Diagnostika in Oberflächengewässern und Kläranlageneinleitungen mit besonderer Häufigkeit und signifikant hohen Konzentrationen festgestellt.

2. Spurenstoffe im wasserwirtschaftlichen Kreislauf

Insbesondere sind zu nennen:

- Pharmazeutika:
 - Carbamazepin (Antiepileptikum)
 - Sulfamethoxazol (Antibiotikum)
 - Diclofenac (Schmerzmittel)
 - Bisoprolol (Betablocker)
 - Metoprolol (Betablocker)
- Diagnostika
 - Amidotrizoesäure (ionisches Röntgenkontrastmittel)
 - Iopamidol (nicht-ionisches Röntgenkontrastmittel)

Unter den häufig auftretenden Spurenstoffen können u.a. folgende Leitsubstanzen für generelle Aussagen zur Arzneimittelbelastung in Gewässern herangezogen werden: Carbamazepin, Diclofenac und Metoprolol.

Grundsätzlich ist es möglich, hinsichtlich der Verminderung von Spurenstoffen in Gewässern an drei Stellen anzusetzen (Bild 1):

- Maßnahmen an der Quelle (also dem Produktions-, Anfall- oder Einsatzort)
 - Source-control-Strategie
 - Medikation, Ersatzstoffe, Aufklärung, Kennzeichnung etc.
 - Ein Nichtvorhandensein, „Nullkonzentration“, „Nullbelastung“ oder „Nullemission“ eines Stoffes ist in keiner Weise zielführend und nicht realistisch
- Bei der Abwasserbeseitigung (vorzugweise auf der Kläranlage)
 - End-of-the-pipe-Lösung
 - Minimierung der Spurenstoffbelastung im Ablauf der Kläranlage
 - Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammentsorgung
- Bei der Trinkwasseraufbereitung (im Wasserwerk)

2. Spurenstoffe im wasserwirtschaftlichen Kreislauf

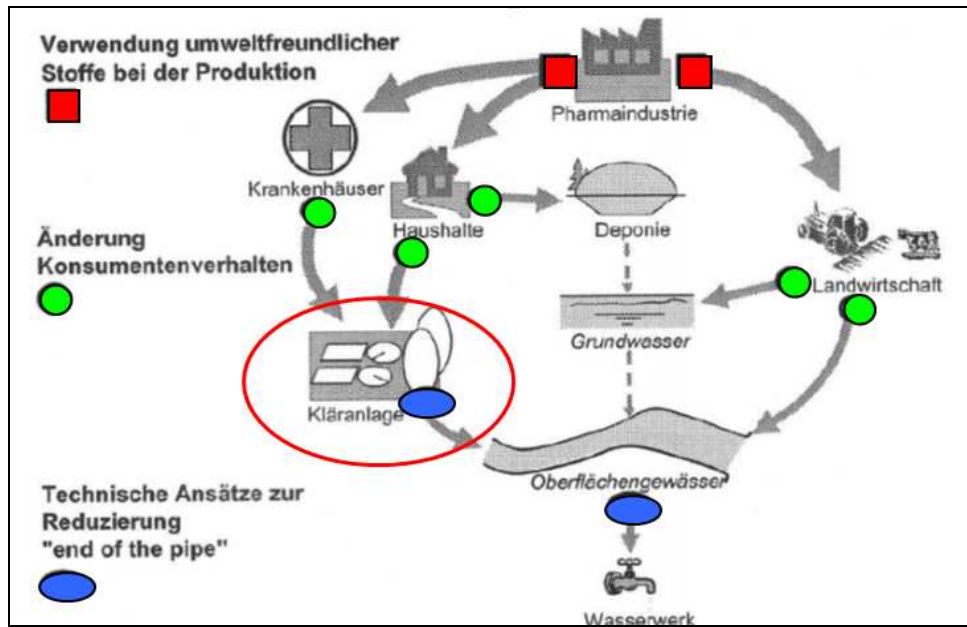


Bild 1: Quellen und Pfade des Eintrages von Arzneimittelstoffen in die Gewässer und mögliche Handlungsansätze zur Eintragsvermeidung

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

3 Rechtliche Belange und Grenzwerte

3.1 Allgemeines

In der Europäischen Union ist eine Reduktion der Belastungssituation mit gefährlichen Schadstoffen in Oberflächengewässern über die Wasserrahmenrichtlinie geregelt. Zum Erreichen der Ziele wurden Umweltqualitätsnormen (UQN) für einzelne Substanzen als maximal akzeptable Umweltkonzentration eingeführt, die ein Risiko für aquatische Organismen darstellen. Bisher sind Pharmazeutika, Radioisotope und Körperpflegemittel nicht in der Liste vorrangig eingestufte Substanzen vertreten. Vorschläge für entsprechende Umweltqualitätsnormen liegen bereits vor. Festzustellen ist, dass einige Substanzen die vorgeschlagenen UQN in stark abwasserbelasteten Gewässern regelmäßig überschreiten.

Bei den von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft (LAWA) 2007 abgeleiteten Umweltqualitätsnormen sind folgende Arzneimittel (Pharmazeutika) erfasst:

- Carbamazepin 0,5 µg/l
- Diclofenac 0,1 µg/l
- Sulfamethoxazol 0,1 µg/l

Mit der am 25. Juli 2011 in Kraft getretenen neuen Oberflächenwasserverordnung (OGewV) werden die EU-Vorgaben der Wasserrahmenrichtlinie zu Umweltqualitätsnormen, zu Qualitätsanforderungen an die Analytik und zur Übertragung in nationales Recht umgesetzt. Darin wurden Umweltqualitätsnormen für 33 prioritäre Stoffe und 6 bestimmte andere Stoffe aufgenommen. Umweltqualitätsnormen für die Arzneimittelwirkstoffe Carbamazepin und Sulfamethoxazol wurden bisher von den Ländern im Bundesrat nicht verabschiedet.

Für Stoffe mit akuter Toxizität wird derzeit ein Wert von 0,5 µg/l, für chronisch toxische Stoffe ein Wert von 0,1 µg/l empfohlen. Die EU Kommission hat im Januar 2012 für Diclofenac ein Qualitätsnormvorschlag von 0,1 µg/l veröffentlicht.

Die Wahrscheinlichkeit einer sofortigen, irreversiblen oder auch erst beliebig später offenbar werdenden Schädigung des Menschen durch die akut toxische Wirkung einer oder mehrerer Spurenstoffe im Trinkwasser ist „äußerst gering“. Konzentrationen (noch) nicht bewerteter (neuer) Stoffe von weniger als 0,1 µg/l im Trinkwasser sind, außer bei stark gentoxischen Stoffen, lebenslang gesundheitlich unbedenklich.

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

3.2 Gesetzliche Regelungen zur Spurenstoffelimination

Deutschland:

Rechtliche Anforderungen zur Einleitung von Abwasser sind in der Abwasservorordnung (AbwV) des Bundes geregelt, Anforderungen für Spurenstoffe sind nicht enthalten.

Allerdings werden Anforderungen an Qualitätsziele bezüglich einer Reihe von chemischen Verbindungen, z.B. in der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OgewV) formuliert. Aufgeführt werden dort Umweltqualitätsnormen für prioritäre und flussgebietspezifische Stoffe.

Baden- Württemberg:

Gewässerbeurteilungsverordnung vom 30.08.04 zur Umsetzung der EU-WRRL.

Auf Grundlage von Beschlüssen der Umweltministerkonferenz u.a. vom 11.06.2010, werden Maßnahmen zur Untersuchung und Bewertung des Ist-Zustandes und zu einzelnen großtechnischen Projekten zur Spurenstoffelimination umgesetzt (AZV Mariatal/Ravensburg (170.000 EW), AZV Kressbronn (30.000 EW), AZV Stockacher Aach (43.000 EW)).

Durch Anreizsysteme – Zuwendungen, Minderung von Abgaben – wird die Umsetzung zunächst auf freiwilliger Maßnahmen gefördert.

Nordrhein-Westfalen:

Durch Anreizsysteme wird die Umsetzung zunächst auf freiwilliger Maßnahmen gefördert. Bei großtechnischer Umsetzung der Maßnahme beträgt die Förderung durch das Land NRW 70 % bei Antragstellung 2012, bzw. 60% bei Antragstellung 2013.

In einer im Auftrag des MKULNV NRW erstellten Situationsanalyse zum Ist-Zustand der Gewässer in Nordrhein-Westfalen wird ein weitreichender Handlungsbedarf in Bezug auf den Arzneimittelbeitrag aus kommunalem Abwasser festgestellt [14]. Verschiedene Ausbauszenarien von Kläranlagen die zu einer substanziellen Reduktion der Spurenstoffeinträge zur Erreichung von Trinkwasserzielwerten führen werden diskutiert.

Bayern:

Bayerische Gewässerqualitätsverordnung (BayGewQV) vom 04.04.2001, Bayerische Fischgewässerqualitäts-Verordnung (BayFischGewV) vom 30.04.1997.

Im Umgang mit anthropogenen Spurenstoffen in Gewässern wird als Vorgehensweise vorgegeben: Stufe 1: Umfassende Untersuchung und Bewertung der Ist-Situation; Stufe 2: Bei Erfordernis im Einzelfall: Planung und Umsetzung von Maßnahmen.

3. Rechtliche Belange und Grenzwerte

Schweiz:

Die Schweiz plant eine Änderung der Gewässerschutzverordnung (GSchV) die für ausgewählte Abwasserreinigungsanlagen einen Eliminationsgrad für Mikroverunreinigungen von mindestens 80% vorschreiben wird. Zudem werden die Anforderungen an die Wasserqualität bei Oberflächengewässern mit einem Passus betreffend Spurenstoffe ergänzt.

4 Spurenstoffelimination mit konventioneller Abwasserreinigung

Bereits durch die konventionelle Abwasserreinigung können bereits über 90 % vieler Spurenstoffe reduziert werden. So kann zum Beispiel das Schmerzmittel Ibuprofen im Belebungsverfahren effektiv reduziert werden. Andere Substanzen werden häufig nur unzureichend oder gar nicht reduziert. Arzneimittel wie das Antiepileptikum Carbamazepin oder das Röntgenkontrastmittel Iopamidol entstammen überwiegend häuslichem Abwasser und sind deshalb in verhältnismäßig hohen Konzentrationen im Ablauf der Kläranlagen zu finden, da sie einem Abbau in der kommunalen Kläranlage nicht zugänglich sind.

Folgende verfahrenstechnische Bedingungen wirken sich generell in der Kläranlage positiv auf die Elimination von Spurenstoffen aus:

- Hohes Schlammalter
- Kaskadierung und geringe Kreislauf- und Rücklaufschlammführung
- Weitgehende Suspensaentnahme zur Entfernung adsorptiv gebundener Stoffe

Eine gezielte Elimination von Spurenstoffen ist in einer konventionellen Belebungsanlage jedoch nicht möglich. Dieses kann nur mit einer weitergehenden Abwasserreinigung erfolgen, die derzeit durch F&E-Projekte erprobt werden. Erfahrungen liegen derzeit nur aus Pilotversuchen und ersten großtechnischen Anlagen, insbesondere für Verfahren zur Sorption an Aktivkohle und zur chemischen Oxidation vor. Im Gegensatz zu diesen Verfahren bewirkt eine alleinige Membranfiltration als Membranbelebungs- oder als nachgeschaltete Stufe keine signifikante Elimination der Mikroschadstoffe.

5 Verfahren zur Spurenstoffelimination

Oxidative oder adsorptive Verfahren können, als End-of-Pipe-Techniken im Anschluss an die konventionelle Reinigung, eine wichtige Rolle spielen, um die Schadstoffbelastung im Gewässer zu reduzieren. Mit beiden Verfahren kann ein Großteil der Mikroverunreinigungen mit einem Abbaugrad von über 80 % verringert werden.

Granulierte Aktivkohlen (GAK) bzw. Kornkohlen mit einem Korndurchmesser von 0,5 bis 4 mm werden vor allem in Form von Festbett-Adsorbern, sogenannte Aktivkohlefilter oder Adsorptionsfilter, verwendet. Des Weiteren wird Aktivkohle in Form von Pulveraktivkohle (PAK) mit einem Korndurchmesser von 1 bis 500 µm in der Abwasserbehandlung eingesetzt. Hierbei wird die Pulveraktivkohle direkt in den zu behandelnden Abwasserstrom dosiert und durch Absetzbecken oder Sandfiltrationen wieder abgetrennt.

Vorteile beim Einsatz von Aktivkohle sind:

- Tatsächliche Entfernung der Spurenstoffe bzw. Mikroschadstoffe
- Zusätzliche Reduzierung der CSB- und TOC-Ablaufwerte um bis zu 50 %

5.1 Pulveraktivkohle (PAK)

Bei der Anwendung von PAK wird vor allem eine hohe und schnelle Beladung der Aktivkohle bzw. Reduktion der zu adsorbierenden Stoffe angestrebt. Dabei soll die Kontaktzeit möglichst gering und der Wirkungsgrad hoch sein, um eine möglichst wirtschaftliche Reinigung zu erzielen. Beeinflusst wird dieses vor allem durch die Dosierungsstelle der PAK.

Je nach Dosierstelle der PAK wird zwischen zwei Verfahrensvarianten unterschieden:

- Vorgeschaltete Verfahren:
 - a) PAC-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung).
- Nachgeschaltete Verfahren:
 - b) PAC-Dosierung vor/in einem Sandfilter
 - c) PAC-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

a) PAK-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung)

Kennzeichen des adsorptiven Reinigungskonzepts ist die simultane PAK-Zugabe in das Belebungsbecken. Die PAK wird direkt in die Nitrifikationszone dosiert, in den belebten Schlamm eingebaut und mit dem Überschussschlamm aus der Reinigungsstufe entfernt. Sollte der Bele-

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

bungsstufe keine Filtration nachgeschaltet sein, ist bei dieser Verfahrensvariante ein Austrag von PAK durch den Abtrieb von abfiltrierbaren Stoffen aus der Nachklärung hinzunehmen.

Dieses Verfahren stellt eine relativ simple Option zur Entfernung von organischen Spurenstoffen dar. Als Hauptvorteil werden hierbei die geringen Investitionskosten angeführt, da die bestehende Belebungsanlage lediglich durch eine Dosiereinrichtung und eine Lagerstätte für die Pulveraktivkohle zu erweitern ist.

Kennzeichen der PAK-Dosierung in das Belebungsbecken sind:

- Neben Adsorption auch positive Effekte auf die Reinigungsleistung durch veränderte biochemische Abbauprozesse
- PAC wird über den Überschussschlamm aus dem System abgezogen
- Eine nachgeschaltete Flüssig/Fest-Trennung als gesonderte Sedimentations- und Filtrationsstufe kann entfallen
- Landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nicht mehr möglich
- Thermische Verwertung des Klärschlammes erforderlich
- Bei thermischer Schlammverwertung prinzipiell positive Auswirkung auf den Heizwert des Klärschlammes
- Positive Wirkung der Überschussschle auf Schlammwässerung
- Ökonomisch realisierbare PAC-Dosierung von 10 bis 20 mg/l

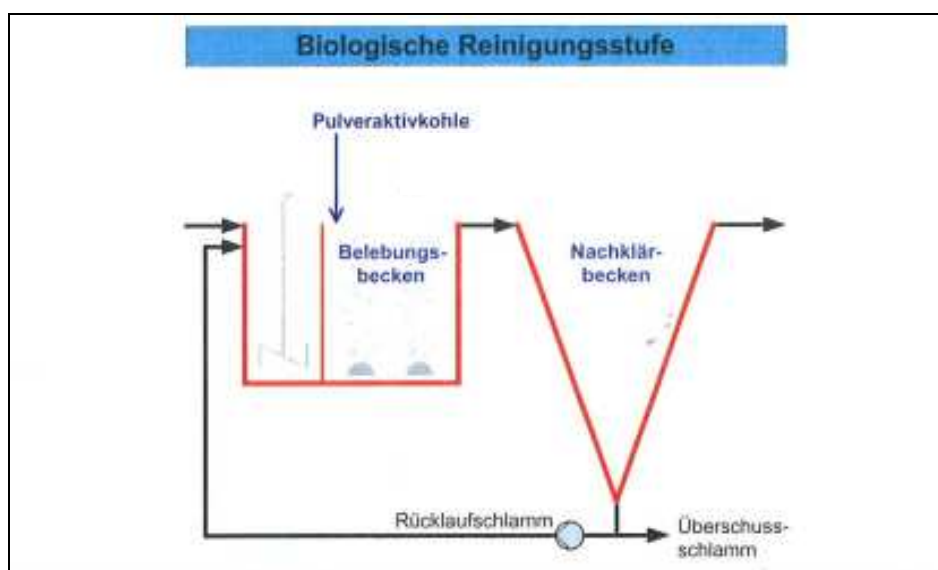


Bild 2: Schema der Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe [3]

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

b) PAK-Dosierung vor/in einem Sandfilter

Das adsorptive Reinigungskonzept dieser Variante besteht aus zwei Reinigungsstufen. Die frische PAK wird dem Abwasser nach der biologischen Reinigung kontinuierlich im Zufluss zur Filtration zugegeben. Der Überstau des Filters dient dabei als primärer Kontaktraum. Zur Sicherstellung eines weitgehenden Rückhalts des Adsorbens im Filterbett kann dem Abwasser vor dem Filter Fällmittel zugegeben werden. Die mit zunehmender Filterlaufzeit in das Filterbett eingelagerte PAK wird mit dem Spülabwasser zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität der PAK in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt, in den belebten Schlamm eingebaut und mit dem Überschussschlamm aus dem Reinigungssystem ausgeschleust.

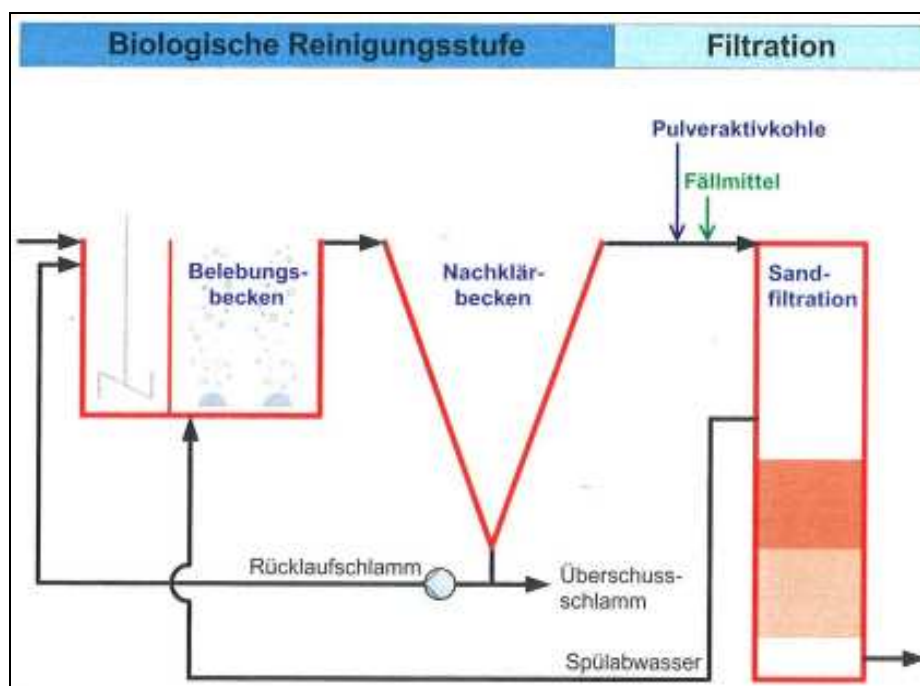


Bild 3: Schema der Pulveraktivkohledosierung vor einen Sandfilter [3]

c) PAK-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

Die Verfahrensvariante besteht aus drei einzelnen Reinigungsstufen. Die Dosierung der PAK erfolgt in der Adsorptionsstufe, die gleichzeitig auch das Kernstück der adsorptiven Reinigung bildet. Die Adsorptionsstufe besteht aus einem als dreistufige Kaskade ausgebildeten Kontaktreaktor und einem nachgeschalteten Sedimentationsbecken. Um im Sedimentationsbecken die PAK

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

besser abtrennen zu können, wird vor dem Kontaktreaktor dem zufließenden Abwasser Fällmittel zum Aufbau einer abtrennbaren Flocke dosiert. Die frische PAK wird direkt in den Kontaktreaktor zugegeben. Um eine verbesserte Abtrennung des feinen Kohlestaubs zu erzielen, wird dem „Kohle-Schlamm-Gemisch“ nach dem Kontaktreaktor Flockungshilfsmittel zudosiert. Der im Sedi-mentationsbecken abgesetzte „Kohle-Schlamm“ wird zur Mehrfachbeladung als „Rücklaufkohle“ wieder in das erste Becken des Kontaktreaktors zurückgeführt. Die Entnahme des „Kohle-Schlamm- Gemischs“ aus der Adsorptionsstufe erfolgt als „Überschussschle“.

Um die aus dem Sedimentationsbecken abtreibenden Feinstpartikel besser im nachgeschalteten Sandfilter zurückhalten zu können, kann vor dem Filter nochmals Fällmittel zugegeben werden (Prinzip der Flockungsfiltration). Gleichzeitig kann bei unzureichendem Reinigungsergebnis nach der Adsorptionsstufe eine Nachdosierung von PAK vor dem Filter vorgenommen werden.

Das aus dem Filterbetrieb anfallende Spülabwasser, und damit die zurückgehaltene PAK mit den entstandenen Fällmittelflocken, wird zur weiteren Ausnutzung der restlichen Adsorptionskapazität ebenso wie die „Überschussschle“ in die biologische Reinigungsstufe zurückgeführt. Letztendlich wird die PAK zusammen mit dem biologischen Überschussschle aus dem Reinigungssystem entnommen. Eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung ist nicht weiter möglich.

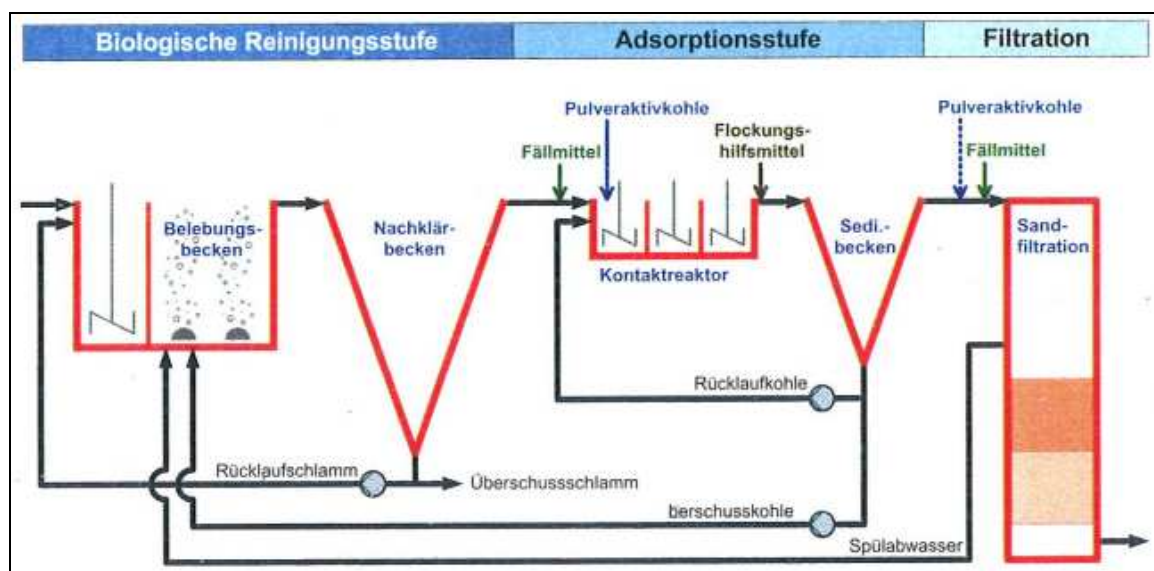


Bild 4: Schema der Pulveraktivkohledosierung in eine adsorptive Reinigungsstufe [3]

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

5.2 Granulierte Pulveraktivkohle (GAK) in Festbettfiltern

Hierbei handelt es sich um relativ einfache Ausführungen eines Flüssigphasen-Adsorbers, dessen Festbett mit einer Höhe von 1 bis 3 m im Allgemeinen aus gekörnten bzw. granulierten Aktivkohlen (GAK) besteht. Die zu reinigende Flüssigkeit durchströmt den Filter, wodurch die Adsorptivmoleküle adsorbiert werden. Eine charakteristische Eigenschaft dieses Reinigungsprozesses ist eine wandernde Adsorptionszone. Sobald die Kapazitätsgrenze erreicht und das Filterbett erschöpft ist, muss der Filter außer Betrieb genommen werden, um eine Regeneration oder einen Austausch des Adsorbens (Aktivkohle) zu ermöglichen. Bei einer Nichteinhaltung droht ein „Filterdurchbruch“, wobei die adsorbierten Schadstoffe wieder aus dem Filterbett gespült werden können.

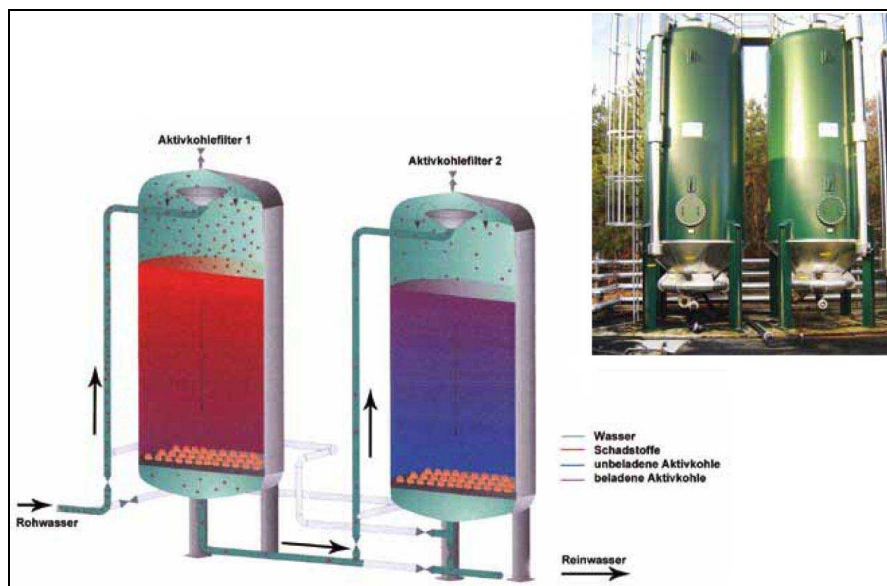


Bild 5: Schema eines Festbettfilters mit granulierter Aktivkohle (Quelle: Fa. Donau Carbon)

Neben der Einsatz von granulierter Aktivkohle in Adsorbern, die insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung zur Anwendung kommen, wird derzeit die Verwendung von granulierter Aktivkohle in vorhandenen Kläranlagen-Filtrationen erprobt.

Pilotanlagen werden im großtechnischen Maßstab u. a. auf den Kläranlagen Gütersloh, Bielefeld Obere Lutter, Bad Oeynhausen betrieben. Einzelne Kammern vorhandener Flockungsfiltrationen wurden auf einen Betrieb mit granulierter Aktivkohle umgerüstet.

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Kennzeichen zum Einsatz granuliert Aktivkohle in Festbettssystemen sind:

- Tatsächliche Entfernung der Schadstoffe
- Reduzierung der CSB- und TOC-Ablaufwerte
- Landwirtschaftliche Klärschlammentsorgung bleibt möglich.
- Im Vergleich zu PAK reduzierter Aktivkohleeinsatz in Festbettssystemen

5.3 Oxidation mit Ozon (O₃)

Auch in der Behandlung von kommunalen und industriellen Abwässern zur Spurenstoffelimination kann Ozon zum Einsatz kommen. Die Ozonierung wird dabei der üblichen Abwasserreinigung durch Mikroorganismen zusätzlich nachgeschaltet. Allerdings handelt es sich bei Kläranlagen mit Ozonanlagen meist um Pilotprojekte (wie zum Beispiel in Regensdorf-Watt in der Schweiz), denn die Produktion von Ozon in solch großen Maßstäben ist relativ energieaufwändig und die Schutzmaßnahmen gegen den giftigen und ätzenden Stoff sind erheblich.

Ziele einer weitergehenden Ozonbehandlung des konventionell gereinigten Abwassers sind: (a) Abtötung pathogener Keime (Desinfektion) zur Sicherung des Vorfluters (z. B. in Hinsicht auf die Badegewässerrichtlinie) (b) oxidative Elimination/Transformation von nicht oder nur schlecht abbaubaren organischen Spurenstoffen (insbesondere Medikamentenrückstände).

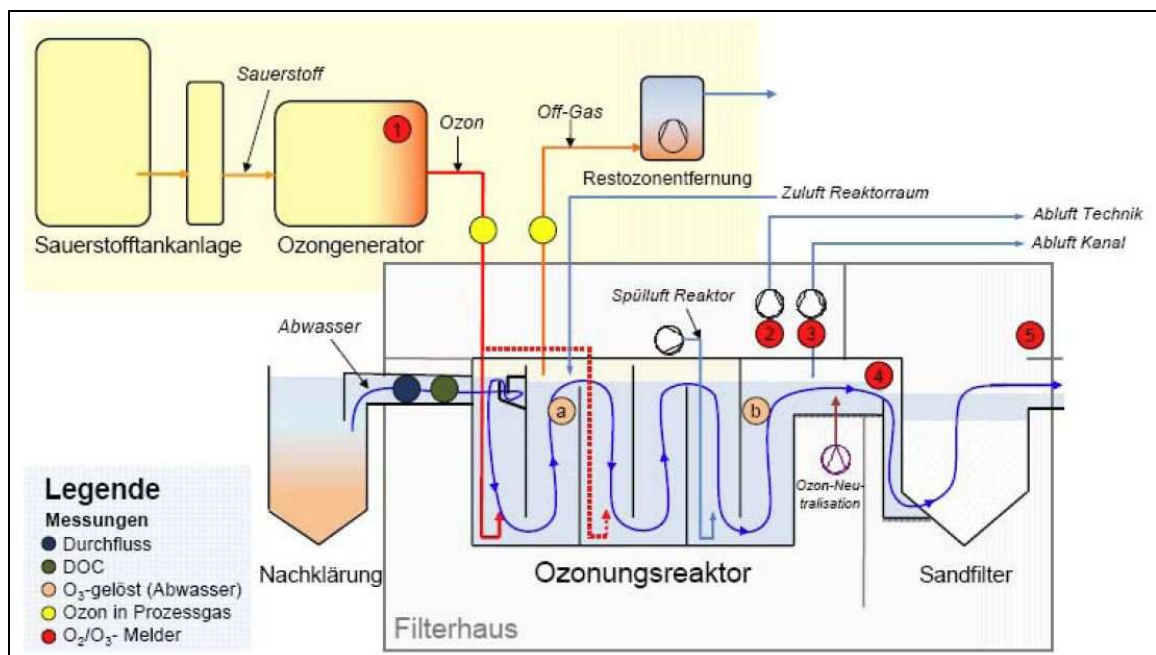


Bild 6: Schematische Darstellung einer Ozonierungsanlage [1]

5. Verfahren zur Spurenstoffelimination

Grundsätzlich sind auch Oxidationsmittel wie Wasserstoffperoxid oder die Kombination mit der UV-Bestrahlung einsetzbar. Diese sind allerdings in der Praxis kommunaler Kläranlagen noch nicht anwendungsreif.

Vorteil der Oxidation ist, dass auch eine Entkeimung erreicht wird, zudem wird die Konzentration vieler Mikroverunreinigungen bis unter die Nachweisgrenze reduziert. Durch das höheren Oxidationspotentials von Ozon werden auch Stoffe oxidiert, die bei der biologischen Umsetzung als inert gelten.

Chemikalien werden in der Regel nicht vollkommen mineralisiert, sondern transformiert zu Zwischenprodukten mit häufig unbekannter Toxizität. So führt die Ozonierung von Carbamazepin bei der Trinkwasseraufbereitung zu mindestens sieben Reaktionsprodukten, zu denen kaum toxikologischen Daten verfügbar sind [20].

6. Zentralkläranlage Rietberg

6 Zentralkläranlage Rietberg

6.1 Kurzbeschreibung Kläranlage

Die Kläranlage wurde 1989 für eine Anschlussgröße von 30.000 Einwohnerwerte (EW) errichtet.

Nach dem 1. Ausbauabschnitt (1999 bis 2001) auf eine Behandlungskapazität von 39.000 EW bestand die Abwasserbehandlung der Kläranlage im Wesentlichen aus einer mechanischen Stufe (Zulaufpumpwerk, Rechen, Sandfang), einer biologischen Stufe (Einstufige, 2-straßige Belebung mit simultaner Nitrifikation/Denitrifikation und vorgeschalteter Anaerobstufe) sowie einer nachgeschalteten Filtration und Schönungsteichen.

Im 2. Bauabschnitt (2008 - 2010) erfolgte die Umstellung der Zentralkläranlage Rietberg von der aeroben auf die anaerobe Schlammstabilisation mit der Errichtung eines Vorklärbeckens und der Schlammfäulung. Die Größe der Schlammbehandlung orientiert sich mit 60.000 EW an der zukünftigen Ausbaugröße der biologischen Stufe nach dem 3. Bauabschnitt.

Der Ausbau umfasste: Sand- und Fettfang, Vorklärbecken und Primärschlammumpwerk, Verteilerbauwerk, Faulbehälter mit Schlammbehandlung, maschinelle Überschussschlammwindung, Krählwerk Nacheindicker, Gasbehälter und Gasfackel, Blockheizkraftwerk und Heizung sowie verbindende Leitungen und EMSR-Technik.



Bild 7: Faulbehälter, Gasbehälter (links); Vorklärbecken (rechts) Kläranlage Rietberg

Für die Erweiterung der biologischen Stufe ist eine 3. Belebungsstraße mit den entsprechenden Bauwerken für eine Gesamtausbaugröße der Kläranlage auf 60.000 EW geplant (Bild 8).

6. Zentralkläranlage Rietberg

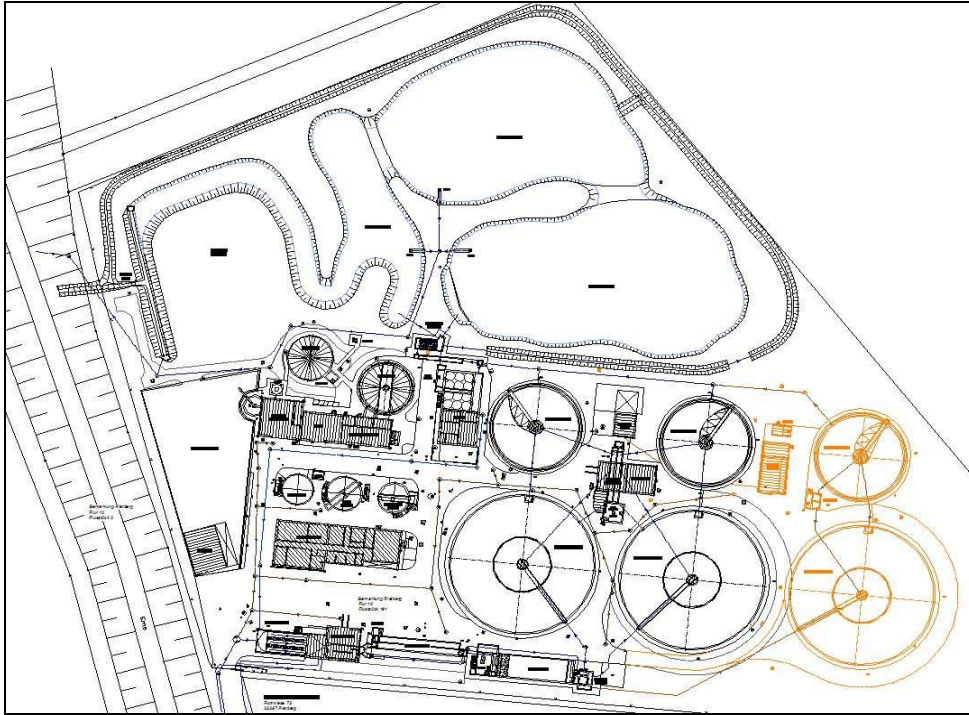


Bild 8: Lageplan zum geplanten Endausbau der Zentralkläranlage Rietberg (in orange: 3. BA)

Die Bemessungs- und Auslegungswerte der Kläranlage Rietberg für den Ist- und den Ausbauzustand (2006, 2025) werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Das Abwasser der Stadt Rietberg entspricht im Wesentlichen den durchschnittlichen Werten für kommunales Abwasser des Arbeitsblattes DWA-A131. Krankenhäuser und indirekt einleitende Industriebetriebe die zu einer potentiell hohen Fracht an Spurenstoffen im Abwasser beitragen könnten, sind soweit bekannt nicht an die ZKA Rietberg angeschlossen.

6. Zentralkläranlage Rietberg

Tabelle 1: Bemessung- und Auslegungswerte Kläranlage Rietberg

	Ist-Zustand 2006	Ausbauzustand 2025
<u>Einwohnerwerte</u>		
Wohngebiete und Kleingewerbe	24.200 EW	27.200 EW
Gewerbegebiete und Industrie	18.300 EW	25.000 EW
Reservekapazität		3.200 EW
Einwohnerwerte aus Kanalisation	42.500 EW	56.000 EW
Fäkalschlamm	4.000 EW	4.000 EW
Summe der Einwohnerwerte	46.500 EW	60.000 EW
<u>Trockenwetterabfluss</u>		
täglicher Trockenwetterabfluss $Q_{T,d}$	4.189 m³/d	5.460 m³/d
mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{T,M}$ (über 24 h/d)	49 l/s	63 l/s
maximaler TW-Abfluss $Q_{T,max}$ (Tagesspitze über 15,5 h/d)	75 l/s	98 l/s
minimaler TW-Abfluss $Q_{T,min}$ (Nachtminimum über 46 h/d)	25 l/s	33 l/s
jährliche Schmutzwassermenge	1,53 Mio. m ³ /a	1,99 Mio. m ³ /a
<u>Regenabfluss</u>		
Regenabfluss aus Trennsystem $Q_{R,Tr}$ (99%-Wert)	212 l/s	235 l/s
maximaler Regenabfluss $Q_{R,max}$ (Leistung der Zulaufpumpwerke)	315 l/s	315 l/s
jährliche Abwassermenge (TW + RW)	1,80 Mio. m ³ /a	2,26 Mio. m ³ /a

6. Zentralkläranlage Rietberg

6.2 Dyna-Sand®-Filtration

Konzipiert ist die Filtration als nachgeschaltete Denitrifikation unter Dosierung von Methanol und zur P-Elimination als Nachfällung mit Zugabe von Eisen-III-Chlorid.

Die 12 Filterzellen mit einer Gesamtoberfläche von 60 m² sind für eine Wassermenge von rd. 240 l/s ausgelegt worden. Im Praxisbetrieb hat sich jedoch gezeigt, dass die Anlage bei Betrieb aller drei Tauchmotorpumpen zwar mit einer Wassermenge bis ca. 300 l/s beschickt werden kann, jedoch ab einer Filterbeschickung von ca. 130 l/s die Regelklappe öffnet und die Anlage im Teilstrom umgangen wird. Konzeptionell verkraftet die Filtration somit den zukünftigen maximalen Trockenwetterabfluss von 98 l/s, ist aber beim Regenabfluss von 235 l/s hydraulisch überlastet.

Tabelle 2: Zusammenstellung technische Daten – Filtration ZKA Rietberg

Technik, Ausführung	Beschreibung
Filterverfahren	Dyna-Sand® Filter, Fa. Nordic Water
Filtertyp:	6 DS 5000 K 3,5 m
Ausführung	2-straßig mit je 6 Filterkammern je Straße
Messtechnik	MID im Zulauf
Baujahr	2000
Anzahl Filterzellen	12
Gesamtfläche	60 m ²
Filterbetthöhe:	3,5 m
Max. Oberflächenbelastung:	14 m/h
Filtermaterial (derzeit):	Körnung: Dyn Aktiv 1,0 – 1,6 mm
Waschwassermenge:	max. 36 m ³ /h, red. 20 m ³ /h

6. Zentralkläranlage Rietberg



Bild 9: Dyna-Sand Filtration ZKA Rietberg

Das Ablaufpumpwerk mit zwei Förderschnecken dient bei Teilumgehung der Filtration zur Anhebung des Nachklärbeckenablaufes auf die Niveauhöhe des Schönungsteiches.

Vorhandene Schneckenpumpen 1 und 2 (Baujahr 1987):

- Fabrikat: Spaans Babcock; Typ: 19.387
- Förderleistung: 133 l/s; Förderhöhe: 3,20 m

Die Gesamtfördermenge des Ablaufpumpwerkes beträgt 266 l/s.

Funktionsprinzip Dyna-Sand® Filtration

Das Funktionsprinzip des Dyna-Sand® Filters verdeutlicht Bild 10. Der Filter kann kontinuierlich beschickt werden. Das Sandbett befindet sich in ständiger Bewegung von oben nach unten. Der Sand wird durch eine Mammutpumpe gehoben und vor erneuter Zugabe auf das Sandbett in einem Sandwäscher gereinigt.

6. Zentralkläranlage Rietberg

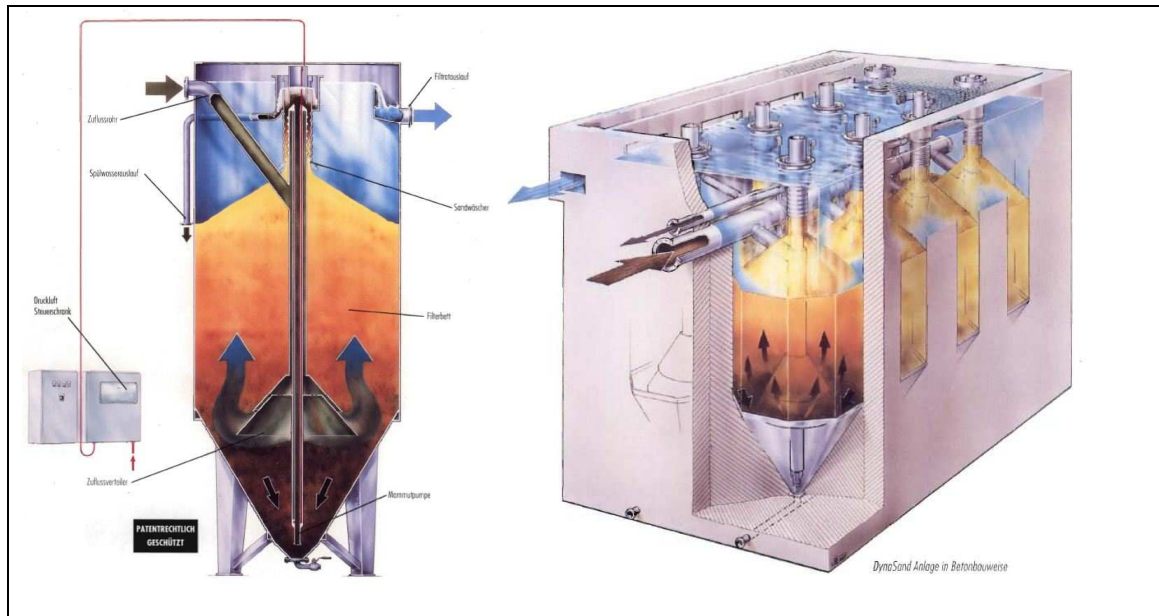


Bild 10: Dyna-Sand® Filter – Funktionsskizze (Quelle: Fa. Nordic-Water GmbH)

7. Screening zu Spurenstoffen

7 Screening zu Spurenstoffen - Analysenergebnisse

Zur Abschätzung der Belastung der Kläranlagenabläufe mit Spurenstoffen, wurde zu Beginn der Untersuchungen ein Screening verschiedener Spurenstoffe im Ablauf der Filtration vorgenommen. Untersucht wurden 76 Einzelsubstanzen, im wesentlichen Arzneimittelwirkstoffe (siehe Anhang):

Arzneimittelwirkstoffe:

- Antibiotika
- Antiepileptika
- Betablocker
- Kontrastmittel
- Lipidsenker
- Schmerzmittel
- Asthmamittel

Es wurden insgesamt fünf Proben entnommen, im Zeitraum 28.04.2011 bis 14.12.2011.

Die Proben wurden als Stichproben entnommen. Während der Probenahme und mindestens zwei Tagen vor der Probenahme trat kein Niederschlag auf.

Für die in der nachfolgenden Tabelle 3 aufgeführten Parameter zeigten sich signifikant erhöhte Konzentrationen von über 300 ng/l, die über den Umweltqualitätsnormen (UQN) des LAWA liegen.

Tabelle 3: Spurenstoffe mit signifikant erhöhten Werten im Ablauf der Filtration

Gruppe	Wirkstoff	Wert	LAWA - UQN
Antibiotika	Sulfamethoxazol	520 – 1.100 ng/l	LAWA UQN 100 ng/l
	Trimethoprim	87 - 370 ng/l	
Antiepileptika	Carbamazepin	1.100 - 1.800 ng/l	LAWA UQN 500 ng/l
Betablocker	Bisoprolol	120 – 330 ng/l	
	Metroprolol	1.600 – 3.500 ng/l	
	Sotalol	650 – 750 ng/l	
Röntgenkontrastmittel	Amidotrizoesäure	< 50 – 2.900 ng/l	
	Iohexol	< 50 – 1.900 ng/l	
	Iomeprol	< 50 – 3.900 ng/l	
	Iopamidol	< 50 – 2.800 ng/l	
	Ioxithalaminsäure	170 – 600 ng/l	
Schmerzmittel	Diclofenac	1.800 – 3.400 ng/l	LAWA UQN 100 ng/l

7. Screening zu Spurenstoffen

In Bild 11 werden die wesentlichen im Ablauf der Filtration festgestellten Mikroschadstoffkonzentrationen dargestellt (Anzahl Stickproben: 10). Auffallend ist, dass für einzelne Substanzen dauerhaft relativ hohe Konzentrationen von über 1 $\mu\text{g/l}$ gemessen wurden, z. B. für Carbamazepin, Diclofenac, Acesulfam, Sucralose und Benzotriazol, während andere Spurenstoffe starke Schwankungen aufweisen und zum Teil nicht nachweisbar sind. Hierzu gehören vor allem Röntgenkontrastmittel wie Iohexol und Ioxithalaminsäure. Das Screening zeigt, dass eine Reihe Substanzen nicht nachweisbar sind (siehe Anlage), bzw. nur vereinzelt und in geringer Konzentration nachweisbar waren. Hierzu gehören Antirheumatika, Lipidsenker und Schmerzmittel wie Ibuprofen und Phenazon.

Eine sehr hohe Konzentration von 47 $\mu\text{g/l}$ Acesulfam wurde am 08.04.13 festgestellt. Industrielle Einleitungen können hier als Ursache vermutet werden.

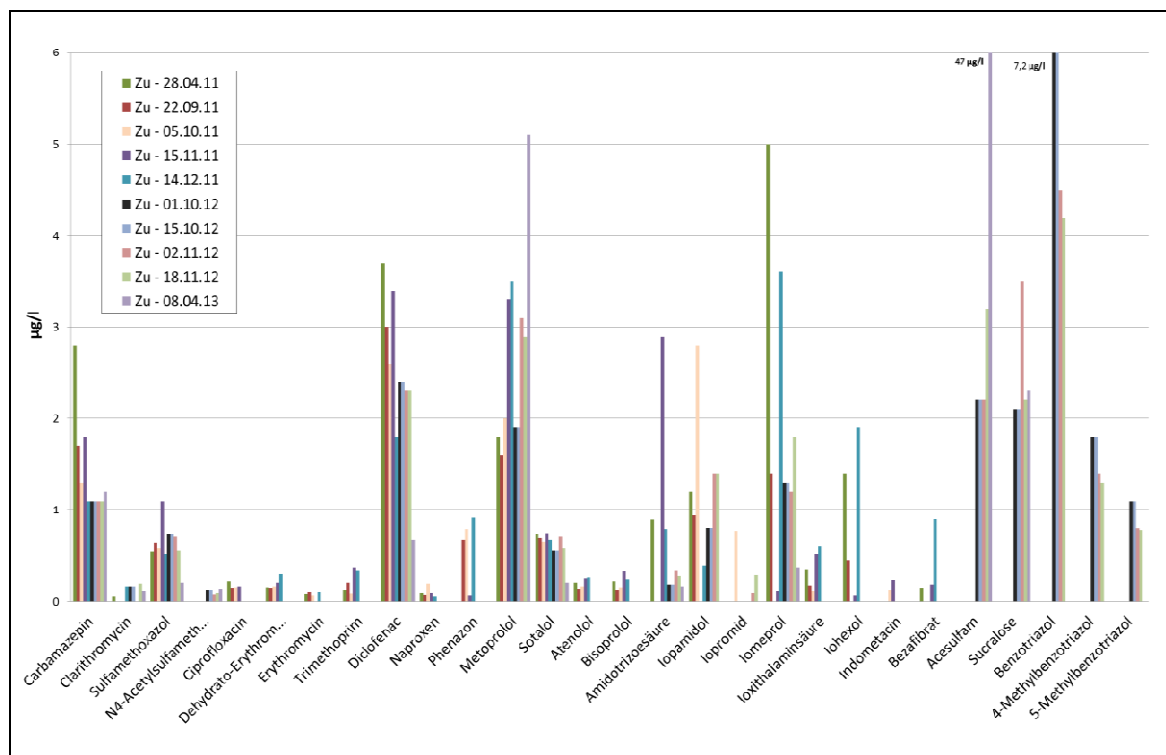


Bild 11: Screening der nachweisbaren Mikroschadstoffe im Ablauf der Filtration

Ein Vergleich der festgestellten Spurenstoffkonzentrationen mit ausgewählten Parametern der Literatur zeigt Tabelle 4. Insbesondere für oft in Kläranlagenabläufen in erhöhter Konzentration auftretende Leitparameter wie Carbamazepin und Diclofenac zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Literaturwerten.

7. Screening zu Spurenstoffen

Von durchschnittlichen Spurenstoffkonzentrationen in Abwässern stark abweichende Parameter wurden für die Kläranlage Rietberg nicht beobachtet.

Tabelle 4: Vergleich ausgewählter Spurenstoffe – Kläranlage Rietberg (andere Kläranlagen [4])

Wirkstoff	KA Rietberg	KA Neuss Ost *	KA Schwerte**	KA Bad Sassendorf**	KA Duisburg **
Sulfamethoxazol	520 – 1.100 ng/l	700 ng/l	1.000 ng/l	710 ng/l	649 ng/l
Carbamazepin	1.100 - 1.800 ng/l	1.400 ng/l	1.100 ng/l	1.300 ng/l	1.800 ng/l
Amidotrizoessäure	< 50 – 2.900 ng/l	10.400 ng/l	8.800 ng/l	450 ng/l	800 ng/l
lomeprol	< 50 – 3.900 ng/l	2.700 ng/l	1.800 ng/l	380 ng/l	800 ng/l
lopamidol	< 50 – 2.800 ng/l	1.300 ng/l	200 ng/l	1.500 ng/l	< 50 ng/l
Diclofenac	1.800 – 3.400 ng/l	1.100 ng/l	3.000 ng/l	4.900 ng/l	1.271 ng/l
*Mittelwert, n = 3; **Mittelwert, n = 7;					

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der Kläranlage Rietberg zur Spurenstoffelimination

Für die nachfolgende Variantenbetrachtung werden die in Abschnitt 5 vorgestellten wesentlichen Verfahrenstechniken zur Mikroschadstoffentfernung hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit auf der Zentralkläranlage Rietberg untersucht.

Die Verfahren unterscheiden sich in Bezug auf die Eliminationsleistung, die Wirtschaftlichkeit und weiterer Faktoren wie dem Raumbedarf, der vorhandenen Anlagentechnik, der Einflüsse auf die Klärschlammensorgung u.a..

Aus Sicht des Betreibers sind weitere Faktoren bei der Verfahrensauswahl zu berücksichtigen, wie eine hohe Betriebsstabilität bei schwankenden Abwassermengen und veränderlichem Abwasser (pH-Wert, Temperatur u. a.), möglichst geringer Personalbedarf und einfache Betreuung der Anlage, Integrationsfähigkeit in bestehende Anlagen, Erweiterbarkeit sowie Überwachung und Steuerung durch Online-Messtechnik.

Folgende Verfahren wurden betrachtet:

1. Adsorptive Verfahren - Pulveraktivkohle (PAC)

- 1a. PAC-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung),
- 1b. PAC-Dosierung vor/in einem Sandfilter,
- 1c. PAC-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe

2. Adsorptive Verfahren - Granulierte Aktivkohle (GAC)

- 2a. Festbett-Adsorber,
- 2b. Festbett-Aktivkohle-Filtration,
- 2c. Dyna-Sand-Aktivkohle-Filtration

3. Oxidative Verfahren

3. Ozonungsanlage vor einem Sandfilter

Die Dimensionierung der Reinigungsstufe erfolgt überschlägig nach Literaturangaben. Da derzeit keine verbindlichen Reinigungsziele für Mikroschadstoffe in kommunalen Kläranlagen bestehen, ist eine der wesentlichen Kostenfaktoren, die zu behandelnde Wassermenge, nicht definiert. Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass maximal der Trockenwetterabfluss zu behandeln ist. Im Regenwetterfall ist die Konzentration der Mikroschadstoffverunreinigung durch Verdünnung reduziert.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Die über den Trockenwetterzufluss hinaus gehende Abwassermenge umgeht die Behandlungsstufe über einen Bypass, bzw. wird nicht in die Behandlungsstufe gefördert

Für die Kostenschätzung werden grobe Angaben, teilweise unter Verwendung von Literaturdaten, verwendet. Reale Kosten, z.B. zur Klärschlamm Entsorgung, können je nach Marktlage deutlich abweichen. Eine thermische Verwertung von Klärschlamm kann auch nach Zugabe von PAK und der damit einhergehenden Erhöhung des Heizwertes nicht kostenmindernd angenommen werden. Vergleichsrechnungen zeigen bei einem Klärschlamm-Trockensubstanzgehalt von 27% (Heizwert: 3.000 kJ/kg), einer Zugabe von 10 mg/l PAK (Heizwert: 32.000 kJ/kg), eine Erhöhung des Heizwertes des Klärschlamm-PAK-Gemisches auf 4.830 kJ/kg [4]. Eine Verwertung durch Verbrennung ist ab einem Heizwert von ca. 11.000 kJ/kg wirtschaftlich.

Die Klärschlammmenge wird als konstant angenommen, ein zusätzlicher Schlammanfall durch PAK, Adsorption, Fällung wird vernachlässigt.

Die Betrachtungen erfolgen für den prognostizierten Endausbauzustand des Jahres 2025.

Eine mögliche Förderung der Maßnahme sowie Einsparungen durch eine verminderte Abwasserabgabe bei reduzierten CSB-Ablaufkonzentrationen werden in den Kostenaufstellungen vernachlässigt.

Verwendete Faktoren der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zur Ermittlung der Jahreskosten nach LAWA [5]:

Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten DFAKE (i;n) - Zinszeitraum 15 Jahre: 0,64186

Kapitalwidergewinnungsfaktor KFAKR (i;n) - Zinszeitraum 30 Jahre: 0,05102

Als Nutzungsdauer werden 30 Jahre für die Bautechnik und 15 Jahre für die Maschinen- und Elektrotechnik angesetzt.

Zinssatz: 3 %

Betrachtungszeitraum der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung: 30 Jahre

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Folgende spezifischen Kosten wurden bei der Ermittlung der Betriebskosten berücksichtigt:

Energie: 0,15 €/kWh

Personal: 40,-- €/h

Pulveraktivkohle (PAK): 1,5 €/kg – 1,7 €/kg

Granulierte Aktivkohle (GAK): 1,90 – 2,00 €/kg; Kostenabschlag regenerierte GAK: 70%

(Anmerkung: die Literatur benennt GAK Kosten von unter 1,5 €/kg. Verwendet wurden Richtpreise zu verwendeten GAK).

Fällmittel: 0,16 €/kg

Flockungshilfsmittel: 4,50 €/kg

Sauerstoff: 0,20 €/kg O₂

Schlamm Entsorgung (Verbrennung): 80,-- €/t (entwässerter Schlamm)

Differenz zu bestehender landw. Klärschlamm Entsorgung: 41,-- €/t

Instandhaltung: 0,5 – 1,5% der Investitionskosten

8.1 Variante 1a - Pulveraktivkohle-Dosierung in die biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung)

Die Variante 1 a berücksichtigt eine PAC Dosierung in die Nitrifikationszone der Kläranlage Rietberg (Bild 12).

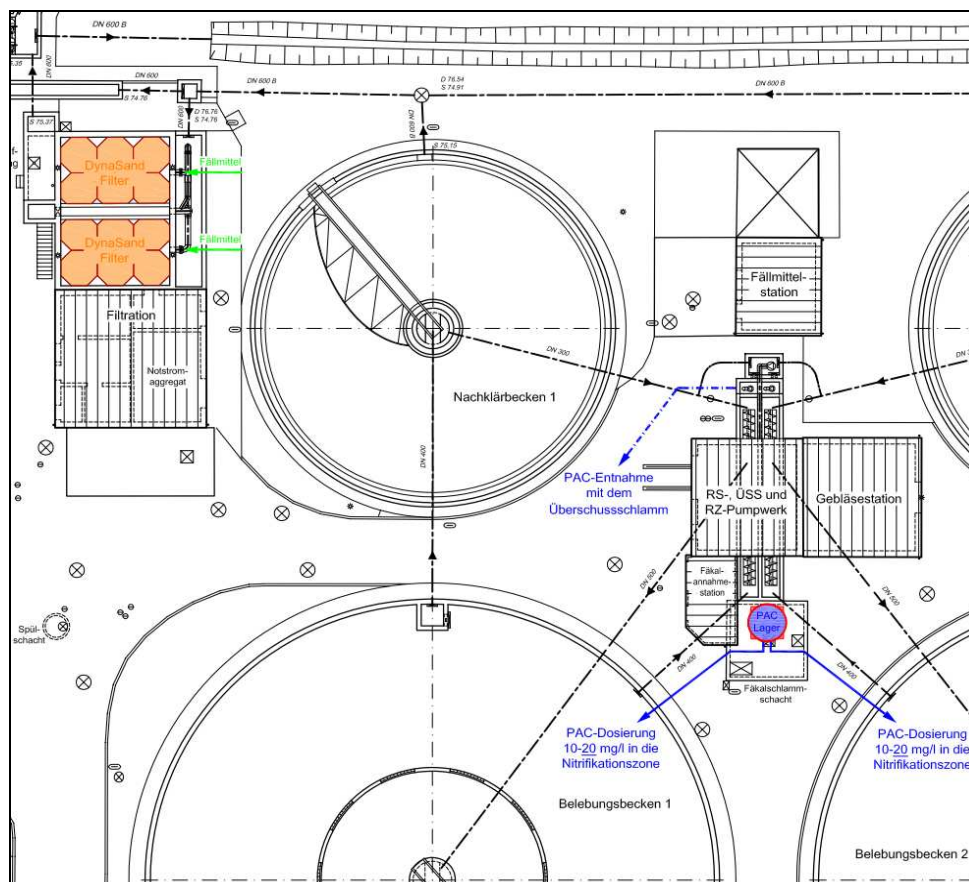


Bild 12: Lageplan KA Rietberg - Variante 1a - PAK-Dosierung in die biologischen Reinigungsstufe

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Errichtung eines PAK Lagertanks sowie der Dosiereinrichtung und der zuführenden Leitungen.

Räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks vor dem Gebäude des RS-Pumpwerkes.

Elektrotechnische Anbindung.

Messtechnik zur volumenproportionalen Zugabe der PAK: vorhandenes MID im Zulauf der KA.

Bemessung / Dosierung:

Dosierung:

Spez. Dosiermenge PAK: 10 bis 20 mg/l; gewählt: 20 mg/l

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s

Tägliche PAK Dosiermenge (bei TW): $63 \text{ l/s} \times 24 \text{ h} \times 20 \text{ mg/l PAK} = \text{rd. } 109 \text{ kg/d}$

Maximaler Monatsbedarf PAK: $109 \text{ kg/d} \times 30 \text{ d} = 3.270 \text{ kg/Monat}$

Auslegung Silobehälter PAK:

Annahme: Anlieferung alle 2 Monate.

Die Wirtschaftlichkeit anderer Anlieferintervalle ist in Bezug auf Lieferkosten, Vorhaltekosten zu prüfen.

Schüttdichte (gestampft), z.B. Norit SAE Super: 425 kg/m^3

Erforderliches Lagervolumen: $2 \text{ Monate} \times 3.270 \text{ kg /Monat} / 425 \text{ kg/m}^3 = 15,4 \text{ m}^3$; gewählt: 20 m^3

Die Befüllung des Silobehälters erfolgt pneumatisch über das Silofahrzeug.

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerieren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird gravimetrisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierler staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen der Nitrifikation zugeführt.

Kostenannahme:

Der Aufwand für Personalkosten wird auf 20 h pro Monat geschätzt.

Eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes ist bei diesem Verfahren nicht weiter möglich. Der gesamte Klärschlamm ist in einer Verbrennungsanlage zu entsorgen.

Kosten landwirtschaftliche Entsorgung KA Rietberg: ca. 1.900 t/a (2011), 31 €/t netto, rd. 59.000,- €a

Kosten Verbrennung, Transport: 80,- €/t netto (entwässerter KS).

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Tabelle 5: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 1a - PAK-Dosierung in die biologische Reinigungsstufe

Variante 1a - PAK in BB		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
Investitionskosten					
PAK-Lagersilo (20 m³)	140.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		7.143 €
Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung	45.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.770 €
Leitungen	10.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		510 €
Fundamente, Bautechnik	5.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		255 €
Elektro, MSR-Technik	7.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	628 €
Investkosten (netto)	207.500 €				12.306 €
Investkosten (brutto)	246.925 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
PAK (20 mg/l)	1,5 €/kg	109 kg/d	20 mg PAK/l	164 €	58.860 €
Energie Dosierung, Förderung	0,15 €/kWh	48,0 kW/d	2,0 kWh/h	7 €	2.628 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				9 €	3.113 €
Personalkosten	40 €/h	20 h/Monat		27 €	9.600 €
Mehrkosten Schlammments. (Verbrennung):	49 €/t	1900 t/a		255 €	93.100 €
Betriebskosten (netto)					167.301 €
Summe Jahreskosten - Variante 1a (netto)					179.606 €
- Variante 1a (brutto)					213.732 €
Spezifische Kosten (brutto)	angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	4,60 €/EW/a	
	Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m³/a	Kosten pro m³:	0,14 €/m³	

Diskussion der Variante 1a:

Grundsätzlich ist eine PAK Dosierung auf der Kläranlage Rietberg zu betreiben. Die bauliche Umsetzung ist einfach über den Bau eines PAK Behälters sowie der zugehörigen Dosiertechnik zu realisieren. Es ist eine einfache Steuerung und Einbindung in das Prozessleitsystem der Kläranlage unter Nutzung vorhandener Messtechnik (MID Zulauf) möglich. Als entsprechend gering ist der personelle Betreuungsaufwand sowie der energetische Aufwand einzuschätzen.

Nachteilig ist, dass die PAK Beladung nicht selektiv für Mikroschadstoffe erfolgt, sondern auch sonstige Abwasserinhaltsstoffe adsorbiert werden. Die zu dosierende PAK Menge ist entsprechend erhöht.

Die bisherige landwirtschaftliche Klärschlammmentsorgung muss zugunsten einer Klärschlammverbrennung aufgegeben werden.

8.2 Variante 1b - Pulveraktivkohle-Dosierung in den Zulauf der Dyna-Sand® Filtration

Die Variante berücksichtigt eine PAC Dosierung in den Zulauf der Dyna-Sand® Filtration der Kläranlage Rietberg (Bild 13).

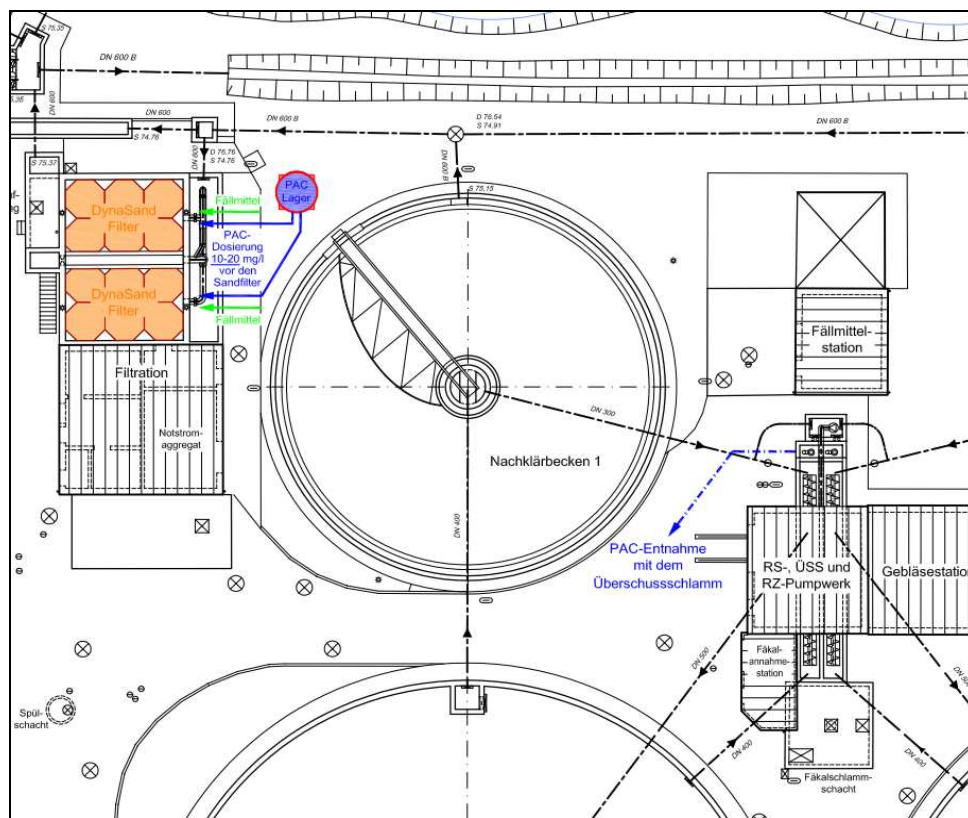


Bild 13: Lageplan KA Rietberg - Variante 1b - PAK-Dosierung in den Zulauf zur vorhandenen Filtration

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Errichtung eines PAK-Lagertanks sowie der Dosiereinrichtung und der zuführenden Leitungen.

Räumliche Anordnung des PAK-Lagertanks vor dem Filtrationsgebäude.

Elektrotechnische Anbindung.

Messtechnik zur volumenproportionalen Zugabe der PAK: vorhandenes MID im Zulauf der KA

Als Untervariante ist im Zuge einer Realisierung zu prüfen, ob die Reaktions- / Kontaktzeit für die PAK Dosierung ausreichend ist. Ergänzend ist ggf. ein vorgelagerter Reaktionsraum zu schaffen um einen

höheren Ausnutzungsgrad der Pulveraktivkohle zur Erreichen und damit einen Betrieb mit geringeren PAK-Zugabemengen zu ermöglichen, als bei direkter Zugabe in den Zufluss zur Filtration.

Bemessung / Dosierung:

Dosierung:

Spez. Dosiermenge PAK: 10 bis 20 mg/l; gewählt: 15 mg/l

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s

Tägliche PAK Dosiermenge (bei TW): 63 l/s x 24 h x 15 mg/l PAK = rd. 82 kg/d

Maximaler Monatsbedarf PAK: 82 kg/d x 30 d = 2.460 kg/Monat

Auslegung Silobehälter PAK:

Annahme: Anlieferung alle 2 Monate.

Die Wirtschaftlichkeit anderer Anlieferintervalle ist in Bezug auf Lieferkosten, Vorhaltekosten zu prüfen.

Schüttdichte (gestampft), z.B. Norit SAE Super: 425 kg/m³

Erforderliches Lagervolumen: 2 Monate x 2.460 kg /Monat / 425 kg/m³ = 11,6 m³; gewählt: 15 m³

Die Befüllung des Silobehälters erfolgt pneumatisch über das Silofahrzeug.

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerieren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird gravimetrisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierler staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen in den Zulauf zur Filtration geführt.

Kostenannahme:

Der Aufwand für Personalkosten wird auf 25 h pro Monat geschätzt. Eingerechnet wird ein zusätzlicher Betreuungs- / Wartungsaufwand zum Betrieb der Filtration.

Eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes ist bei diesem Verfahren nicht weiter möglich. Der gesamte Klärschlamm ist in einer Verbrennungsanlage zu entsorgen.

Kosten landwirtschaftliche Entsorgung KA Rietberg: ca. 1.900 t/a (2011), 31 €/t netto, rd. 59.000,-- €a

Kosten Verbrennung, Transport: 80,-- €/t netto (entwässerter KS).

Es wird ein erhöhter Aufwand zur Filterspülung angesetzt, bzw. zum Betrieb der Mammutpumpen.

Kosten für Fällmittel sind im derzeitigen Anlagenbetrieb enthalten.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Tabelle 6: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 1b - PAK-Dosierung in den Zulauf zur vorhandenen Filtration

Variante 1b - PAK in Filtration		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
PAK-Lagersilo (15 m³)	120.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		6.122 €
Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung	40.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.351 €
Leitungen	10.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		510 €
Fundamente, Bautechnik	5.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		255 €
Elektro, MSR-Technik	7.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	628 €
Investkosten (netto)	182.500 €				10.867 €
Investkosten (brutto)	217.175 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
PAK (15 mg/l)	1,6 €/kg	82 kg/d	15 mg PAK/l	131 €	47.232 €
Energie Dosierung, Förderung	0,15 €/kWh	48,0 kW/d	2,0 kWh/h	7 €	2.628 €
Mehrkosten Energie Filterspülung	0,15 €/kWh	60,0 kW/d	2,5 kWh/h	9 €	3.285 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				8 €	2.738 €
Personalkosten	40 €/h	25 h/Monat		33 €	12.000 €
Mehrkosten Schlammments. (Verbrennung):	49 €/t	1900 t/a		255 €	93.100 €
Betriebskosten (netto)					160.983 €
Summe Jahreskosten - Variante 1b (netto)					171.849 €
- Variante 1b (brutto)					204.501 €
Spezifische Kosten (brutto)	angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	4,40 €/EW/a	
	Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m³/a	Kosten pro m³:	0,134 €/m³	

Diskussion der Variante 1b:

Grundsätzlich ist eine PAK Dosierung im Zulauf der Filtration auf der Kläranlage Rietberg zu betreiben. Die bauliche Umsetzung ist einfach über den Bau eines PAK Behälters sowie der entsprechenden Dosiertechnik zu realisieren. Es ist eine einfache Steuerung und Einbindung in das Prozessleitsystem der Kläranlage unter Nutzung vorhandener Messtechnik (MID im Zulauf) möglich. Als entsprechend gering ist der personelle Betreuungsaufwand einzuschätzen.

Es ist zu prüfen, ob ein zusätzlicher Reaktionsbehälter für PAK im Zulauf zur Filtration, der ggf. eine Verminderung der PAK-Dosiermengen erlaubt, wirtschaftlich ist.

Die bisherige landwirtschaftliche Klärschlammmentsorgung muss zugunsten einer Klärschlammverbrennung aufgegeben werden.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

8.3 Variante 1c - Pulveraktivkohle-Dosierung in eine separate adsorptive Reinigungsstufe

Die Variante berücksichtigt eine PAC Dosierung in eine neu zu errichtende separate Adsorptionsstufe, bestehend aus Kontakt und Sedimentationsbecken (Bild 14).

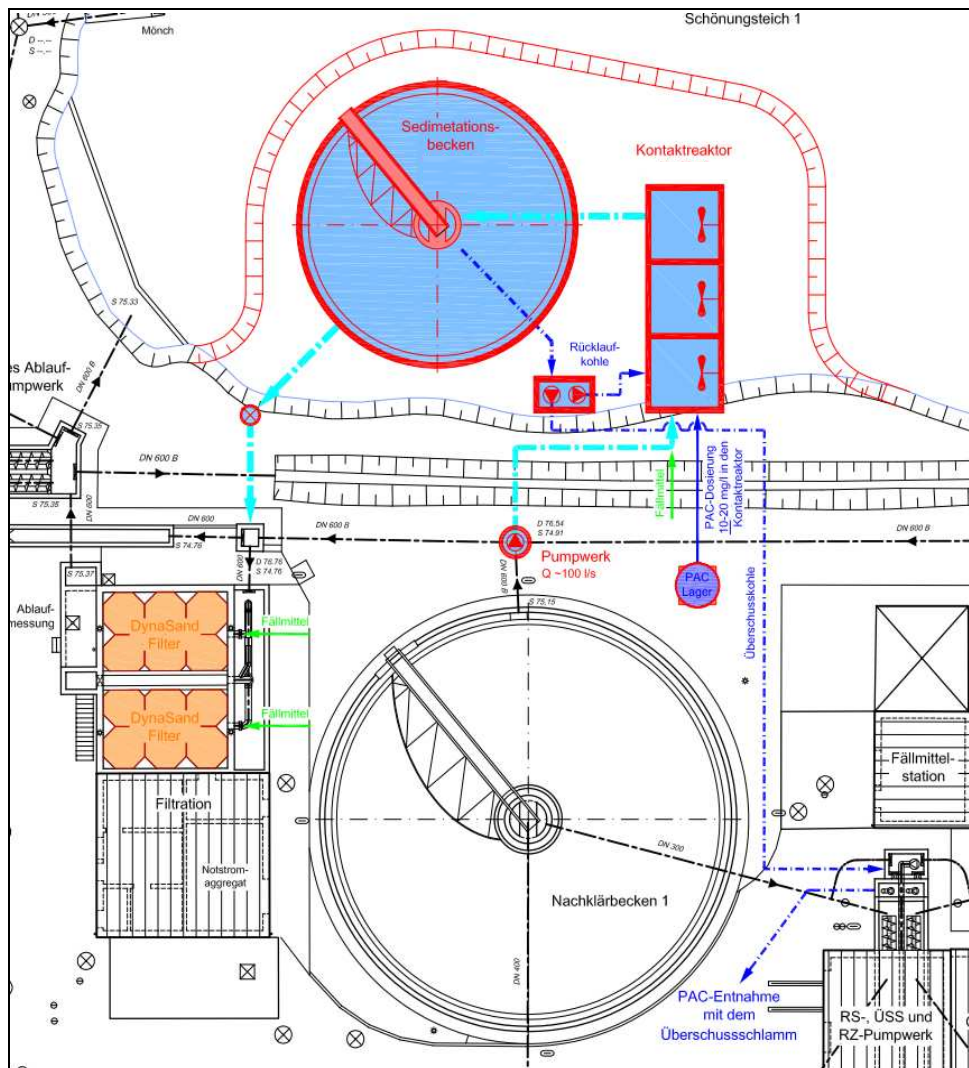


Bild 14: Lageplan KA Rietberg - Variante 1c - PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Errichtung einer separaten Pulveraktivkohlebehandlungsstufe bestehend aus einem Kontaktreaktor und einem Sedimentationsbecken.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Das Sedimentationsbecken ist als horizontal durchströmtes Rundbecken auszuführen. Grundsätzlich sind auch alternative Bauformen – vertikal durchströmte Becken, Parallelplattenabscheider, Lamellen-separatoren, Actiflo® Carb-Verfahren, Fuzzy-Filter® o.ä. zur Abscheidung der PAK einsetzbar. Ein Einsatzkriterium dieser Verfahren kann u. a. eine geringe Flächenverfügbarkeit sein.

Aus dem Absetzbecken wird die abgesetzte Kohle in das Kontaktbecken gefördert. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70%. Die Überschussskohle wird dem Rücklaufschlammumpwerk zugeführt.

Das Kontaktbecken wird u. a. zur optionalen Zugabe von Fällmitteln verwendet, die in den Zulauf des Kontaktreaktors dosiert werden. Hierdurch wird der Aufbau von Schlammflocken gefördert, die eine verbesserte Abscheidung der PAK in der nachfolgenden Adsorptionsstufe ermöglicht. Frisches PAK wird in die zweite Stufe des Kontaktreaktors dosiert sowie optional Flockungshilfsmittel zur besseren Abtrennung des feinen Kohlestaubes in den Ablauf des Kontaktreaktors. Die Kammern des Kontaktbeckens werden kontinuierlich durchmischt.

Technische Ausrüstung: Rührwerke in den drei Kammern des Kontaktreaktors, Räumbrücke Absetzbecken, Dosierpumpen, -leitungen Fällmittel- und Flockungshilfsmittel. Angenommen wird, dass vorhandene Anlagen zur Lagerung der FHM und FM genutzt werden können und nur Leitungen, Dosierpumpen und eine entsprechende EMSR Technik nachzurüsten sind.

Neubau eines Pumpwerkes zur Zuführung des Abwassers zur Adsorptionsstufe aus dem Ablauf der Nachklärung. Neubau eines Pumpwerkes zur Rezirkulation der PAK und zum Abzug der Überschussskohle. Verbindende Abwasserleitungen.

Die Adsorptionsstufe ist im Bereich des Schönungsteiches anzuordnen.

Errichtung eines PAK Lagertanks sowie der entsprechenden Dosiereinrichtung und der zuführenden Leitungen. Räumliche Anordnung des PAK-Lagertank nördlich der vorhandenen Nachklärung.

Elektrotechnische Anbindung.

Messtechnik zur volumenproportionale PAK Zugabe: vorhandenes MID im Zulauf der KA.

Bemessung / Dosierung:

Dosierung PAK:

Spez. Dosiermenge PAK: 10 bis 20 mg/l; gewählt: 10 mg/l

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

In Untersuchungen von Pinnekamp et. al. [8] wurden bei Zugabe von 10 mg/l PAK in Adsorptionsstufen Eliminationsraten von > 90 % zu erreichen sind. Bei einem Zulauf CSB von 35 mg/l konnte in Versuchen von Metzger et al. [9] mit einer Zugabe von 10 mg/l PAK der Schwellenwert von 20 mg/l CSB eingehalten werden.

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025);

gewählt: 63 l/s bzw. 5.443 m³/d

Tägliche PAK Dosiermenge (bei TW): 5.443 m³/d x 10 mg/l PAK = rd. 54 kg/d

Maximaler Monatsbedarf PAK: 54 kg/d x 30 d = 1.620 kg/Monat

Auslegung Silobehälter PAK:

Annahme: Anlieferung alle 2 Monate.

Die Wirtschaftlichkeit anderer Anlieferintervalle istin Bezug auf Lieferkosten, Vorhaltekosten zu prüfen.

Schüttdichte (gestampft), z.B. Norit SAE Super: 425 kg/m³

Erforderliches Lagervolumen: 2 Monate x 1.620 kg /Monat / 425 kg/m³ = 7,6 m³; gewählt: 10 m³

Die Befüllung des Silobehälters erfolgt pneumatisch über das Silofahrzeug.

Die Kohle wird über einen Schneckenförderer aus dem Silo in einen Ansetzbehälter gefördert. PAK staubt sehr stark, hat eine geringe Dichte, neigt dazu aufzuschwimmen und zu agglomerieren. Um PAK mit Wasser aufzuschlämmen, werden höhere Scherkräfte benötigt. Die Kohle wird gravimetrisch dosiert und z.B. über einen über einen Rohrdispersierler staubfrei in den Ansetzbehälter eingetragen. Die Kohlesuspension wird über Dosierpumpen in den Kontaktreaktor gefördert.

Auslegung SW-Pumpwerk im Ablauf der Nachklärung:

Das Pumpwerk wird auf den maximalen Trockenwetterzulauf ausgelegt:

Maximaler Trockenwetterabfluss $Q_{TW,max}$ (über 15,5 h/d): 75 l/s (2006) – 98 l/s (2025);

gewählt: 100 l/s

Auslegung Kontaktreaktor:

Aufteilung in 3 Beckenabschnitte: - Dosierung Fällmittel, Dosierung frische PAK, Dosierung Flockungshilfsmittel.

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min

Gewählte Kontaktzeit nach Metzger [3]: $t_{min} = 30$ min

Beckengröße: 5,9 m³/min x 30 min = 177 m³ gewählt: 180 m³

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Gewählt: 3 identische Beckenabschnitt mit je 60 m³, Beckengröße gesamt: V_{KB} : 180 m³

Dosiermengen zu Fäll- und Flockungshilfsmitteln werden zunächst nach Angaben von Rölle et al. [10] und Erfahrungen der KA Kressbronn angesetzt:

Zugabe Fällmittel (Fe (III)-Chloridsulfat): 0,3 mg Fe/mg PAK

Auslegung auf die mittlere tägliche PAK Dosiermenge bei Trockenwetter von 54 kg/d PAK.

Es wird eine tägliche Dosierung angesetzt.

Tägliche mittlere Wirksubstanzmenge: 54 kg/d PAK x 0,3 mg Fe/mg PAK = rd. 16 kg Fe/d

Tägliche Fällmittelmenge (Wirksubstanz Eisen (III)-Chlorid: 0,138 kg Fe/ kg WS):

16 kg Fe/d / 0,138 kg Fe/kg WS = rd. 116 kg WS/d

Eine zusätzliche Dosierung von Fällmitteln im Ablauf des Sedimentationsbeckens wird zunächst nicht angenommen.

Zugabe Flockungshilfsmittel: gewählt: 0,5 g /m³

Tägliche mittlere FHM Dosiermenge (bei TW): 5.443 m³/d x 0,5 g/m³ = rd. 2,7 kg/d

Auslegung Sedimentationsbecken:

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min

Gewählte Kontaktzeit nach Metzger [3]: t_{min} = 2 h bzw. 120 min

Beckengröße: 5,9 m³/min x 120 min = 708 m³; Gewählt: V_{SB} : 710 m³

Gewählt: Durchmesser: 16 m; Oberfläche: 201 m²; mittlere Tiefe: 3,5 m

Hydraulische Oberflächenbeschickung: q_A : 1,76 m³/h/m² bzw. m/h.

Realisierte Sedimentationsbecken der KA Steinhäule (Neu-Ulm) und KA Böblingen-Sindelfingen wurden auf Oberflächenbeschickungen von zul q_A = 2 m/h ausgelegt [6], [7]. Die gewählte Oberflächenbeschickung liegt niedriger und damit auf der sicheren Seite.

Ein Teil der Pulveraktivkohle wird als Rücklaufkohle in den Kontaktreaktor zurückgeführt.

In der Pilotanlage der KA Ulm-Steinhäule wurden durch Rückführung der Kohle ein Kohlealter von ca. 10 d und eine Kohleschlammkonzentration von 5 g/l erreicht [7].

Die Überschussskohle wird der Schlammbehandlung zugeführt.

Alternativ ist u. U. auch eine getrennte Entsorgung der beladenen PAK möglich. Sofern eine vollständige PAK Abscheidung in der Adsorptionsstufe erreicht wird, ist weiterhin eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung möglich. Hiervon wird zunächst nicht ausgegangen.

Metzger et al. [13] gehen davon aus, dass Pulveraktivkohle in einer Sedimentation nur unzureichend zurückgehalten werden kann. Als letzter Verfahrensschritt sollte eine Filtration angeordnet werden, um die Feststofffreiheit des Kläranlagenablaufes sicherzustellen. Bei unzureichendem Reinigungsergebnis nach der Adsorptionsstufe kann so auch eine Nachdosierung von Pulveraktivkohle vorgenommen werden. Eine landwirtschaftliche Entsorgung schließt sich damit aus.

Kostenannahme:

Der Aufwand für Personalkosten wird auf 40 – 80 h pro Monat geschätzt. Eingerechnet wird der zusätzliche Betreuungs- und Wartungsaufwand zum Betrieb der Adsorptionsstufe.

Ansatz: 60 h/Monat.

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes nicht weiter möglich ist. Der gesamte Klärschlamm ist in einer Verbrennungsanlage zu entsorgen.

Kosten landwirtschaftliche Entsorgung: ca. 1.900 t/a (2011), 31 €/t netto, rd. 59.000,-- €/a

Kosten Verbrennung, Transport: 80,-- €/t netto (entwässerter KS).

Die Zugabe von Fällmitteln zur Abscheidung von Aktivkohle kann die Zugabe von Fällmitteln zur P-Elimination voraussichtlich in Teilen substituieren. Von einer Abminderung der entsprechenden Kosten wurde zunächst abgesehen.

Zur Abschätzung des Energieeinsatzes wird für die Beschickung der Adsorptionsstufe der mittlerer Trockenwetterabfluss (2025) $Q_{TW,m}$ von 63 l/s bzw. 227 m³/h, 5.443 m³/d angesetzt.

Ansatz spez. Energieaufwand Adsorptionsstufe: ca. 350 kw/d bzw. 64 W/m³

Spezifischer Energieaufwand nach Rölle et al. [14]: Rühren, Mischen Kontaktbecken: 12 W/m³, Kohleaufbereitung, -rückführung: 29 W/m³, Adsorptionsstufe sonst.: 49 W/m³. Summe: 90 W/m³.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Literaturangaben zu Kosten:

Metzger [3] gibt folgende spezifischen Kosten (brutto) inkl. Leitungen, techn. Ausrüstung etc. bezogen auf l/s des Bemessungszulaufes für Adsorptionsstufen auf Kläranlagen der Größenklasse 5 an:

Kontaktreaktor: 1.000 – 1.500 €/l

Sedimentationsbecken: 3.500 – 4.000 €/l

Bezogen auf 98 l/s ergeben sich danach Gesamtkosten von rd. 441.000 € bis 539.000 €.

Für Kläranlagen der Größenklasse 4 (Rietberg) sind höhere spez. Kosten zu erwarten.

Metzger [3] gibt Kosten für 2009 von 1,10 €/kg bis 1,50 €/kg PAK an (für Bestellmengen > 100 t/a).

Der Personalbedarf wird auf eine halbe Personalstelle abgeschätzt.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Tabelle 7: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 1c - PAK-Dosierung in eine separate Adsorptionsstufe

Variante 1c - PAK in AS		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
Kontaktreaktor (KR) (180 m ³) (580 €/m ³), Fundamt	104.400 €	30 Jahre, BT	0,05102		5.326 €
Dosiereinrichtung (Leitung, Pumpe) KR	35.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.932 €
Rührwerke (3 Stck)	24.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.010 €
Sedimentationsbecken (SD) (710 m ³) (450 €/m ³), Verfüllen ST, Fundament	319.500 €	30 Jahre, BT	0,05102		16.301 €
Räumebrücke	45.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.770 €
Zulaufpumpwerk Kontaktbecken - Baut.	20.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		1.020 €
Zulaufpumpwerk Kontaktbecken - Masch.	20.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	1.675 €
Rezirk.pumpwerk Kohle - Baut.	15.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		765 €
Rezirk.pumpwerk Kohle - Masch.	15.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	1.257 €
PAK-Lagersilo (10 m ³)	100.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		5.102 €
Ansetzbehälter, Dosiereinrichtung	35.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.932 €
Leitungen (gesamt)	50.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		2.551 €
Fundamente, Bautechnik (PAK Dosier.)	5.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		255 €
Elektro, MSR-Technik (gesamt)	40.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.351 €
Investkosten (netto)	827.900 €				49.247 €
Investkosten (brutto)	985.201 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
PAK (10 mg/l)	1,7 €/kg	54 kg/d	10 mg PAK/l	92 €	33.048 €
Fällmittel Dosierung (0,138 kg FE/kg FM)	0,16 €/kg	116 kg/d	0,3 mgFe/mgPAK	19 €	6.682 €
FHM Dosierung	4,5 €/kg	2,7 kg/d	0,5 mg/l	12 €	4.374 €
Energie Zuführungspumpwerk	0,15 €/kWh	120,0 kW/d	5,0 kWh/h	18 €	6.570 €
Energie KR Durchmischung	0,15 €/kWh	36,0 kW/d	1,5 kWh/h	5 €	1.971 €
Energie SB, Räumer, Rezirkulation PW	0,15 €/kWh	132,0 kW/d	5,5 kWh/h	20 €	7.227 €
Energie Dosierung, Förderung PAK	0,15 €/kWh	48,0 kW/d	2,0 kWh/h	7 €	2.628 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				34 €	12.419 €
Personalkosten	40 €/h	60 h/Monat		80 €	28.800 €
Mehrkosten Schlammments. (Verbrennung):	49 €/t	1900 t/a		255 €	93.100 €
Betriebskosten (netto)					196.818 €
Summe Jahreskosten - Variante 1c (netto)					246.066 €
- Variante 1c (brutto)					292.818 €
Spezifische Kosten (brutto)	angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	6,30 €/EW/a	
	Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m ³ /a	Kosten pro m ³ :	0,192 €/m ³	

Diskussion der Variante 1c:

Grundsätzlich kann eine separate Adsorptionsanlage auf der Kläranlage Rietberg in den Klärprozess integriert werden. Durch Verkleinerung des Schönungsteiches würde die erforderliche Fläche zur Er-

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

richtung der Anlage zur Verfügung stehen. Die Einbindung der Anlage erfolgt zwischen Nachklärung und der nachzuschaltenden vorhandenen Filtration. Das Abwasser der Nachklärung ist bei Trockenwetter geregelt in die Adsorptionsstufe zu fördern.

Durch die Rezirkulation der sedimentierten PAK kann ein hohes „Kohlealter“ eingestellt werden, so dass eine hohe Ausnutzung der Beladungskapazität der Kohle zu erreichen ist. Der PAK Verbrauch ist damit geringer als bei den PAK Varianten 1a und 1b anzusetzen.

Nachteilig ist, dass zusätzlich Flockungshilfsmittel und Fällmittel eingesetzt werden müssen. Der Energiebedarf wird durch die zusätzlichen Antriebe für Hebung des Schmutzwassers, Umwälzung, PAK-Rückführung und Räumbrücke steigen.

Es ist eine einfache Steuerung und Einbindung in das Prozessleitsystem der Kläranlage unter Nutzung vorhandener Messtechnik (MID im Zulauf) möglich. Die Dosierung von PAK, Fäll- und Flockungsmitteln kann durch eine MID-Messung im Zulauf der Adsorptionsstufe mengenproportional gesteuert werden.

Der personelle Aufwand wird durch eine zusätzliche Verfahrensstufe gegenüber den Varianten 1a und 1b steigen.

Die bisherige landwirtschaftliche Klärschlamm Entsorgung muss zugunsten einer Klärschlammverbrennung aufgegeben werden. Bei vollständiger Abscheidung der PAK in der Sedimentationsstufe könnten Schlamm- und Kohlekreisläufe getrennt betrieben werden. In diesem Fall wäre eine landwirtschaftliche Verwertung weiterhin möglich. Da eine dauerhafte und vollständige Abtrennung der PAK in der Sedimentationsstufe derzeit nicht gesichert anzunehmen ist, werden zunächst die entsprechend höheren Schlamm Entsorgungskosten angesetzt.

8.4 Variante 2a – Nachgeschalteter GAK Festbett-Adsorber

Neubau von zwei Aktivkohle – Festbettadsorbern im Ablauf der Filtration (Bild 15).

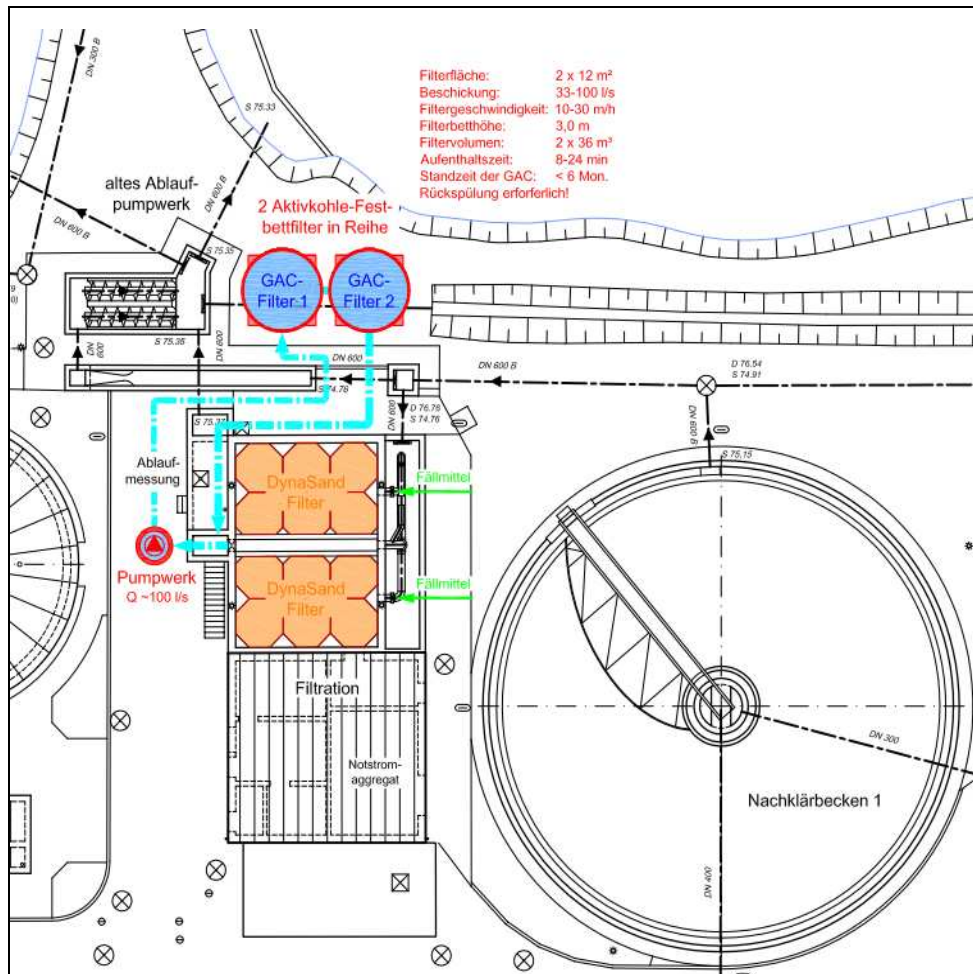


Bild 15: Lageplan KA Rietberg - Variante 2a - Neubau von GAK-Festbett-Adsorber zur Behandlung des Ablaufes der Dyna-Sand-Filtration

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Errichtung von zwei rückspülbaren GAK-Aktivkohle-Adsorbern, einschließlich Zulaufpumpwerk sowie zu- und abführende Leitungen. Zum Spülen der Aktivkohle-Adsorber werden redundant ausgelegte Spülwasserpumpen und Spülluftgebläse vorgesehen.

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass Brauchwasser zum Rückspülen der Filter verfügbar ist. Verwendet wird das Ablaufwasser, Entnahme im Bereich Schönungsteich.

Räumliche Anordnung der nördlich der vorhandenen Filtration.

Elektrotechnische Anbindung.

Messtechnik: MID im Zulauf der Filter sowie SAK- Sonden zur optionalen Regelung des über die Filter zu leitenden Trockenwetter Teilstroms. Druckmessung im Zu- und Ablauf der Filter

Bemessung Filter:

Auslegung GAK-Adsorber

Die Filter werden in Reihe durchflossen.

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s

Maximaler Trockenwetterabfluss $Q_{TW,max}$ (über 15,5 h/d): 75 l/s (2006) – 98 l/s (2025);

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min;

gewählt: 100 l/s

Filterfläche: $2 \times 12 \text{ m}^2 = 24 \text{ m}^2$

Beschickung: 33 – 100 l/s

Filtergeschwindigkeit: 10 - 30 m/h

Spülwassergeschwindigkeit: 25 – 30 m/h

Spülluftgeschwindigkeit: 60 m/h

Filterbetthöhe: 3,0 m

Filtervolumen: $2 \times 36 \text{ m}^3 = 72 \text{ m}^3$

Schüttdichte (AquaSorb[®]2000, Jacobi Corbons): 490 kg/m³

Erforderliche Menge GAK pro Füllung: 72 m^3 entspr. ca. 36 t

Aufenthaltszeit: 12 – 24 min

Annahme Standzeit der GAK: max. 6 Monate

Resultierendes durchzusetzendes Filterbettvolumen:

Annahme für Ist-Zustand TW-Zufluss (2006): 49 l/s bzw. 176 m³/h

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) pro 0,5a:

$176 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} \times 183 \text{ d} / 72 \text{ m}^3 = 10.736\text{-faches BV}$

Für den Prognosezustand (2025) ergibt sich: TW-Zufluss: 63 l/s bzw. ca. 227 m³/h

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) pro 0,5a:

$227 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} \times 183 \text{ d} / 72 \text{ m}^3 = 13.847\text{-faches BV}$

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Bei Beschickung der Filter mit der mittleren Trockenwettermenge wird bis zu 88% (2025) des Abwassers behandelt. Wenn man von einer Verminderung der Mikroschadstoffeinträge um 80% ausgeht, erscheint eine konzentrationsabhängige Regelung der Filterbeschickung damit grundsätzlich möglich, mit der die Standzeiten der Aktivkohlefilter zu erhöhen sind.

Auslegung Becken-Filterspülwasser

Filter werden rückspülbar ausgeführt. Zur Rückspülung wird das Ablaufwasser der Nachklärung genutzt und im Bereich Schönungsteich entnommen. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass eine Zwischenspeicherung nicht erforderlich ist.

Sollte ein Speicherbecken für Rückspülwasser erforderlich werden, wird von folgender Beckengröße ausgegangen:

Rückspülwassermenge bei Rückspülgeschwindigkeit ca. 25 m/h

Annahmen: Dauer Filterspülung: 5 min; 4 Spülungen pro Tag, pro Filter

Bei Einzelspülung der Filter: $25 \text{ m/h} \times 12 \text{ m}^2 = 300 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. $25 \text{ m}^3/5 \text{ min}$

Gewählt: Speicherbecken für Spülwasser: 30 m^3

Auslegung SW-Pumpwerk im Ablauf der Filtration:

Das Pumpwerk wird auf den maximalen Trockenwetterzulauf ausgelegt:

gewählt: 100 l/s

Kostenannahme:

Es wird von einer Standzeit von maximal 0,5 Jahre ausgegangen. Hieraus resultieren relativ hohe durchzusetzende Abwassermengen, die dem 10.736-fachen (2006) bzw. 13.847-fachen (2025) des Filterbettvolumens entsprechen. Die in Bezug auf die Durchsatzleistung hohe angenommene Standzeit wird zunächst beibehalten, u. a. da davon ausgegangen wird, dass durch die Steuerung des Zulaufes eine Verminderung der Belastungen zu erreichen ist.

In Bezug auf die Filterstandzeit ist es vorteilhaft, dass eine Sand-Filtration der GAK-Adsorptionsstufe vorgeschaltet ist. Eine mögliche Auswirkung auf die Standzeit der Aktivkohle, ist nur schwer abzuschätzen.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Preis für regenerierte Aktivkohle unter dem Preis für frische Kohle liegt. Entsprechende Kosten für Wiederbefüllung der Filter mit regenerierter GAK werden auf ca. 70% des Preises für frische Aktivkohle geschätzt. Die Betriebskosten sinken entsprechend.

Kosten für ein ggf. erforderliches Speicherbecken für Rückspülwasser der Filtration sind nicht berücksichtigt. Der tatsächliche Bedarf ist in weiteren Planungsschritten zu klären.

Der Aufwand für Personalkosten wird auf 25 h pro Monat geschätzt. Eingerechnet wird der zusätzliche Betreuungs- / Wartungsaufwand zum Betrieb der Aktivkohle-Adsorber.

Es ist davon auszugehen, dass eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes bei diesem Verfahren weiter möglich ist.

Tabelle 8: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 2a – nachgeschalteter GAK-Festbett-Adsorber

Variante 2a - GAK in Festbett-Adsorber		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
GAK Aktivkohlefilter (2 x 36 m³)	400.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		20.408 €
Pumpentechnik Rückspülung	50.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	4.188 €
Leitungen	25.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		1.276 €
Fundamente, Bautechnik	25.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		1.276 €
Speicher Rückspülwasser (30 m³) (Option)	25.000 €				
Zulaufpumpwerk Filter - Baut.	15.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		765 €
Zulaufpumpwerk Filter - Masch.	15.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	1.257 €
Messtechnik Beschickung Filter (SAK)	32.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.722 €
Sonstige EMSR-Technik	70.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	5.864 €
Investkosten (netto) (ohne Option)	632.500 €				37.755 €
Investkosten (brutto) (ohne Option)	752.675 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
GAK (Neubefüllung, 0,5a Standzeit)	2,0 €/kg	36 t/0,5a	36 t/0,5a	197 €	72.000 €
GAK (Ersatzbefüllung, 0,5a Standzeit)	1,4 €/kg	36 t/0,5a	36 t/0,5a	138 €	50.400 €
Ersatzbefüllung GAK (70% der sp. Kosten)	1,4 €/kg	72 t/a	72 t/a		
Energie Beschickung Filter	0,15 €/kWh	144,0 kW/d	6,0 kWh/h	22 €	7.884 €
Energie Filterspülung (20%)	0,15 €/kWh	57,6 kW/d	12,0 kWh/h	8,6 €	3.154 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				31 €	11.290 €
Personalkosten	40 €/h	25 h/Monat		33 €	12.000 €
Betriebskosten (netto)					156.728 €
Summe Jahreskosten - Variante 2a (netto)				1. Jahr	194.483 €
				ab 2. Jahr	172.883 €
Summe Jahreskosten - Variante 2a (brutto)				1. Jahr	231.435 €
				ab 2. Jahr	205.731 €
Spezifische Kosten (brutto) (1. Jahr)		angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	4,98 €/EW/a
		Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m³/a	Kosten pro m³:	0,151 €/m³

Diskussion der Variante 2a:

Die verfahrenstechnische Integration von GAK Festbett-Adsorbern auf der Zentralkläranlage Rietberg ist mit mittleren bautechnischem und verfahrenstechnischem Aufwand zu realisieren. Durch das vorgesehene separate Zulaufpumpwerk zur Beschickung der Adsorber ist das System hydraulisch vom Abwassersystem der Kläranlage entkoppelt. Die Steuerung ist z.B. über Durchflussmessungen sowie über SAK Sonden im Zu- und Ablauf der AK-Adsorber zu realisieren.

Dem steht ein erhöhter energetischer Aufwand entgegen, da das gesamte Schmutzwasser der Kläranlage zu heben ist.

Die Kläranlage erhält einen weiteren Betriebspunkt, der durch das Kläranlagenpersonal zu betreuen ist.

Wesentlicher Kostenfaktor ist die Aktivkohle. Unsicherheitsfaktor für die Kostenbetrachtung ist die vergleichsweise hohe angenommene Standzeit bis zum erforderlichen Austausch der Aktivkohle. Aussagen zur Kornstabilität, u. a. als Auswirkung hoher Rückspülgeschwindigkeiten, liegen nicht vor.

Allen Varianten mit GAK Adsorption weisen den Vorteil der weiterhin möglichen landwirtschaftlichen Klärschlammensorgung auf.

8.5 Variante 2b – Umbau der Dyna-Sand Filtration zum Festbettfilter mit granulierter Aktivkohlefüllung

Umbau der vorhandenen Filtration zur Aktivkohle-Festbettfiltration (Bild 16).

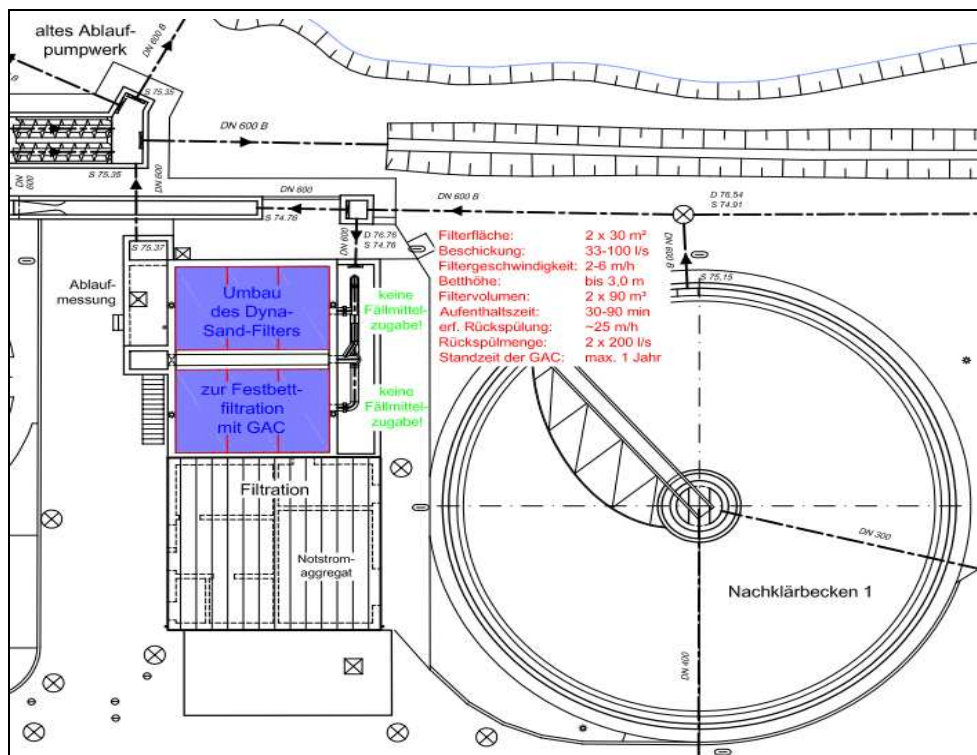


Bild 16: Lageplan KA Rietberg - Variante 2b – GAK – Festbettfiltration, Umbau der Dyna-Sand® Filtration

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Komplette Deinstallation der vorhandenen technischen Einrichtung der Dyna-Sand-Filtration. Umrüsten vorhandene Becken mit Filterböden, Ersatz der zu- und abführende Abwasserleitungen.

Pumpwerk zur Rückspülung der Filter.

E-MSR-Technik zum Betrieb der Filtration. Steuerung der Filtration über SAK-Messgeräte (indirekte CSB-Messung) mit Sonden im Zu- und Ablauf der Filtration. Druckmessungen Zulauf Filter.

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass Brauchwasser zum Rückspülen der Filter verfügbar ist. Verwendet wird das Ablaufwasser; Entnahme im Bereich Schönungsteich.

Umbau der Phosphatfällung auf Simultanfällung in der Biologie. Dazu Leitungsbau und neue Fällmittelpumpen.

Bemessung Filtration:

Auslegung umgebaute Filtration als Festbett GAK-Aktivkohlefilter

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min; gewählt: 100 l/s

Filterfläche: 2 x 30 m² = 60 m²

Beschickung: 33 – 100 l/s

Filtergeschwindigkeit: 2 - 6 m/h

Filterbetthöhe: bis 3,0 m

Filtervolumen: 2 x 90 m³ = 180 m³

Annahme Standzeit der GAK: 12 Monate

Erforderliches GAK pro Jahr = 180 m³/a

Schüttdichte (AquaSorb 2000, Jacobi Corbons): 490 kg/m³

Erforderliche Menge GAK pro Füllung: 180 m³ entspr. rd. 88 t.

Resultierendes zu behandelndes Filterbettvolumen (bezogen auf 12 Betriebsmonate):

Annahme für Ist-Zustand TW-Zufluss (2006): 49 l/s bzw. 176 m³/h:

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) – 12 Monate:

176 m³/h x 24 h x 365 d / 180 m³ = 8.565-faches BV

Für den Prognosezustand (2025) ergibt sich: TW-Zufluss: 63 l/s bzw. ca. 227 m³/h

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) – 12 Monate:

227 m³/h x 24 h x 365 d / 180 m³ = 11.047-faches BV

Bei Beschickung der Filter mit der mittleren Trockenwettermenge wird bis zu 88% (2025) des Abwassers behandelt. Wenn man von einer Verminderung der Mikroschadstoffeinträge um 80% als Zielwert ausgeht, erscheint eine konzentrationsabhängige Regelung der Filterbeschickung damit grundsätzlich möglich, mit der die Standzeiten der Aktivkohlefiltration zu erhöhen ist.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Aufenthaltszeit Filtration: 30 – 90 min

Erforderliche Rückspülung: ca. 25 m/h

Rückspülmenge: 2 x 200 l/s

Rückspüldauer: Ansatz 5 min → erforderliche Menge: 5 min x 200 l/s = 60 m³

Annahmen: Dauer Filterspülung: 5 min; 4 Spülungen pro Tag, pro Filter

Zur Rückspülung wird das Ablaufwasser der Nachklärung genutzt. Es wird zunächst davon ausgegangen, dass eine Zwischenspeicherung nicht erforderlich ist.

Kostenannahme:

Für die Kostenrechnung wird eine Standzeit von 12 Monaten angesetzt. Die während der Standzeit durchzusetzenden Abwassermengen von 8.565 BV (2006) bzw. 11.047 BV liegen rd. 20% unter den Belastungen der Aktivkohlefilter in Variante 2a.

Eine Standzeit von 15 Monaten wurde bei großtechnischem Versuchsbetrieb auf der Kläranlage Obere Lutter erreicht [24].

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Preis für regenerierte Aktivkohle unter dem Preis für frische Kohle liegt. Entsprechende Kosten für Wiederbefüllung der Filter mit regenerierter GAK werden auf ca. 70% des Preises für frische Aktivkohle geschätzt.

Kosten für ein ggf. erforderliches Speicherbecken für Rückspülwasser der Filtration sind nicht berücksichtigt. Der tatsächliche Bedarf ist in weiteren Planungsschritten zu klären.

Kostengrundlagen für die Abschätzung der Umrüstkosten einer Dyna-Sand[®] Filtration auf eine herkömmliche Festbettfiltration fehlen. Kostenansätze sind abgeleitet von Umbaukosten der Dyna-Sand-Filtration und mit erheblichen Unsicherheiten belastet.

Der zusätzliche Aufwand für Personalkosten wird auf 10 h pro Monat geschätzt. Da die vorhandene Filtration ebenfalls Personal bindet, ist in einem Variantenvergleich nur der darüber hinausgehende Personaleinsatz anzusetzen.

Es ist davon auszugehen, dass eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes bei diesem Verfahren weiter möglich ist.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Energiekosten zur Beschickung der Filter fallen im derzeitigen Betrieb ebenfalls an und werden für den Kostenvergleich vernachlässigt.

Tabelle 9: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 2b – Umbau Dyna-Sand* Filtration zur GAK-Festbettfiltration

Variante 2b - GAK in Aktivkohlefilter		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
Rückbau, Umbau Filtration	500.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		25.510 €
Pumpen, Anlagenbau Filtration	50.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	4.188 €
EMSR Technik - Nachrüstung	20.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	1.675 €
Speicher Rückspülwasser (60 m³) (Option)	35.000 €				
Messtechnik Beschickung Filter (SAK)	32.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.722 €
Phosphatfällung - Umbau	5.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	419 €
Sonstige EMSR-Technik	35.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.932 €
Investkosten (netto) (ohne Option)	642.500 €				37.447 €
Investkosten (brutto) (ohne Option)	764.575 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
GAK (Neubefüllung, anteilige Kosten 1a)	1,9 €/kg	88 t/a	88 t/a	458 €	167.200 €
Ersatzbefüllung GAK (70% der sp. Kosten)	1,33 €/kg				
Energie Filterspülung (10%)	0,15 €/kWh	28,8 kW/d	12,0 kWh/h	4,3 €	1.577 €
Instandhaltungskosten (Ansatz red. wg. Entfall Dyna-Sand Filtr.: 0,5% Inv.k.)				9 €	3.213 €
Personalkosten	40 €/h	10 h/Monat		13 €	4.800 €
Betriebskosten (netto)					176.789 €
Summe Jahreskosten - Variante 2b (netto)				1. Jahr	214.236 €
				ab 2. Jahr	164.076 €
Summe Jahreskosten - Variante 2b (brutto)				1. Jahr	254.941 €
				ab 2. Jahr	195.251 €
Spezifische Kosten (brutto) (1. Jahr)		angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	5,48 €/EW/a
		Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m³/a	Kosten pro m³:	0,167 €/m³

Diskussion der Variante 2b:

Die verfahrenstechnische Integration einer GAK Filtration auf der Zentralkläranlage Rietberg ist mit relativ hohem bautechnischen Aufwand zu realisieren. Die gesamte Filtration ist umzurüsten. Eine Pumpwerk zur Filtrerrückspülung und ggf. ein Speicherbecken für Rückspülwasser ist nachzurüsten. Eine Rückkehr zur derzeitigen Dyna-Sand-Technologie, z.B. bei geänderten gesetzlichen und verfahrenstechnischen Randbedingungen, ist nur mit erheblichem Aufwand möglich.

Der Bypass der Filtration ist weiterhin nutzbar.

Die Steuerung der Filtration erfolgt über wartungsarme SAK-Messungen im Zu- und Ablauf der Filtration. Regelgröße ist u.a. die mit dem SAK Wert korrelierende CSB-Ablaufkonzentration.

Die Kläranlage erhält keinen weiteren Betriebspunkt da die vorhandene Filtration nur umgebaut wird.

Alle Varianten mit GAK Adsorption weisen den Vorteil der weiterhin möglichen landwirtschaftlichen Klärschlammentsorgung auf.

Unsicherheitsfaktor für die Kostenbetrachtung ist die Standzeit bis zum erforderlichen Austausch der Aktivkohle sowie die Kosten zur Umrüstung der Filtration.

Energiekosten zur Beschickung der Filter fallen im derzeitigen Betrieb ebenfalls an und werden für den Kostenvergleich vernachlässigt.

8.6 Variante 2c – Dyna-Sand® Filtration mit Aktivkohlefüllung

Die Variante berücksichtigt eine Umrüstung der vorhandenen Filtration auf einen Betrieb mit granulierter Aktivkohle (Bild 17).

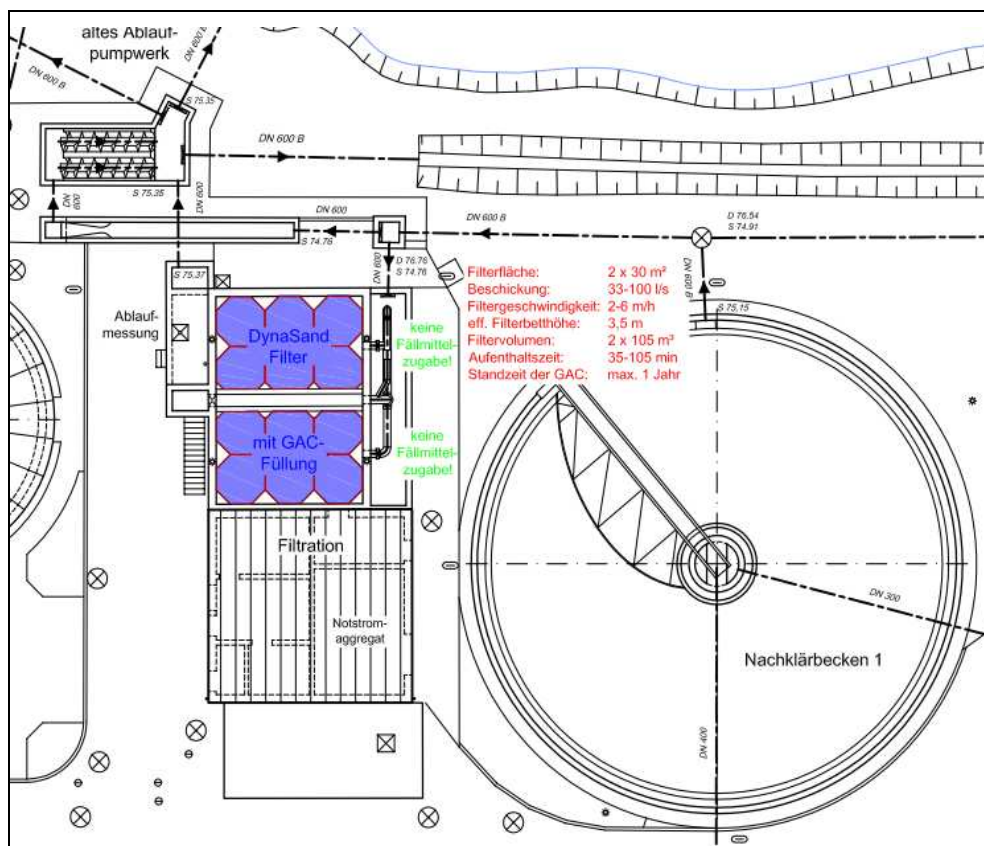


Bild 17: Lageplan KA Rietberg - Variante 2c – Umbau der Dyna-Sand® Filtration auf Betrieb mit GAK

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Austausch von Teilen der Verfahrenstechnik der Dyna-Sand® Filtration zur Anpassung an das neue Filtermaterial (Mammutpumpe, Sandwäscher etc.).

Anpassung der MSR-Technik zum Betrieb der Filtration. Steuerung der Filtration über SAK-Messgeräte (indirekte CSB-Messung) mit Sonden im Zu- und Ablauf der Filtration.

Umbau der Phosphatfällung auf Simultanfällung in der Biologie der Kläranlage. Dazu Leitungsbau und Installation neuer Fällmittelpumpen.

Bemessung Filtration:

Auslegung umgebaute Dyma-Sand[®] Filtration zum Betrieb mit Aktivkohle

Mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min; gewählt: 100 l/s

Filterfläche: 2 x 30 m²

Beschickung: 33 - 100 l/s

Filtergeschwindigkeit: 2 - 6 m/h

Filterbetthöhe: bis 3,5 m

Filtervolumen: 2 x 105 m³ = 210 m³

Annahme: Standzeit GAK Filtration: 12 Monate

Schüttdichte (AquaSorb[®] 2000, Jacobi Corbons: 490 kg/m³

Erforderliches GAK pro Jahr (bezogen auf 12 Betriebsmonate) = 210 m³ x 490 kg/m³ = rd. 103 t/a

Resultierendes zu behandelndes Filterbettvolumen (bezogen auf 12 Betriebsmonate):

Annahme für Ist-Zustand TW-Zufluss (2006): 49 l/s bzw. 176 m³/h

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) – 12 Monate:

176 m³/h x 24 h x 365 d / 210 m³ = 7.342-faches BV

Für den Prognosezustand (2025) ergibt sich: TW-Zufluss: 63 l/s bzw. ca. 227 m³/h

Durchflossene Filterbettvolumen (BV) – 12 Monate:

227 m³/h x 24 h x 365 d / 210 m³ = 9.469-faches BV

Aufenthaltszeit: 35 – 105 min

Die Rückspülung der Filter erfolgt über die integrierten Mammutpumpen.

Kostenannahme:

Für die Kostenschätzung wird eine Standzeit von 12 Monaten angesetzt.

Aufgrund des größeren Bettvolumens ergeben sich gegenüber den GAK-Varianten 2a und 2b um rd. 32% bzw. 14% geringere Aktivkohlebelastungen und damit eine potentiell höhere Spurenstoffelimination.

Von einer Anrechnung dieses Kostenvorteils wird zunächst abgesehen, da nach den halbtechnischen Versuchsergebnissen eine entsprechende Standzeit nicht sicher zu erwarten ist.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Es wird berücksichtigt, dass der Preis für regenerierte Aktivkohle unter dem Preis für frische Kohle liegt. Entsprechende Kosten für Wiederbefüllung der Filter mit regenerierter GAK werden auf ca. 70% des Preises für frische Aktivkohle geschätzt. Dies wirkt sich auf die Jahreskosten nach einer Neubefüllung mit Aktivkohle kostenmindernd aus.

Der zusätzliche Aufwand für Personalkosten wird auf 15 h pro Monat geschätzt. Da die vorhandene Filtration ebenfalls Personal bindet, ist in einem Variantenvergleich nur der darüber hinausgehende Personaleinsatz anzusetzen.

Es wird davon ausgegangen, dass eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes bei diesem Verfahren weiter möglich ist.

Energiekosten zur Beschickung der Filter fallen im derzeitigen Betrieb ebenfalls an und werden für den Kostenvergleich vernachlässigt.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Tabelle 10: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 2c – Umbau Dyna-Sand® Filtration zum Betrieb mit Aktivkohle

Variante 2c - GAK in Dyna-Sand-Filtration		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
Umbau Filtration	130.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		6.633 €
EMSR Technik - Nachrüstung	3.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	293 €
Messtechnik Beschickung Filter (SAK)	32.500 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.722 €
Phosphatfällung - Umbau	5.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	419 €
Investkosten (netto)	171.000 €				10.067 €
Investkosten brutto	203.490 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
GAK (Neubefüllung, anteilige Kosten 1a)	1,9 €/kg	82 t/a	82 t/a	427 €	155.800 €
Ersatzbefüllung GAK (70% der sp. Kosten)	1,3 €/kg				
Energie Filterspülung (zusätzl. 10%)	0,15 €/kWh	12,0 kW/d	5,0 kWh/h	2 €	657 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				7 €	2.565 €
Personalkosten	40 €/h	15 h/Monat		20 €	7.200 €
Betriebskosten (netto)					166.222 €
Summe Jahreskosten - Variante 2c (netto)					176.289 €
					ab 2. Jahr
Summe Jahreskosten - Variante 2c (brutto)					209.784 €
					ab 2. Jahr
Spezifische Kosten (brutto) (1. Jahr)	angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	4,51 €/EW/a	
	Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m³/a	Kosten pro m³:	0,137 €/m³	

Diskussion der Variante 2c:

Die verfahrenstechnische Integration einer GAK Filtration auf der Zentralkläranlage Rietberg ist mit geringem bautechnischen Aufwand zu realisieren. Lediglich Teile der Verfahrenstechnik der Filter sind an die Eigenschaften des neuen Filtermaterials anzupassen.

Der Bypass der Filtration ist weiterhin nutzbar.

Die Steuerung der Filtration erfolgt über wartungsarme SAK-Messungen im Zu- und Ablauf der Filtration sowie vorhandene Durchflussmessungen. Regelgröße kann u. a. die mit dem SAK Wert korrelierende CSB-Ablaufkonzentration verwendet werden.

Die Kläranlage erhält keinen weiteren Betriebspunkt, da die vorhandene Filtration lediglich umgebaut wird.

Alle Varianten mit GAK Adsorption weisen den Vorteil der weiterhin möglichen landwirtschaftlichen Klärschlammensorgung auf. Wesentlicher Kostenfaktor ist die Aktivkohle. Unsicherheitsfaktor für die Kostenbetrachtung ist die Standzeit bis zum erforderlichen Austausch der Aktivkohle.

8.7 Variante 3 – Ozonanlage mit nachgeschalteter Dyna-Sand-Filtration

Integration einer Ozon Behandlungsstufe zwischen Ablauf Nachklärung und Zulauf Filtration (Bild 18).

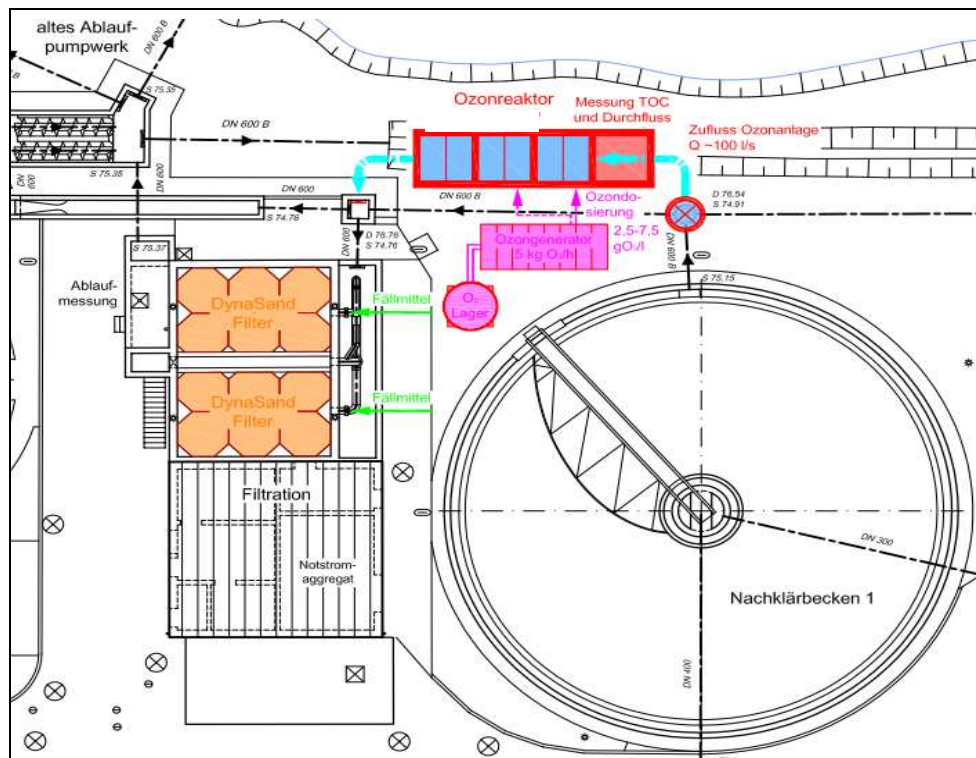


Bild 18: Lageplan KA Rietberg - Variante 3 – Ozonung

Bauliche, technische Voraussetzungen:

Errichtung eines 1-straßigen Ozonreaktors mit Messtechnik (TOC, Q) zur Dosierung von Ozon, sowie verbindende Leitungen, Ozongenerator, O₂-Lagertank für Flüssigsauerstoff, Verdampfer.

Für die Ozonierung wird von einer Ozonerzeugung aus Flüssigsauerstoff ausgegangen.

Räumliche Anordnung nördlich der vorhandenen Nachklärung. Einbindung zwischen Ablauf Nachklärung und Filtration, so dass Restozon und mögliche Metaboliten in der nachgeschalteten Dyna-Sand® Filtration abgebaut werden können.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Es wird vorbehaltlich einer hydraulischen Überprüfung davon ausgegangen, dass kein separates Abwasserpumpwerk erforderlich ist. Alternativ ist ein Ozonreaktor in Hochlage mit entsprechendem Zulaufpumpwerk vorzusehen.

Es wird vorgesehen, dass der Ozonerzeuger mit einer einfachen Einhausung zu versehen ist. Der Ozoneintrag erfolgt über Diffusoren. Alternativ kann ein Eintrag über Mischinjektoren erfolgen.

Messtechnik: Durchfluss- und TOC-Messung im Zulauf zum Ozonreaktor. Messung der Ozonkonzentration nach der Ozonerzeugung sowie im Ablauf des Ozonreaktors und in der Abluft. Die Abluft wird über einen Restozonvernichter behandelt.

Messung der Ozon- und Sauerstoffkonzentration in der Raumluft im Bereich der Ozonerzeugung.

Bemessung / Dosierung:

Dosierung / Ozonreaktor:

Ozonierung: Niedrige Ozondosen: 2,5 bis 5,0 mg/l, höhere Ozondosen: 8 bis 10 mg/l

Kontaktzeiten: Geringe Kontaktzeiten: 2 bis 5 min

Ozondosierung Schweiz i.M. 0,6 g O₃ / g TOC, max. 1,16 g O₃ / g TOC [18]

Empfehlung Schweiz: Aufenthaltszeit bei TW von mindestens 20 Minuten.

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW,max}$: 98 l/s bzw. 5,9 m³/min; gewählt: 100 l/s

Gewählt Ozondosierung: 2,5 – 7,5 mg O₃/l

Leistung Ozonreaktor: erforderlich 2,7 kgO₃/h; gewählt: 5 kgO₃/h

Ozonbedarf im Mittel:

Auslegung auf den mittlerer Trockenwetterabfluss $Q_{TW,m}$ (über 24 h/d): 49 l/s (2006) – 63 l/s (2025); gewählt: 63 l/s entspr. 227 m³/h, 5443 m³/d

Ansatz Bedarf (bezogen auf mittleren Verbrauch bei TW):

5 mg O₃/l x 227 m³/h = rd. 1,14 kg O₃/h

5 mg O₃/l x 5.443 m³/d = rd. 27 kg O₃/d

Sauerstoffbedarf im Mittel:

Für die Ozonerzeugung nach dem Prinzip der stillen, elektrischen Entladung wird pro kg erzeugtes Ozon die ca. 10-fache Menge Sauerstoff benötigt.

Erf. Sauerstoffmenge: rd. 270 kg O₂/d

Auslegung Kontaktreaktor:

Aufteilung in 3 Beckenabschnitte mit TOC- und Durchflussmessenrichtung.

Ozon-Aufenthaltszeiten betragen in der Ozonierung der KA Schwerte [16] 13 min und in der Ozonierung der Kläranlage Duisburg-Vierlinden [17] 30 min (TW).

In der größt. Pilotanlage der KA Regensdorf (Schweiz) wird eine Aufenthaltszeit bei TW von 8 min erreicht [18]. Aufgrund der Versuchsergebnisse (Austrag von Ozon in den Sandfilter) wird eine mindestens einzuhaltende Aufenthaltszeit von 20 min empfohlen und eine Ozon-Eintragstiefe von 4 m.

Gewählte Aufenthaltszeit: 20 min

Auslegung auf den maximalen Trockenwetterzulauf: $Q_{TW, max}$: 100 l/s bzw. 5,9 m³/min

Volumen Kontaktreaktor: 5,9 m³/min x 20 min = 118 m³; Gewählt: V_{KB} : 120 m³

Kostenannahme:

Der Aufwand für Personalkosten wird auf 25 h pro Monat geschätzt. Eingerechnet wird ein zusätzlicher Betreuungs- / Wartungsaufwand zum Betrieb der Ozonanlage.

Der spezifischer Energieaufwand für die Ozonerzeugung beträgt 15 kWh/kg O₃ [15] [16] und für die Sauerstoffaufbereitung für die Ozonierung 5 kWh/kg O₃ [15] bzw. 4 kWh/kg O₃ [16].

Abegglen et al. nennen einen spez. Energieverbrauch für die Ozonung von 0,04 kWh/m³ Abwasser und 0,01 – 0,015 kWh/m³ Abwasser für die Produktion des Sauerstoffs [18].

Es wird hier zunächst davon ausgegangen, dass keine Hebung des zu behandelnden Abwasserteilstroms erforderlich ist.

Eine landwirtschaftliche Entsorgung des Überschussschlammes ist bei diesem Verfahren weiter möglich ist.

Literaturangaben zu Kosten:

Ozonbehandlung KA Duisburg-Vierlinden (30.000 EW), bestehend aus Ozonung und biol. Nachbehandlung im Wirbelbett - Investitionskosten: 1,5 Mio. Euro (netto) [17].

Ozonbehandlung KA Schwerte (50.000 EW), bestehend aus Ozonierung und PAK-Adsorption - Investitionskosten: 1,5 Mio. Euro (netto) [16].

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Für Investition, Abschreibung und Betrieb der Ozonung wurde auf der KA Regensdorf Kosten von rd. 5,5 Ct/m³ abgeschätzt. Betriebskosten – Sauerstoff, Strom, Wartung, Personal lagen bei rd. 2 Ct/m³ [18].

Tabelle 11: Investitions-, Betriebs- und Jahreskosten - Variante 3 - Ozonanlage

Variante 3 - Ozonung		Berechnungsfaktoren (n=30 Jahre, Zins: 3%)			Jahreskosten
Investitionskosten		spez. Nutzung	KFAKR	DFAKE	
Ozonreaktor (120 m ³) (950 €/m ³)	114.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		5.816 €
Fundamente OR, sonst. Bauk.	25.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		1.276 €
Messtechnik (SAK, MID)	40.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.351 €
Techn. Ausr. Reaktor- Eintragungssyst., Restozonentf. u. a.	150.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	12.565 €
Ozonerzeugung, Sauerstofftank	550.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	46.072 €
Sonst. Gebäude Masch.techn.	150.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		7.653 €
Fundamente Tank etc., Bautechnik	10.000 €	30 Jahre, BT	0,05102		510 €
Leitungen, Schächte	30.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	2.513 €
Online-Analytik	45.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	3.770 €
Sonstige EMSR-Technik	75.000 €	15 Jahre, MT	0,05102	0,64186	6.283 €
Investkosten (netto)	1.189.000 €				83.526 €
Investkosten (brutto)	1.414.910 €				
Betriebsmittelkosten		Berechnungsfaktoren			Jahreskosten
	spez. Kosten	Menge	spez. Größe	Tageskosten	
O ₂ -Kosten (270 kg O ₂ /d)	0,2 €/kg O ₂	270,0 kg O ₂ /d		54 €	19.710 €
Energie Ozonerzeugung (27 kg O ₃ /d)	0,15 €/kWh	405,0 kWh/d	15,0 kWh/kg O ₃	61 €	22.174 €
Instandhaltungskosten (Ansatz: 1,5% Inv.k.)				49 €	17.835 €
Personalkosten	40 €/h	25 h/Monat		33 €	12.000 €
Betriebskosten (netto)					71.719 €
Summe Jahreskosten - Variante 3 (netto)					155.244 €
- Variante 3 (brutto)					184.741 €
Spezifische Kosten (brutto) (1. Jahr)	angeschlossene EW:	46.500 EW	Kosten pro EW:	3,97 €/EW/a	
	Abwasser pro Jahr (TW):	1.528.985 m ³ /a	Kosten pro m ³ :	0,121 €/m ³	

Diskussion der Variante 3:

Die Installation und Integration einer separaten Ozonungsanlage ist mit mittlerem baulichem Aufwand möglich. Sofern aus hydraulischen Gründen ein Hochreaktor vorzusehen ist, ist zusätzlich ein Zulaufpumpwerk vorzusehen. Der Raumbedarf ist insgesamt gering, so dass nördlich der Nachklärung eine Errichtung der Anlage möglich ist.

Die Betriebskosten sind in Bezug auf Personalkosten, Energiekosten und die Kosten für den O₂-Verbrauch im Vergleich zu den Varianten mit Aktivkohle relativ gering, da die Beschaffung von Aktivkohle entfällt und keine erhöhten Kosten zur Klärschlammensorgung anfallen.

Die Personalkosten sind jedoch durch die Betreuung einer zusätzlichen Behandlungsstufe auf der Kläranlage erhöht.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Die Vergleichbarkeit einer Spurenstoffelimination durch Adsorption an Aktivkohle und durch Ozonung ist nur bedingt gegeben, da Ozon Spurenstoffe nicht entfernt sondern lediglich zerstört. Die Transformationsprodukte sind weiterhin im Abwasser enthalten. Die Bewertung der Verträglichkeit dieser Stoffe für die Umwelt ist z. T. noch Gegenstand der Forschung.

Bestimmte Spurenstoffe sind zudem einer Zerstörung durch Ozon nicht oder kaum zugänglich. Vorteilhaft ist, dass eine zusätzliche Entkeimung des Kläranlagenablaufes erreicht wird.

8.8 Gegenüberstellung der Varianten

Vor- und Nachteile der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg werden in Tabelle 12 gegenübergestellt. Die Bewertung der wesentlichen Verfahrenseigenschaften erfolgt über ein einfaches Plus/Minus-System (++ sehr gut, + gut, 0 neutral, - negativ, - - sehr negativ).

Der Personalaufwand der einzelnen Varianten wird auf 10 - 60 Stunden pro Monat abgeschätzt, entsprechend wird der Aufwand mit niedrig – mittel – hoch bewertet.

Der Energieeinsatz ist insgesamt niedrig im Vergleich mit dem Gesamtenergieverbrauch der Kläranlage. Für die Varianten wird ein mittlerer, täglicher Energieverbrauch von bis zu 405 kWh/d für die Mikroschadstoffelimination abgeschätzt.

Tabelle 12: Vergleich der diskutierten Varianten zur Spurenstoffelimination

Varianten	Investitionen (brutto)	Jahreskosten 1 a / ab 2a (brutto)	Bewertung						
			Integration in KA	Energieverbrauch	Platzbedarf	Personalbedarf	KS-Entsorgung	Mikroschadstoffelim.	Verfahrenssicherheit
1a: PAK in BB	246.925,-- €	213.732,-- € / ident.	++	+	+	+	--	+	++
1b: PAK in Filtration	217.175,-- €	204.501,-- € / ident.	++	0	+	0	--	+	+
1c: PAK in separ. AS	985.201,-- €	292.818,-- € / ident.	-	--	--	-	--	+	+
2a: GAK in Adsorber	752.675,-- €	231.435,-- € / 205.731,-- €	+	-	0	0	++	+	0
2b: GAK in Festbettfilt.	764575,-- €	251.941,-- € / 195.251,-- €	0	+	++	+	++	+	+
2c: GAK in Dyna-Sand-Filt.	203.490,-- €	209.784,-- € / 154.163,-- €	+	+	++	+	++	+	+
3: Ozonung	1.414.910,--€	184.741,-- € / ident. €	+	--	0	0	++	0	+

Unter den Verfahren mit Aktivkohleadsorption ist die Variante 1b, PAK Dosierung in die vorhandene Filtration, im ersten Betrachtungsjahr am wirtschaftlichsten. Werden die Folgejahre betrachtet ist die Variante 2c, Umbau der Dyna-Sand[®] Filtration auf Betrieb mit Aktivkohle, am wirtschaftlichsten. Hier wirkt sich aus, dass die dann verwendete reaktivierte Aktivkohle kostengünstiger ist als „frische“ Aktivkohle.

Vorteilhaft für die Variante 2c gegenüber den Varianten mit GAK 2a und 2b ist auch, dass eine um rd. 32% bzw. 14% geringere Belastung der Aktivkohle während der kalkulierten Standzeit angesetzt wurde. Dies gilt insbesondere, da die Standzeit ein wesentlicher Unsicherheitsfaktor für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der einzelnen Behandlungsvarianten ist.

Die wesentlichen sonstigen Bewertungsmerkmale, Integrationsfähigkeit, Raumbedarf, Verfahrenssicherheit sind insbesondere auch für die Variante 2c, dem Betrieb der umgerüsteten Filtration als Dyna-Sand[®] Carbon Filtration, vorteilhaft.

In die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind die Förderungen der Investitionen durch das Land NRW nicht eingerechnet. Da nur die Investitionskosten gefördert werden ist die Umsetzung von Verfahren mit hohen Investitionskostenanteil für den Betreiber der Anlage vorteilhaft. Da auch Erstbefüllungen mit Aktivkohle förderfähig sind, sind die höchsten Förderungen für die Verfahren 1c und 2a - 2c und 3 zu erwarten.

Eine ggf. mögliche Absenkung des CSB-Überwachungswertes und damit eine Verminderung der Abwasserabgabe wurde in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht berücksichtigt.

Die Ozonung, Variante 3, weist die niedrigsten Betriebskosten auf. Das Verfahren wird als Nachteilig angesehen, da eine tatsächliche Elimination von Spurenstoffen nicht erreicht wird. Transformationsprodukte verbleiben im Abwasser. Auch wenn Einzelsubstanzen in der nachgeschalteten Filtration ggf. reduziert werden können ist eine Gleichwertigkeit mit adsorptiven Verfahren nicht gegeben.

In Bezug auf die Kostenrechnung ist grundsätzlich die Frage nach der Zielkonzentration der zu eliminierenden Spurenstoffe zu stellen. Je nach gewünschtem Reinigungsgrad in Bezug auf bestimmte Mikroschadstoffkonzentration oder ggf. des CSB im Ablauf schwanken die Kosten der betrachteten Verfahren, insbesondere aufgrund des hohen Kostenanteils für die einzusetzende Aktivkohle.

8 Variantenuntersuchung zur Ertüchtigung der KA Rietberg zur Spurenstoffelimination

Auswertung zu spezifischen Kosten der Spurenstoffelimination auf Kläranlagen von Alt et al. [21] zeigen Kosten von 5 - 13 Ct/m³ Schmutzwasser. Auswertungen von Rölle et al. [22] zeigen für vier Kläranlagen mit PAK Zugabe (10 mg/l) spezifische Kosten 0,04 – 0,08 €/m³ Abwasser und 1,60 – 5,50 €/EW/a bzw. 0,04 – 0,08 €/m³ Abwasser.

Die PAK Varianten 1a (20 mg/l PAK) und 2b (15 mg/l PAK) liegen mit spez. Kosten (netto) von rd. 0,12 bzw. 0,11 €/m³ Abw. und rd. 3,86 und 3,70 €/EW/a leicht über diesen Kosten. Setzt man in Variante 1a eine Dosierung von 10 mg/l PAK an reduzieren sich die Kosten auf 0,1 €/m³ Abw. bzw. 3,22 €/EW/a an. Die Mehrkosten für die Verbrennung des Klärschlammes ist der wesentliche Kostenfaktor.

Die Vielzahl der Einflussfaktoren auf die Kosten zeigt, wie problematisch ein Kostenvergleich für Verfahren der Mikroschadstoffelimination auf Basis von Literaturdaten ist. Dies erklärt die z. T. erheblichen Abweichungen der genannten spezifischen Kosten.

Für die weitere Umsetzung der Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg erscheint das Dyna-Sand[®] Carbon Verfahren als am vorteilhaftesten sowohl in wirtschaftlicher Hinsicht als auch in Bezug auf sonstigen nichtmonetären Bewertungsmerkmale. Eine Umrüstung der ca. 12 Jahre alten Filtration wird zudem den Anlagenzustand verbessern und die Nutzungsdauer verlängern.

Da bisher keine Erfahrungen mit dem Betrieb von Dyna-Sand[®] Filtern zur Spurenstoffelimination vorliegen, wurde die Nutzungsmöglichkeit der Technik in einem rd. 6-monatigen halbtechnischen Versuchsbetrieb getestet.

9 Halbtechnische Versuche zur Umrüstung der Festbettfiltration zur Spurenstoffelimination

Für einen großtechnischen Einsatz kommt nach dem Vergleich der Varianten zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg im Wesentlichen die Variante 2c in Frage, die den Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) in der vorhandenen Dyna-Sand® Filtration vorsieht.

Das Betriebsverhalten der Filter bei Einsatz mit Aktivkohle, Abbauraten, Standzeiten, Betriebsregelung, Einfluss auf die Kornstabilität etc. können derzeit nicht sicher vorhergesagt werden. Aussagen hierzu sollten über einen Versuchsbetrieb in halbtechnischem Maßstab gewonnen werden. Die Versuche wurden mit einer 2-straßigen Versuchsanlage über einen Zeitraum von rd. 5,5 Monaten durchgeführt.

9.1 Halbtechnische Dyna-Sand® Carbon Versuchsanlage

Die Versuchsanlage wurde nördlich der vorhandenen Filtration errichtet. Die Abwasserbeschickung erfolgte aus dem Ablauf der Filtration (Bild 19):

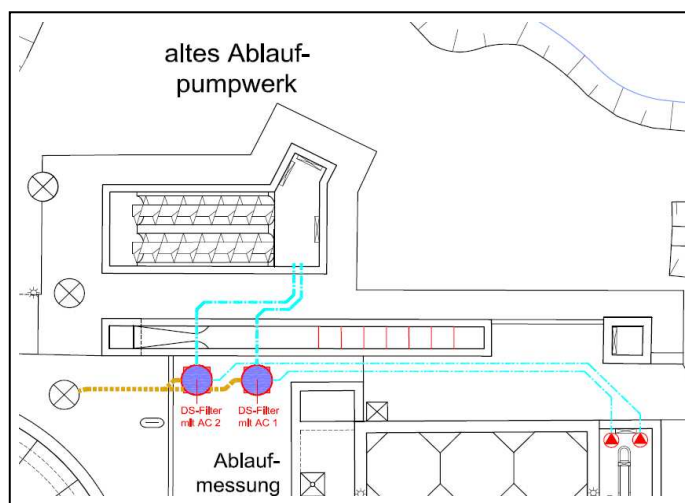


Bild 19: Lageplan der Versuchsanlage auf der Kläranlage Rietberg.

Es wurde eine 2-strassige Versuchsanlage vom Typ Dyna Sand 07 D mit einer Filterfläche von 0,7 m² durch die Firma Nordic Water GmbH bereitgestellt.

Die Filterbetthöhe betrug 2 m, die max. Durchsatzleistung nach Herstellerangaben ca. 5 - 10 m³/h.

Folgende Fragestellungen sollten im Rahmen der halbtechnischen Erprobung untersucht werden:

9. Halbtechnische Versuche

- welche Aktivkohle eignet sich für den Einsatz im Dyna-Sand-Filter,
- welche Abbauleistungen für Mikroschadstoffe sowie für N, P und CSB werden erreicht,
- wie hoch ist die Standzeit einzuschätzen, bis zur „Erschöpfung“ der Adsorptionskapazität der AK-Sorten,
- wie ist das Betriebsverhalten des Dyna-Sand-Filters mit AK,
- welche Investitions- und Betriebskosten sind zu erwarten.

Die Versuchsanlage wurde mit folgender Aktivkohle betrieben:

Zeitraum 1: 08.Oktober bis 24. Januar 2013:

Filter 1: AquaSorb[®] CS, Fa. Jacobi Carbons, 12 x 40 Mesh; Korngröße: 0,425 – 1,7 mm
(Basis: Kokosnussschale)

Filter 2: AquaSorb[®] 2000, Fa. Jacobi Carbons, 12 x 40 Mesh; Korngröße: 0,425 – 1,7 mm
(Basis: Steinkohle)

Zeitraum 2: 06.Februar bis 08.April 2013:

Filter 1: AquaSorb[®] 5000, Fa. Jacobi Carbons, 8 x 30 Mesh, Korngröße: 0,6 – 2,3 mm
(Basis: Braunkohle)

Filter 2: Fortsetzung des Betriebes mit AquaSorb[®] 2000

Ergänzende Angaben zur verwendeten Aktivkohle sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Die Versuchsanlage wird als Konstruktionszeichnung und im Einsatz vor Ort in Bild 20 gezeigt.
Teil der Anlage waren MID, Tauchpumpe sowie Dauerprobenehmer.

9. Halbtechnische Versuche



Bild 20: Halbtechnische Dyna-Sand[®] Versuchsanlage, Kläranlage Rietberg (Quelle techn. Zeichnung: Nordic Water GmbH)

Die Kosten der Pilotanlage betragen für das halbtechnische Modul sowie für die begleitende Analytik und Betreuung ca. 30.000,-- €.

9.2 Halbtechnisch Dyna-Sand Filtration – Versuchsbetrieb

Folgende Betriebseinstellungen wurden für die Versuchsanlage unter Berücksichtigung der vorhandenen Filtration gewählt:

Vergleichbare Betriebseinstellung – Versuchsanlage / Großtechnik:

- Großtechnik vorh. Filtration: 210 m³ Volumen, 60 m² Oberfläche
- Versuchsanlage: ca. 1,5 m³ Volumen, 0,7 m² Oberfläche

Daraus abgeleitet, vergleichbare Einstellungen der halbtechnischen Anlage:

- Oberflächenbeschickung: 3 - 6 m/h
- Kontaktzeit: 0,6 – 1,2 h
- Belastung Filterbettvolumina:
 - bei Beschickung mit 1,5 m³/h: 24-faches Bettvolumen/d, 720-faches Bettvolumen/Monat. 8.640-faches Bettvolumen/Jahr
 - bei Beschickung mit 3 m³/h: 1.440-faches Bettvolumen/Monat

9. Halbtechnische Versuche

Erforderliche Kontaktzeit zur Aufnahme von Spurenstoffe (Trinkwasseraufbereitung):

Soll: 20 - 60 min.; Ist-Versuchsanlage: 36 – 72 min

Betriebsphasen:

- Befüllung: 02.10.12
- Anlaufphase: Einstellung Aktivkohleniveau, Wässerung: 05.10.12
- Phase 1: Versuche hydraul. Belastbarkeit: 08.-11.10.12 (KW 41)
- Phase 2: Dauerbetrieb: 12.10.12 bis 24.01.13 (ca. 3,5 Monate)
- Phase 3: Dauerbetrieb – Wechsel Filtermaterial F1: 25.01.13 – 31.03.13 (ca. 2 Monate)
- (Betriebszeit F2: ca. 5,5 Monate)

Betriebseinstellung – Anlaufphase:

- Zulauf 2,3 m³/h; (Kontaktzeit: 0,65 h; Oberflächenbeschickung: 3,3 m/h)
- Luftmenge: 2-3 NI/min,
- Bettbewegung F2: 9,26 mm/min (V= 1,5 m³; A= 0,7 m²; H = 2,1 m Betthöhe)

Betriebseinstellung – Testphase (Phase 1):

- Zulauf 2 - 4,5 m³/h; (Kontaktzeit: 0,75 – 0,33h;
- Oberflächenbeschickung: 2,8 - 6,4 m/h); Luftmenge, Spül-, Pausenzeiten: variabel
- F2: keine Beeinträchtigung bei 4,5 m³/h Zulauf

Betriebseinstellung – Betriebsphase (Phasen 2, Oktober 2012 bis 26.01.2013):

- Zulauf 1,5 m³/h; (Kontaktzeit: 1,0 h; Oberflächenbeschickung: 2,1 m/h)
- Luftdruck: 1 -1,5 bar; Luftmenge: 0,7-1,0 NI/min);
- Spülzeiten: 5 min, Spülpausen: 60 min

Betriebseinstellung – Betriebsphase (Phasen 3, 08.02.13 bis 09.04.2013):

- Zulauf 1,5 m³/h; (Kontaktzeit: 0,6 h; Oberflächenbeschickung: 3,6 m/h)

9. Halbtechnische Versuche

9.3 Reinigungsleistung der Dyna-Sand - Versuchsanlage

Die begleitende Abwasseranalytik umfasste 15 Spurenstoffe sowie kläranlagentypische Parameter – CSB, N, P, AFS.

Es wurde der Zufluss und die Abflüsse der beiden Filter beprobt.

Die Probenahme für die Spurenstoffanalyse erfolgte als 72-Stunden Mischprobe durch automatische Probenehmer in Trockenwetterphasen. Aufgrund des hohen Kostenaufwandes für die Spurenstoffanalytik wurde ein 1- bis 2-monatiger Probenahmezyklus gewählt.

Die Beprobung und Analyse der Kläranlagenparameter erfolgte durch Stichprobenentnahme in wöchentlichem Abstand.

Die Analytik zu Spurenstoffen erfolgte durch das Labor OWL Umweltanalytik, Leopoldshöhe.

Analysen zu CSB, N, P, AFS erfolgten durch das Labor der Kläranlage.

Die Zu- und Ablaufkonzentrationen der beobachteten Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage zeigen Bild 21 und Bild 22.

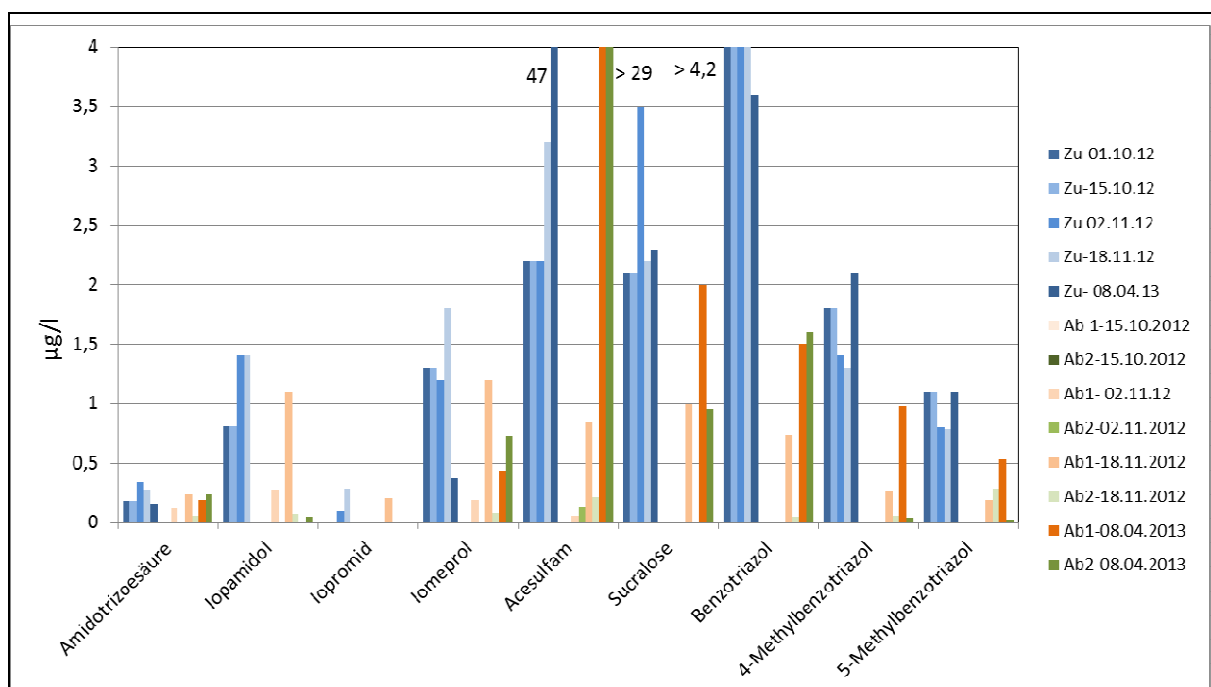


Bild 21: Spurenstoffe – Zu- und Ablauf Versuchsanlage (Röntgenkontrastmittel, Süßstoff, Komplexbildner)

9. Halbtechnische Versuche

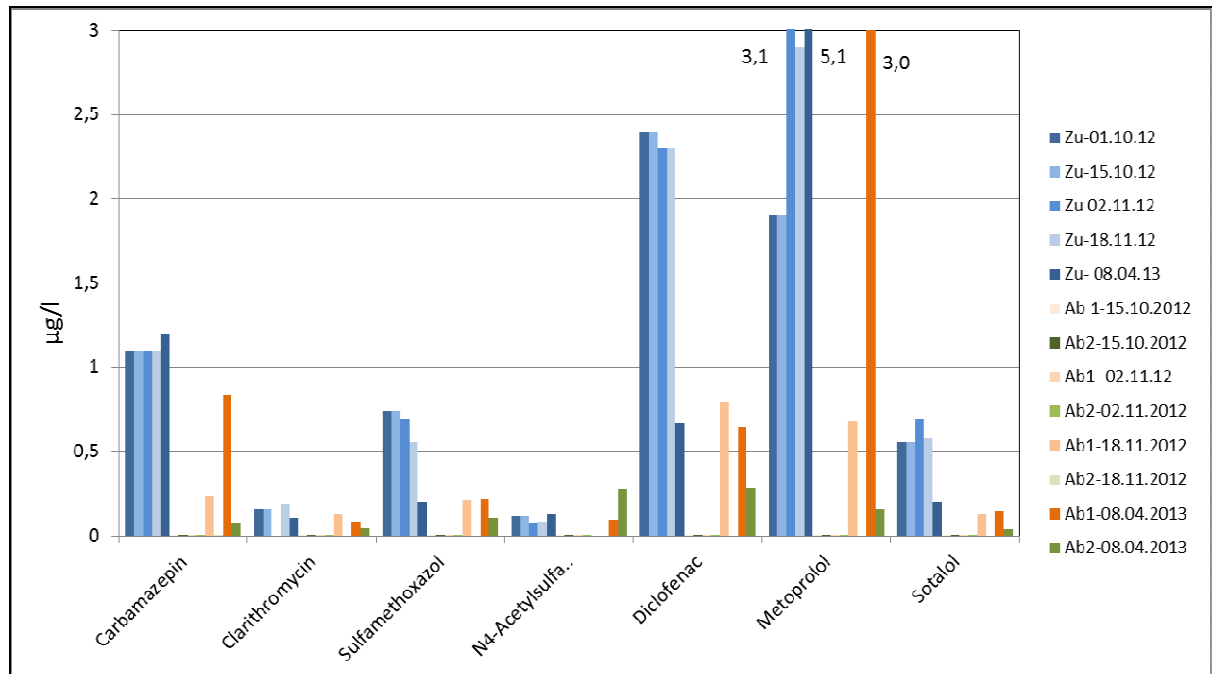


Bild 22: Spurenstoffe – Zu- und Ablauf Versuchsanlage (Antiepileptika, Antibiotika, Schmerzmittel, Betablocker)

Es zeigte sich, dass Filter F1 bei Füllung mit Aktivkohle AquaSorb CS bereits nach rd. 1,5 Monaten Betriebszeit hohe Ablaufkonzentrationen von 1,1 µg/l Iopamidol erreicht und damit rd. 78% der Zulaufkonzentration von 1,4 µg/l. Auch das Röntgenkontrastmittel Iomeprol wies im Ablauf bereits rd. 67% der Zulaufkonzentration auf. Filter F2 mit Aktivkohle vom Typ AquaSorb 2000 zeigte dagegen durchgängig niedrigere Ablaufkonzentrationen, zum größten Teil unterhalb der Nachweisgrenze. Lediglich 5-Methylbenzotriazol, ein Komplexbildner, erreichte mit 0,29 µg/l mit rd. 37% der Zulaufkonzentration einen relativ hohen Wert. In der ca. 5 Monate später entnommenen Abwasserprobe am 08.04.2013, lag die Konzentration dagegen bei nur 0,018 µg/l.

Für Filter F1 wurde nach einer rd. einem Monat dauernden Versuchsphase am 18.11.12 bereits Carbamazepin mit 0,24 µg/l (rd. 22% der Zulaufkonzentration) im Ablauf festgestellt. Insgesamt zeigte sich ein besseres Adsorptionsvermögen der Aktivkohle AquaSorb 2000.

Nach rd. 5,5-monatiger Betriebszeit am 08.04.2013 wurden mit 1,8 µg/l rd. 50% der Zulaufkonzentration des Komplexbildners Benzotriazol im Ablauf von Filter F2 (AquaSorb 2000) festgestellt sowie mit 0,73 µg/l Iomeprol, 0,24 µg/l Amidotrizoessäure, 0,28 µg/l N4-Acetylsulfamethoxazol Konzentrationen über den Zulaufkonzentrationen. Die sehr hohe Zulaufkonzentration von 47 µg/l Acesulfam

9. Halbtechnische Versuche

fürte bei dem mit AquaSorb 5000 (ab dem 28.01.13) befüllten Filter F1 zu einem Durchschlag in den Ablauf, bei Filter F2 (Betrieb ab 08.10.12) zu einer um rd. 38% verminderten Ablaufkonzentration.

Der rd. 2 Monate mit AK AquaSorb 5000 betriebene Filter F1 zeigte bereits für einige Substanzen höhere Ablaufkonzentrationen als F2 nach rd. 5,5 Monaten Betriebszeit. Inwieweit hier auch eine verminderte Rückspüleleistung des Versuchsfilters Einfluss genommen hat kann nicht sicher beurteilt werden.

9. Halbtechnische Versuche

Tabelle 13: Spurenstoffe im Zu- und Ablauf der Versuchsfilter

Probenahmeort	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Zulauf	Ablauf F1	Ablauf F2	Ablauf F1	Ablauf F2	Ablauf F1	Ablauf F2
Aktivkohle										AS CS	AS 2000	AS CS	AS 2000	AS 5000	AS 2000
Spurenstoffe:										15.10.2012	15.10.2012	02.11.12	02.11.2012	06.04.2013	08.04.2013
	01.10.12	15.10.2012	02.11.2012	18.11.2012	08.04.13					15.10.2012	15.10.2012	02.11.12	02.11.2012	06.04.2013	08.04.2013
	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2					<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,84	0,075
Antiepileptikum	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,089	0,045
Antibiotika	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,22	0,11
	0,74	0,74	0,7	0,56	0,2					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1	0,28
Schmerzmittel	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,65	0,29
Betablocker	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	3	0,16
	0,56	0,56	0,7	0,58	0,2					<0,1	<0,1	<0,05	<0,05	0,15	0,038
Röntgenkontrast	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,05	<0,05	0,12	0,061	0,19	0,24
	0,18	0,18	0,34	0,28	0,16					<0,05	<0,05	0,28	0,072	<0,1	0,046
	0,81	0,81	1,4	1,4	<0,01					<0,05	<0,05	0,2	<0,05	<0,1	<0,1
	<0,05	<0,05	0,093	0,29	<0,01					<0,05	<0,05	0,19	0,082	0,43	0,73
	1,3	1,3	1,2	1,8	0,37					<0,05	<0,05	0,13	0,21	47	29
Süßstoff	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,02	<0,02	0,06	0,84	47	29
	2,2	2,2	2,2	3,2	47					<0,25	<0,25	<0,25	<0,25	2	0,95
	2,1	2,1	3,5	2,2	2,3					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	1,5	1,6
Komplexbildner	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l	µ g/l					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,98	0,043
	1,8	1,8	1,4	1,3	2,1					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,53	0,018
	1,1	1,1	0,8	0,78	1,1					<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,19	0,29

9. Halbtechnische Versuche

Der Vergleich der Mikroschadstoffelimination der eingesetzten Aktivkohlen AquaSorb CS, AquaSorb 2000 und AquaSorb 5000 zeigte für AquaSorb 2000 die besten Adsorptionsleistungen.

Der Einfluss der Aktivkohlefiltration auf die Ablaufkonzentrationen der auf der Kläranlage beobachteten Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphorkonzentrationen ist Bild 23 bis Bild 26 sowie der Anlage zu entnehmen.

- F1: Betrieb bis 25.01.2013 mit AquaSorb® CS (Basis Kokosnussschale), danach mit AquaSorb® 5000 (Basis Braunkohle)
- F2: Betrieb durchgängig mit AquaSorb® 2000 (Basis Steinkohle)

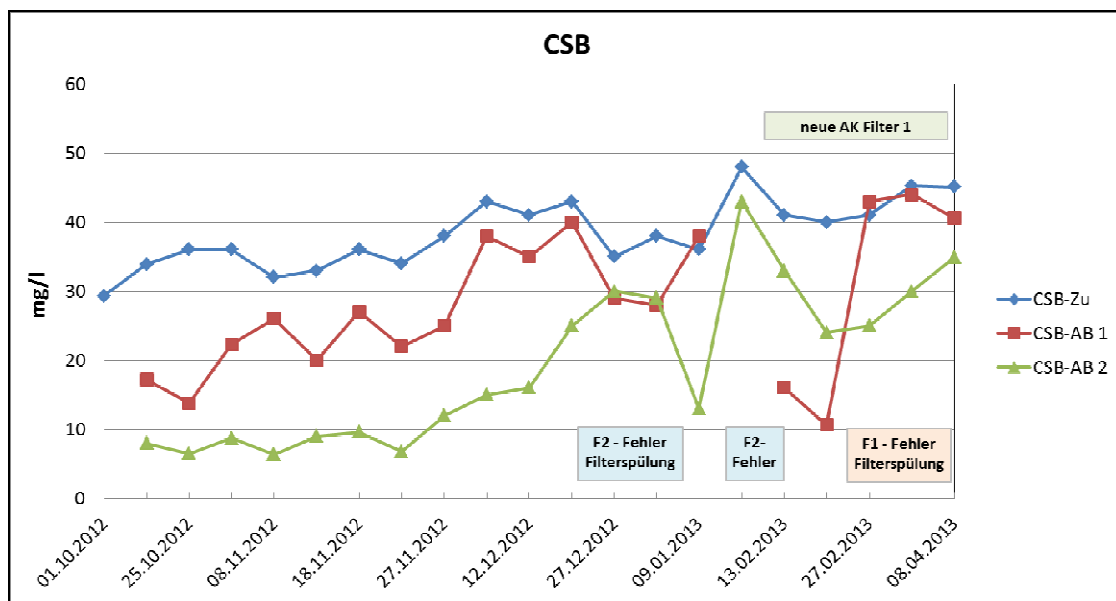


Bild 23: CSB-Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

Es wird deutlich, dass der CSB signifikant durch die Filtration mit Aktivkohle gesenkt werden kann. Die Beschickung der Filtration wurde unabhängig von der CSB Konzentration mit gleichbleibendem Volumenstrom betrieben. Nach ca. 4,5 Monaten wurde eine Ablaufkonzentration für Filter 2 von 30 mg/l überschritten. Zum Ende der Versuche nach rd. 5,5 Monaten betrug die CSB Ablaufkonzentration des Filters F2 rd. 77% der Zulaufkonzentration.

Filter 1 mit der Aktivkohle aus Kokosnussschalen zeigte eine deutlich verminderte CSB-Elimination und einen Durchbruch der CSB Zulaufkonzentration bereits nach rd. 2 Monaten Versuchsbetrieb.

9. Halbtechnische Versuche

Die am 06.02.13 neu in den Filter 1 eingebrachte Aktivkohle auf Basis von Braunkohle (AquaSorb 5000) konnte nur in einem kurzen Zeitraum hinsichtlich der CSB Elimination getestet werden. Grundlegende Aussagen zum Adsorptionsverhalten sind nicht möglich. Es zeigt sich zudem, dass die Abbauleistung der Dyna-Sand-Filtration stark von der Funktionsfähigkeit der Filterspülung abhängt. In mehreren Zeitabschnitten war die Funktionsfähigkeit der Spülung nicht voll gegeben.

Eine nach der CSB Ablaufkonzentration geregelte Beschickung der Filter könnte die Filterstandzeiten in Bezug auf einen CSB-Grenzwert erhöhen. Bei Unterschreitung vorgegebener CSB-Überwachungswerte kann die Betriebsweise Einfluss nehmen auf die Höhe der Abwasserabgabe.

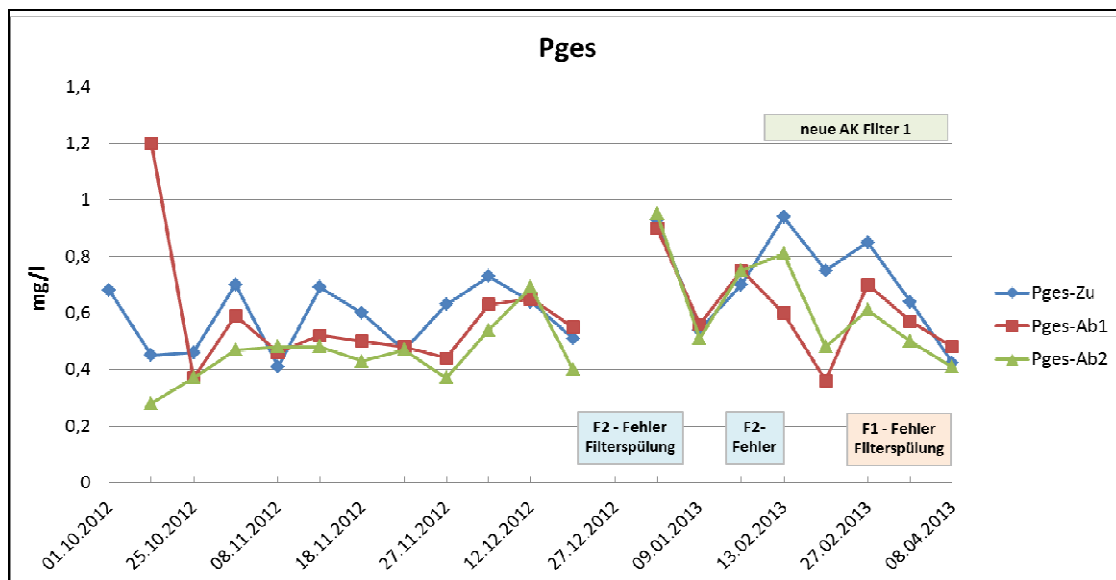


Bild 24: P_{ges}-Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

In Bezug auf die Reduktion der Phosphorkonzentration ist nur ein geringer Einfluss durch die Aktivkohle-Filtration festzustellen. Gleiches gilt für die Ammonium-Stickstoffelimination. Lediglich für die Gesamtstickstoff-Konzentration zeigt sich eine leicht verminderte Ablaufkonzentration, insbesondere für Filter 2 (Bild 25).

9. Halbtechnische Versuche

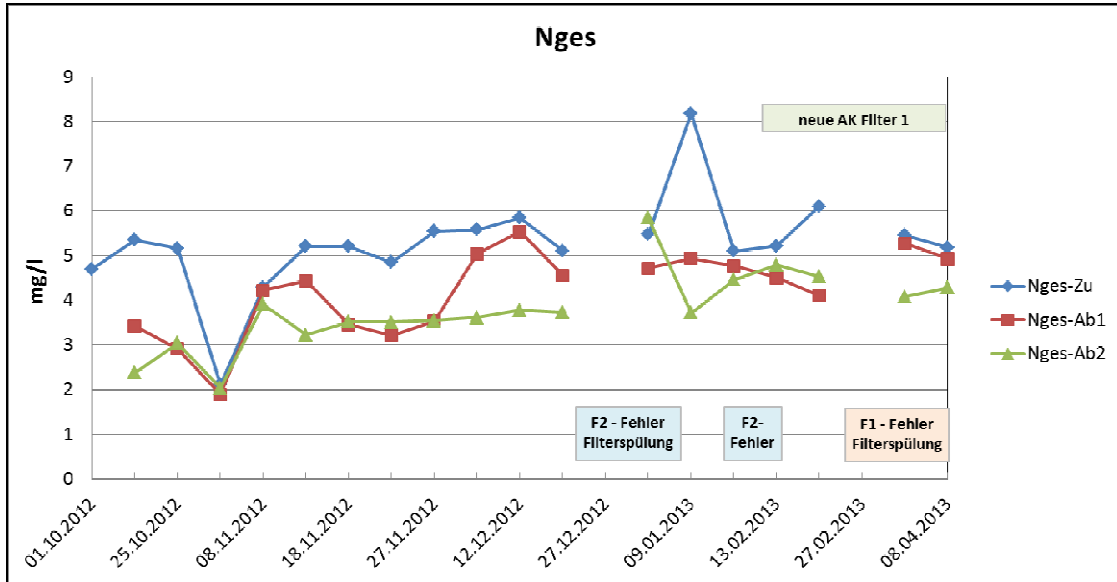


Bild 25: N_{ges} -Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

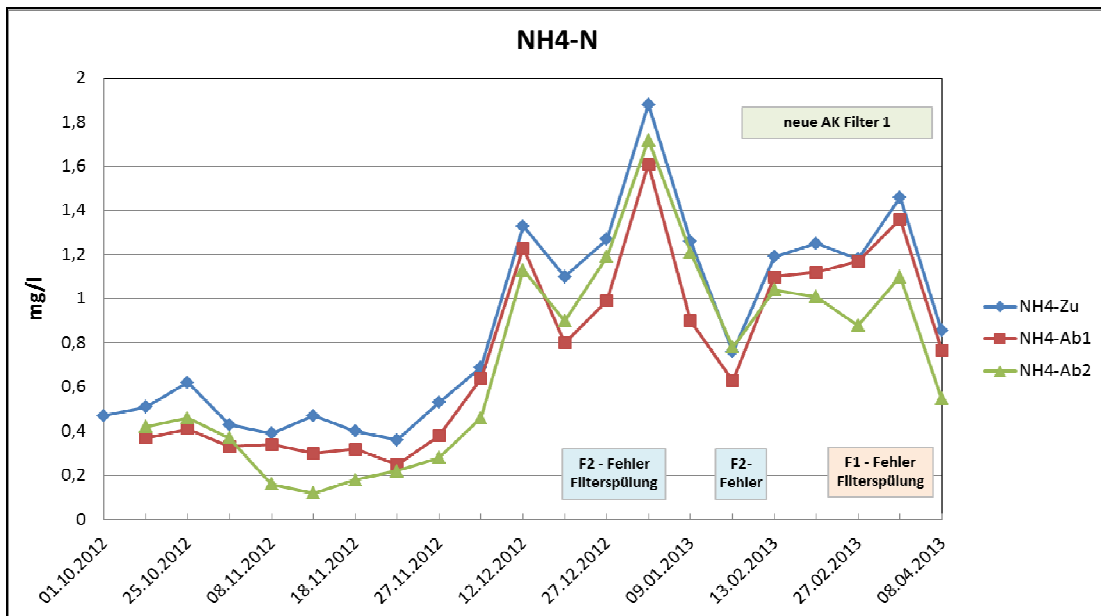


Bild 26: NH_4 -N-Konzentration im Zu- und Ablauf der Versuchsanlage

9. Halbtechnische Versuche

9.4 Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb

Neben der Veränderung der Aktivkohlen durch Spurenstoffe, sollte insbesondere das Verhalten der Aktivkohle in Folge der mechanischen Beanspruchung in der Dyna-Sand Filtration untersucht werden.

Hierzu wurden während der Untersuchungsphasen und jeweils am Ende der Betriebsphasen Aktivkohleproben entnommen und im Labor des Aktivkohlelieferanten, Jacobi Carbons GmbH, untersucht.

9.4.1 Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb - Kornstabilität

Es wurden insgesamt 4 Fraktionierungsuntersuchungen zu den 3 eingesetzten Aktivkohlesorten vorgenommen. Die nachfolgenden Tabellen fassen die Ergebnisse zusammen (Quelle: Jacobi Carbons GmbH).

Grundsätzlich ist zu erwarten, dass die Kohle auf Kokosnussschalenbasis, AquaSorb CS, aufgrund der größeren Härte (gemäß Datenblatt Hersteller) die geringste Kornzerstörung im Betrieb aufweist. AquaSorb 2000, auf Basis von Steinkohle, weist nach Angabe des Lieferanten eine ähnliche Härte auf wie die AK AquaSorb 5000 (Basis Braunkohle), so dass eine ähnliche Kornzerstörung zu erwarten ist.

Die Stabilität der Aktivkohle im Versuchsbetrieb zeigt Bild 27 anhand der Änderungen der Kornfraktionen und Sieblinien.

9. Halbtechnische Versuche

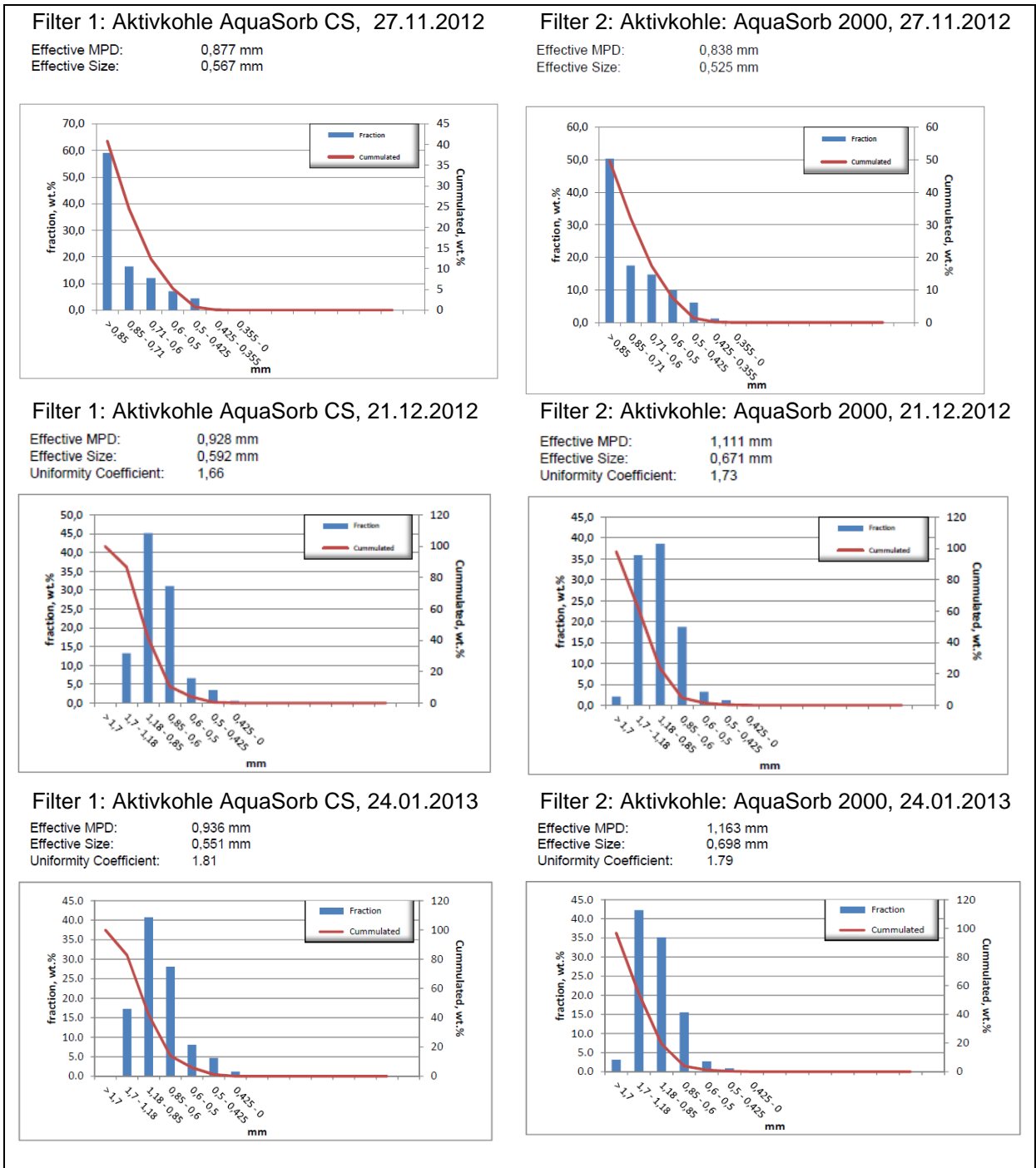


Bild 27: Änderung der Partikelgrößenverteilung der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Filter 1: AquaSorb CS; Filter 2: AquaSorb 2000 (12x 40 Mesh) – Zeitraum 08.10.12 – 24.01.13

9. Halbtechnische Versuche

Die Aktivkohleprobe aus Filter 1, vom Typ AquaSorb CS vom 27.11.12 zeigt nach fast 2-monatiger Betriebszeit im Vergleich mit der Kohle AquaSorb 2000 die geringere Kornzerstörung und damit die größere Härte. Dies ist u. a. erkennbar am Anteil der Körnung > 0,85 mm mit etwa 60% Kornanteil zu etwa 50% Kornanteil.

Die Proben vom 21.12.2012 weisen ein abweichendes Ergebnis auf. AquaSorb 2000 hat mit rd. 75 % zu rd. 58 % für AquaSorb CS den höheren Anteil an Körnungen > 0,85 mm. Der Körnungsanteil liegt über dem Anteil der Proben vom 27.11.2012. Es ist zu vermuten, dass sich hier u. a. Einflüsse uneinheitlicher Probengewinnung auswirken.

Die Ergebnisse der Probenahme vom 24.01.2013, nach rd. 3,5 Monaten Betriebszeit, sind ähnlich der Proben vom 27.11.2012 und zeigen eine vergleichbare Kornverteilungsstruktur. Die mittlere Korngröße und der Ungleichförmigkeitskoeffizient hat sich für AquaSorb 2000 von 1,111 mm bzw. 1,73 auf 1,163 mm und 1,79 kaum verändert. Ebenso zeigt sich für AquaSorb CS nur eine geringe Änderung von 0,928 mm und 1,66 auf 0,936 mm und 1,81.

Nach einer anfänglich höheren Kornzerstörung im Vergleich zu Aktivkohle AquaSorb CS weist AquaSorb 2000 ab dem 21.12.2012 eine im Mittel leicht größeren Körnung auf, zudem zeigt sich eine relativ gleich bleibende Kornstruktur der Aktivkohle. Aufgrund der geringeren Makroporosität und höheren Härte der Aktivkohle AquaSorb CS wäre eine höhere mittlere Korngröße zu erwarten gewesen.

Eine kontinuierliche, signifikante Kornzerstörung ist im Zeitraum 21.12.2012 bis 24.01.2012 nicht festzustellen. Der Anteil kleiner Körnungen <0,6 mm ist bei der Aktivkohle AquaSorb 2000 im Versuchszeitraum kontinuierlich gesunken.

Kleine Korngrößen der Ausgangskörnung 0,425 -1,7 mm (12 x 40 Mesh) sind am 24.01.2013 nur noch zu rd. 3% - 5% vertreten. Eine Akkumulation sehr kleiner Körnungen ist nicht festzustellen.

Abschließende Aussagen zur Kornstabilität von Aktivkohle in Dyna-Sand[®] Filtern können nicht getroffen werden, hierzu sind weitere Versuche insbesondere im großtechnischen Maßstab erforderlich.

Eine Aufstellung der Filterbetthöhen (gemessen ab Oberkante Versuchsfilter) zeigt, dass kein signifikanter Aktivkohleverlust in Filter 2 aufgetreten ist (Tabelle 14). Dagegen wurde im letzten Versuchszeitraum Aktivkohle aus dem Filter F1 ausgetragen. Die Ursachen der Verminderung der Filterbetthöhe

9. Halbtechnische Versuche

he in Filter 1 um rd. 22 cm (rd. 11% Betthöhe) können in einer Fehlfunktion des Filters vermutet werden, die zu einem Austrag von Aktivkohle führte.

Tabelle 14: Änderung der Filterbetthöhe in Bezug auf die Ausgangshöhe (Ruhelage)

Änderung der Filterbetthöhe		
Datum	Filter 1: AquaSorb CS	Filter 2: AquaSorb 2000
18.10.2012	0 mm	0 mm
01.11.2012	-10 mm	
12.11.2012	-40 mm	-5 mm
21.11.2012	-40 mm	-5 mm
18.12.2012	-260 mm	-15 mm

Geringe Verminderungen der Filterbetthöhe können u. a. durch eine Verkleinerung der Korngröße und damit eine Erhöhung der Lagerungsdichte verursacht sein. Geht man von einer Ausgangsbetthöhe von rd. 2 m aus, so zeigt sich für Filter 2 eine relativ geringe Änderung der Betthöhe von ca. 1% und für Filter 1 bis zum 21.11.2012 von rd. 2 %.

Insbesondere für Filter 2 mit Aktivkohle vom Typ AquaSorb 2000 zeigt sich, dass die Kohle weitgehend im Versuchsfilter gehalten werden konnte. Dies wurde auch durch die versuchsbedingt relativ geringe Abwasserbeschickung positiv beeinflusst.

In Filter 1 war die zu Beginn des ergänzenden Versuchszeitraums am 08.02.2013 neu eingefüllte Aktivkohle des Typs AquaSorb 5000 eingebaut und in Filter 2 weiterhin die Aktivkohle AquaSorb 2000. Die Kornstruktur bei Beendigung der Versuche am 09.04.2013 zeigt Bild 28.

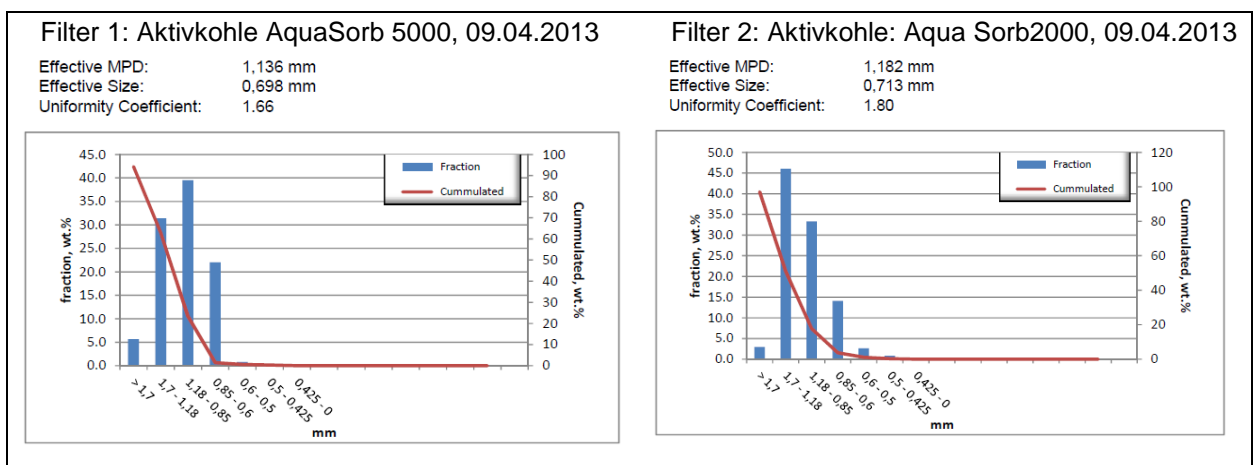


Bild 28: Änderung der Partikelgrößenverteilung der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Filter 1: Aqua-Sorb 5000 (8x30 Mesh) und Filter 2: AquaSorb 2000 (12 x 40 Mesh)– Zeitraum 08.02.13 – 09.04.13

9. Halbtechnische Versuche

Die Aktivkohle in Filter 1 weist kaum Körnungen $< 0,6$ mm auf. Eine signifikante Kornzerstörung mittelgroßer Körner scheint nicht erfolgt zu sein.

Für Filter 2 (AquaSorb 2000) zeigt sich, dass die mittlere Korngröße mit 1,163 mm weitgehend mit der Korngröße der Probe vom 24.01.2013 übereinstimmt (Bild 28). Ebenso ist der Unförmigkeitskoeffizient mit 1,71 kaum verändert zu dem Ungleichförmigkeitskoeffizienten vom 24.01.2013 mit 1,79. Eine signifikante Kornzerstörung ist für diesen Zeitraum nicht festzustellen.

Für den mit AK AquaSorb 5000 betriebenen Filter 1, zeigt sich im Versuchszeitraum ein hoher Aktivkohleaustrag. Die Kohle erwies sich als zu leicht für den Einsatz in der Dyna-Sand-Versuchsanlage.

9. Halbtechnische Versuche

9.4.2 Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Sonstige Analytik

Folgende weitere Parameter der gebrauchten Aktivkohle wurden gemäß den in Klammern angegebenen Analysen-Methoden untersucht:

- Jodzahl (ASTM D 4607)
- Feuchte (ASTM D 2867)
- Flüchtige Bestandteile (ASTM D 5832)
- Schüttdichte (ASTM D 2854)
- Asche (ASTM D 2866)

Die folgende Tabelle fasst die Untersuchungsergebnisse zusammen.

Tabelle 15: Untersuchung der gebrauchten Aktivkohle im Versuchsbetrieb

Parameter		Analysen				
		Filter 1 - AquaSorb CS				F1 - AS 5000
	Datum	19.10.12	21.11.12	17.12.12	26.01.13	09.04.13
Schüttdichte	[g/l]	495	501	544	475	350
Jodzahl	[mg/g]	1293	1240	1141	1178	928
Aschegehalt	[Gew.%]	1,4	0,8	0,2	1,0	12,6
Feuchte	[Gew.%]	k. A.	50	50	52,9	53,8
flüchtige Bestandteile	[Gew.%]	k. A.	k. A.	7,8	1,5	3,5
		Filter 2 - AquaSorb 2000				
	Datum	19.10.12	21.11.12	17.12.12	26.01.13	09.04.13
Schüttdichte	[g/l]	465	470	488	450	460
Jodzahl	[mg/g]	905	829	751	775	720
Aschegehalt	[Gew.%]	10,7	10,2	9,9	9,9	10,3
Feuchte	[Gew.%]	k. A.	k. A.	59,5	54	44,3
flüchtige Bestandteile	[Gew.%]	k. A.	6,6	10	1,2	4,5

9. Halbtechnische Versuche

Es wird grundsätzlich erwartet, dass die Schüttdichte mit zunehmender organischer Beladung ansteigt. Filter 1 mit AK auf Basis von Kokosnussschale ist dies im Zeitraum 19.10.12 – 19.12.12 zu beobachten. Als Ausreißer weist die Probe vom 26.01.13 eine geringere Schüttdichte von 475 g/l auf. Eine gleiche Entwicklung ist für die Schüttdichte in Filter 2 zu beobachten.

Mit der Jodzahl kann die Adsorptionsleistung von Aktivkohle charakterisiert werden. Sie ist abhängig von der freien inneren Oberfläche der Aktivkohle. Die beladene Aktivkohle hat eine niedrigere Jodzahl und korreliert mit der Beladung.

Es wird die Jodmenge in mg/l bestimmt, die 1 g Aktivkohle adsorbieren kann, wenn die Endkonzentration der Lösung $c = 0,02$ mol/l Jod beträgt. Gemäß der Ausgangsjodzahlen kurz nach Inbetriebnahme von 1.293 mg/g für AS CS und 905 mg/g für AS 2000 (19.10.12) hat die AK auf Basis von Kokosnussschale die höhere Adsorptionskapazität. Dies deckt sich grundsätzlich mit den Angaben des Herstellers zu frischer Aktivkohle (Tabelle 16). AquaSorb 5000 weist mit <1.100 mg/g eine noch um 10% über AquaSorb CS liegende Jodzahl auf.

In den ersten 2 Betriebsmonaten verringerte sich die Jodzahl um ca. 12 % (AS CS) bzw. 17% (AS 2000). Die besseren Sorptionseigenschaften zeigte demnach AquaSorb 2000. Im Versuchszeitraum (19.10.12 – 09.04.13) verringerte sich die Jodzahl beständig (Ausnahme 26.01.13) um insgesamt ca. 20,5%.

Die Jodzahl von AquaSorb 5000, nach rd. 2 Monaten Betriebszeit, liegt mit 928 mg/g (09.04.13) deutlich über der Jodzahl von AquaSorb 2000 nach rd. zwei Monaten Betriebszeit mit 751 mg/g (17.12.12). Die Adsorption war entsprechend höher.

Der Aschegehalt der auf 650°C erhitzten Aktivkohle umfasst alle anorganischen Bestandteile als Asche und als Oxide, also auch alle Salze, Stäube, Metalloxide. Die Änderung des Aschegehaltes im Laufe der Versuche war bei den untersuchten Aktivkohlen gering. Auffällig ist der deutliche Unterschied zwischen den Aschen der Aktivkohle aus Kokosnussschale (AS CS) und aus Steinkohle (AS 2000, AS 5000), der mit den unterschiedlichen Ausgangsaschegehalten zu begründen ist (s. Tabelle 16).

9. Halbtechnische Versuche

Tabelle 16: Eigenschaften der gelieferten Aktivkohle nach Angaben des Herstellers (Jacobi Carbons)

Parameter		Aktivkohle		
		AquaSorb CS	AquaSorb 2000	AquaSorb 5000
Jodzahl	mg/g	>1000	>950	>1100
Schüttdichte	[kg/m ³]	510	490	300
Schüttdichte nach Rückspülung	[kg/m ³]	440	420	k.A.
Aschegehalt	[%]	max. 4	max. 15	k.A.
Härte	[%]	min 98	min 95	k.A.
Korngröße	[mm]	0,425 - 1,70	0,425 - 1,70	0,6 - 2,36
Oberfläche (nach BET)	m ² /g	1050	1000	1150

9. Halbtechnische Versuche

9.4.3 Verhalten der Aktivkohle im Versuchsbetrieb – Betriebsverhalten

Das Befüllen der Versuchsfilter mit trockener Aktivkohle war zeitintensiv, da Aktivkohle nur langsam wässert und im trockenen Zustand schlecht sinkt. Bei AquaSorb CS und AquaSorb 5000 waren auch nach längerer Standzeit noch Lufteinschlüsse im Filterbett vorhanden. Diese verhinderten, dass das Filterbett gleichmäßig durchströmt wurde und beeinträchtigte daher die Filtratqualität. Die enthaltene Luft entwich bei AquaSorb 2000 schneller, nach dem Freispülen konnten keine Lufteinschlüsse mehr festgestellt werden. Nachteilig war die stärkere Staubentwicklung bei AquaSorb 2000 während des Befüllens. Wie bei Sand als Filtermaterial muss auch bei Aktivkohle nach dem Befüllen der Unter Kornanteil ausgespült werden.

Durch das geringere spezifische Gewicht der Aktivkohle ist der Filterwiderstand wesentlich geringer als bei einer Sandfüllung. Bei allen drei Aktivkohlen trat selbst bei höherer Beschickung kein Anstieg des Filterwiderstandes auf. Dies ist bei den Spüleinstellungen zu berücksichtigen.

Die Mammutpumpen fördern selbst bei kleinem Druck (1-1,5 bar) und geringer Luftmenge (0,7-1 NI/min) viel Aktivkohle. Bei zu großer Aktivkohleförderung konnte es bei kleinen Partikeln zu Problemen im Sandwäscher kommen, wenn die Aktivkohle nicht schnell genug absinkt und so den Sandwäscher verstopft. Daher muss bei der großtechnischen Anlage für einen Betrieb mit Aktivkohle die Luftzufuhr reduziert werden. Des Weiteren ist für die großtechnische Anlage Aktivkohle der Körnung > 1 mm zu wählen. Eine Fluidisierung des Filterbetts trat auch bei einer Filtergeschwindigkeit von 6,5 m/h bei keiner der untersuchten Kohlen auf [12].

Im Ergebnis ist festzustellen, dass bei Auswahl der Aktivkohle für den großtechnischen Einsatz in der Dyna-Sand Filtration neben den Adsorptionseigenschaften auch die hydraulischen und mechanischen Eigenschaften zu berücksichtigen sind. Die Aktivkohle muss abriebfest und möglichst schwer sein. Da sich das Verfahrensprinzip nicht ändern können bestehende Anlagen umgerüstet werden. Hierzu ist vor allem eine angepasste Versorgung der Mammutpumpe mit Druckluft nötig [12].

10 Empfehlungen zum großtechnischer Ausbau der Dyna-Sand-Filtration zum Betrieb mit granulierter Aktivkohle (GAK)

Verfahren:

Es wurden insgesamt sieben Verfahrensvarianten zur Mikroschadstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg untersucht.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass eine Ozonung die niedrigsten Betriebskosten aufweist und im ersten Betriebsjahr die geringsten Jahreskosten. Ein grundsätzlicher Nachteil von Ozonanlagen ist, dass keine vollständige Elimination der Mikroschadstoffe erfolgt. Transformationsprodukte verbleiben im Abwasser. Wie diese Vielzahl an chemischen Verbindungen hinsichtlich der Wassergüte zu bewerten sind und welche langfristigen Auswirkungen auf die Umwelt bestehen ist weiter Gegenstand der Forschung.

Verfahren, die auf Zugabe von Pulveraktivkohle beruhen, weisen den grundsätzlichen Nachteil auf, dass eine landwirtschaftliche Verwertung ausgeschlossen ist. Die thermische Entsorgung der Klärschlämme ist hier neben der Aktivkohlebeschaffung der wesentliche Kostenfaktor der Jahreskosten. Eine separate PAK-Behandlungsstufe bedingt den Bau von Kontakt- und Absetzbecken und erfordert damit hohe Investitionskosten.

Unter den Verfahren mit granulierter Aktivkohle zeigt sich, auch im Vergleich zu den PAK-Varianten, für die Umnutzung der vorhandenen Dyna-Sand-Anlage (Variante 2c) die größte Wirtschaftlichkeit. Die Jahreskosten dieser Variante werden abgeschätzt auf rd. 210.000,- € /a im ersten Betriebsjahr und rd. 155.000,- € /a für die weiteren Betriebsjahre (brutto). Hierdurch ergeben sich spezifische Kosten von rd. 0,14 €/ m³ bzw. 4,51 €/EW/a im ersten Betriebsjahr und in den weiteren von rd. 0,10 €/m³ bzw. 3,32 €/EW/a.

Betriebsverhalten:

Durch den Betrieb der halbtechnische Dyna-Sand Versuchsanlage wurde die grundlegenden Betriebsbedingungen eines großtechnischen Einsatzes erprobt.

Festgestellt wurde, dass die Dyna-Sand-Verfahrenstechnik grundsätzlich geeignet ist für einen Betrieb mit Aktivkohle.

Dies deckt sich mit Erfahrungen im industriellen Bereich von Dyna-Sand-Filtern, vorwiegend in Schweden. In rd. 20 Dyna-Sand Anlagen wird nach Angaben des Herstellers Nordic Water GmbH Ak-

10. Empfehlung – Großtechnischer Ausbau

tivkohle als Filtermaterial verwendet. Eingesetzt werden die Filter in der Trinkwassergewinnung, der Behandlung von mineralölhaltigen Abwässern und zur Behandlung von Kondensat aus der Rauchgasreinigung von Müllverbrennungsanlagen [11]. Für die Elimination der Verunreinigungen wurden jedoch Aktivkohlen mit anderen adsorptiven und mechanischen Eigenschaften eingesetzt.

Als geeignet für den Einsatz in Dyna-Sand Anlagen kann im Vergleich der getesteten Aktivkohlen vor allem die GAK AquaSorb 2000 angesehen werden. Ein größerer Austrag von Aktivkohle aus dem System oder eine signifikante Kornzerstörung konnte nicht festgestellt werden. Die Härte des Kornes liegt nur um rd. 3% unter der Härte der getesteten Aktivkohle auf Basis von Kokosnussschalen.

Die Kohle zeigt zudem die besseren Adsorptionseigenschaften für Mikroschadstoffe, insbesondere gegenüber der parallel getesteten AK auf Basis von Kokosnussschalen AquaSorb CS.

Die für die halbtechnischen Versuche verwendete Körnung (12 x 40 Mesh), ist im Hinblick auf die Eignung für großtechnischen Einsatz durch den Anlagenbauer noch zu verifizieren. Um Probleme im Sandwäscher zu vermeiden sind Körnungen > 1 mm zu verwenden [12].

Umbaumaßnahmen und Kosten

Von folgenden Investitionskosten ist unter Einbeziehung der Aktivkohlebefüllung und der ersten Ersatzbefüllung mit regenerierter Aktivkohle auszugehen:

1.	Sandentleerung, Entsorgung des alten Filtersandes:	5.000,-- €
2.	Demontage von Teilen der Filtration, Neuinstallation Rohrleitungen, Austausch Mammutpumpe, Austausch Sandwäscher:	
-	Demontagearbeiten, Montage neue Einbauteile	11.600,-- €
-	12 Stk. Einbauteile DS 5000 ADD zu DynaSand-Filtration	108.000,-- €
-	Sonstige Installationsarbeiten, Schieber, Leitungen:	10.000,-- €
3.	Anschaffung von Filtermaterial:	
-	Aktivkohle Befüllung 110 t; z. B.: AquaSorb 2000, Jacobi:	204.000,-- €
-	Aktivkohle Ersatzbefüllung 110 t,(reg. Material) Kostenansatz 70%:	143.000,-- €
4.	Abdeckung Filter - Faltabdeckung:	82.000,-- €
5.	Inbetriebnahme, EMSR Technik, Befüllung, Spülung, Inbetriebnahme:	5.400,-- €
7.	2 SAK-Sonden 2 x 16.250,-- €	32.500,-- €
8.	2 Dosierpumpen Phosphatfällung	5.000,-- €
	Summe:	606.500,-- €

10. Empfehlung – Großtechnischer Ausbau

Hinzuzuziehen sind Kosten für Ingenieurleistungen und ggf. eine Betreuung und begleitende Analytik in der Anfahrphase der Dyna-Sand[®] Carbon Filtration.

Eine Abdeckung der Filtration ist nachzurüsten, da sich an der Oberfläche der vorhandenen Filtration eine starke Algenbildung zeigt. Die Algenbildung soll zur Verbesserung des Filterprozesses und zur Vermeidung von Anlagerungen und damit zur Verminderung der Sorptionsfähigkeit der Aktivkohle vermieden werden. Bei Abtrieb von Algen ist mit einer Beeinträchtigung der Ablaufwerte zu rechnen.

Unter Bezug auf großtechnische Erfahrungswerte von Standzeiten mit Anlagen mit granulierter Aktivkohle ist von folgenden Standzeiten auszugehen:

KA Rietberg:

Mittlerer Trockenwetterzufluss: Ist (2006): 49 l/s; 176 m³/h; 1,54 Mio. m³/a

Mittlerer Trockenwetterzufluss: Prognose (2025): 63 l/s; 227 m³/h; 1,99 Mio. m³/a

Bei Ansatz der prognostizierten Jahresabwassermenge (TW + RW) (2025) von rd. 2,26 Mio. m³/a würden bei Behandlung des gesamten Trockenwetterzuflusses von 1,99 Mio. m³/a rd. 86% des Abwassers behandelt werden.

Bei einem geregelter Trockenwetterzufluss von z.B. 80% $Q_{TW, \text{mittel}}$: 1,23 Mio. m³/a (2006) bzw. 1,59 Mio. m³/a (2025) würden rd. 70% des Abwassers behandelt.

In der Trinkwasseraufbereitung werden nach Literaturlauswertungen von Alt et al. [21] 2.000 – 25.000 durchsetzbare Bettvolumen bis zu einem erforderlichen Austausch der Filter-Aktivkohle erreicht.

Bei Ansatz von Literaturwerten zu erreichbaren Filterstandzeit bezogen auf Spurenstoffe von 5.000 bzw. 9.000 durchsetzbare Bettvolumina (BV) ergeben sich folgende theoretische Standzeiten:

Kläranlage Rietberg:

Nutzbares Filtervolumen: 210 m³

Ist Zustand (2006), 9.000 BV, Q_{ZU} 100% TW: $210 \text{ m}^3 \times 9.000 \text{ BV} / 1,54 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 1,23 \text{ a}$

Ist Zustand (2006), 5.000 BV, Q_{ZU} 100% TW: $210 \text{ m}^3 \times 5.000 \text{ BV} / 1,54 \text{ Mio m}^3/\text{a} = 0,68 \text{ a}$

Ist Zustand (2006), 5.000 BV, Q_{ZU} 80% TW: $210 \text{ m}^3 \times 5.000 \text{ BV} / (0,8 \times 1,54 \text{ Mio m}^3/\text{a}) = 0,85 \text{ a}$

Für höhere Trockenwetterzuflüsse sind entsprechend geringere Standzeiten zu erwarten.

Für die in der Kostenrechnung angesetzte 1-jährige Filterstandzeit und einer um 80% reduzierten Trockenwetterzuflussmenge von 1,23 Mio. m³/a (2006) ergibt sich ein erforderliches durchsetzbares Bettvolumen von 5.857 BV.

10. Empfehlung – Großtechnischer Ausbau

Erfahrung auf der KA Obere Lutter zeigen Standzeiten von max. 15 Monaten (Durchbruch CSB) [25]. Dies entspricht einer Rate von rd. 7.300-fachen Filterbettvolumen bei einem geregelten Trockenwetterzufluss von 1,23 Mio. m³/a.

Erfahrungen mit GAK im Filterbett auf der Kläranlage Düren-Merken zeigen, dass eine 80%ige Elimination von Carbamazepin bis zu einem durchgesetzten Bettvolumen von 4.200 BV erreicht werden konnte (Standzeit 15 Monate) [23]. Die spezifische Adsorptionskapazität in Bezug auf CSB war bei den Pilotversuchen auf der KA Düren-Merken bei vorgegebener Kontaktzeit und bei Versuchen mit zwei unterschiedlichen GAK nach 4.000 bzw. 7.000 durchgesetzten Bettvolumina erschöpft [24].

Die auf der KA Rietberg tatsächlich zu erwartenden Standzeiten in Bezug auf CSB und ausgewählten Spurenstoffen sind im Rahmen der großtechnischen Umsetzung zu bestimmen.

Die (optionale) Regelung des Trockenwetterabflusses kann über die im Zu- und Ablauf der Filtration vorgesehene SAK-Messsonden sowie MID-Messungen erfolgen.

Die umzubauende Filtration wird in Bild 29 im Lageplan und in der Draufsicht gezeigt.

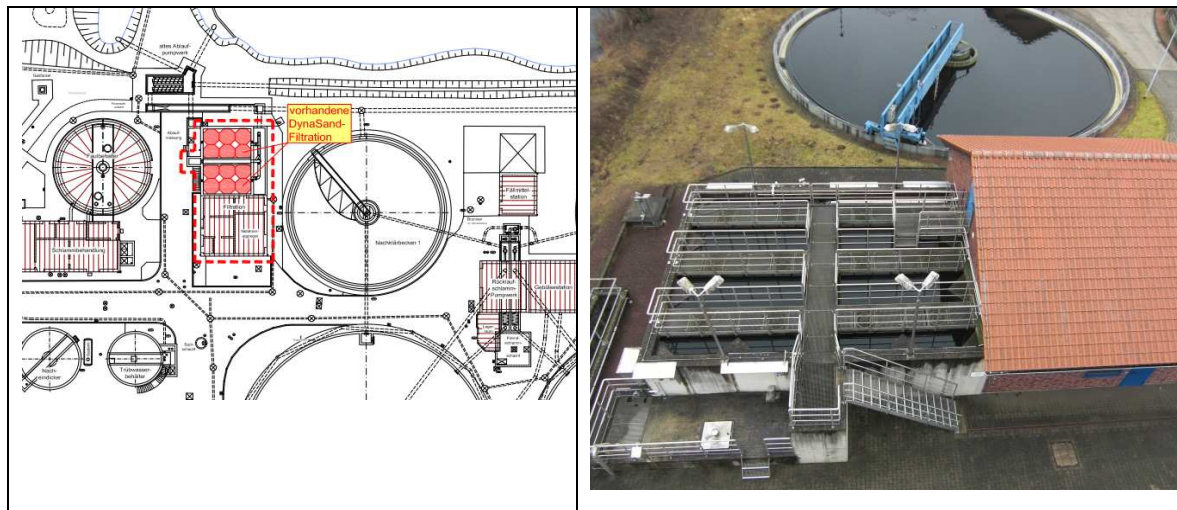


Bild 29: Lageplan, Foto – Umzurüstende Dyna-Sand-Filtration, Kläranlage Rietberg

11 Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchungen wurden insgesamt sieben verfahrenstechnische Varianten für eine Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Rietberg hinsichtlich technischer Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit untersucht. Darunter jeweils drei Verfahren unter Einsatz von PAK und GAK sowie ein Verfahren auf Basis einer Ozonanlage.

Unter den auf Aktivkohleadsorption basierenden Verfahren erwies sich die Umrüstung der vorhandenen Dyna-Sand[®] Filtration (Variante 2c) als vorteilhaft.

Die Jahreskosten dieser Variante werden abgeschätzt auf rd. 210.000,- € /a im ersten Betriebsjahr und rd. 155.000,- € /a für die weiteren Betriebsjahre (brutto). Hierdurch ergeben sich spezifische Kosten von rd. 0,14 €/ m³ bzw. 4,51 €/EW/a im ersten Betriebsjahr und in den weiteren von rd. 0,10 €/m³ bzw. 3,32 €/EW/a.

Die halbtechnischen Untersuchungen zum Betrieb einer Dyna-Sand[®] Filtration mit Aktivkohle als Filtermaterial haben gezeigt, dass grundsätzlich ein Betrieb mit granulierter Aktivkohle möglich ist. Es sind jedoch bei der Auswahl der eingesetzten Aktivkohle besondere Einsatzkriterien hinsichtlich Härte, Schwere und Körnung zu berücksichtigen, um einen sicheren Betrieb der Filtration zu gewährleisten.

Unter den eingesetzten Aktivkohlen zeigte die AK AquaSorb 2000 (Fa. Jacobi Carbons) auf Basis von Steinkohle die günstigsten Eigenschaften. Es sollten Körnungen > 1 mm eingesetzt werden, um einen sicheren Betrieb des Sand (Aktivkohle)-Wäschers zu gewährleisten.

Auf Basis der vorliegenden Untersuchungen wird empfohlen, die vorhandene Dyna-Sand Filtration auf den Betrieb mit granulierter Aktivkohle umzurüsten. Investitionskosten können zu 70% durch das Land NRW gefördert werden.

Es wird empfohlen den großtechnische Betrieb der Dyna Sand[®] Carbon Filtration in der Einfahrphase weiter wissenschaftlich, technisch zu begleiten, um ergänzende Aussagen zur Standzeit der Aktivkohle, zur Kornstabilität und zum Betriebsverhalten zu gewinnen.

Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH
Hannover, den 30.07.2013

12 Literatur

- [1] Abegglen, C; Escher , B.
Abschlussbericht Ozonung von gereinigtem Abwasser. Pilotversuch Regensdorf. Dübendorf; 2009
- [2] IGKB
Rechtliche Grundlagen und Konzepte der Länder und Kantone im Einzugsgebiet und Memoranden zur Spurenstoffthematik (Stand 57. Kommissionstagung der IGKB); 2011
- [3] Metzger, S.
Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. Berlin: Oldenburg Industrieverlag München, 2010
- [4] Grontmij
Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss Ost. Bericht für das MKULNV NRW, 2012
- [5] LAWA
Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinie). LAWA Unterausschuss Wirtschaftlichkeitsfragen in der Wasserwirtschaft. Kulturbuchverlag Berlin GmbH; 2005
- [6] Schwentner, G. et al.
Ergänzung der Flockungfiltration durch Vorschaltung einer Aktivkohleanlage am Beispiel der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen. Schriftenreihe Gewässerschutz-Wasser-Abwasser, Bd. 220, Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen, ISBN 978-3-938996-26-3; 2010

12. Literatur

- [7] Hiller, G.
Abwasserreinigung mit dem Ziel der Spurenstoffentnahme und der Unterschreitung der abgaberelevanten Schwellenwerte für CSB und P in Ulm/Neu-Ulm. Karlsruher Flockungstage 2011, Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe Schriftenreihe SWW, Bd. 151, Karlsruhe; 2011
- [8] Pinnekamp, J.; Merkel, W.
Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen – Güte- und Kostenbetrachtung. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. Hrsg. MUNLV, 2008
- [9] Metzger, S.; Kapp, H.
Aktivkohlebehandlung von biologisch gereinigtem Abwasser im Klärwerk Steinhäule. DWA Landesverbandstagung Baden Württemberg, Friedrichshafen, 2005
- [10] Rölle, R.; Kuch, B.
Die Aktivkohlebehandlungsstufe auf der Kläranlage Kressbronn. KA-Korrespondenz Abwasser, Abfall, 58, Nr. 11. GFA – Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V., Hennef. 2011
- [11] Nordic Water GmbH.
Persönliche Mitteilung, Nordic Water zur Erfahrung mit Dyna Sand Carbon Filtern. Neuss, M. Zehendner, 22.10.2012
- [12] Nordic Water GmbH.
Kurzbericht: Untersuchungen zum Einsatz von Aktivkohle in die bestehenden DynaSand[®] Filter der Kläranlage Rietberg. Neuss, Juli 2013 - unveröffentlicht
- [13] Metzger, S.; Rößler, A.; Kapp, H.; Hiller G.; Süßmuth, W.; Maurer, M.
Spurenstoffentnahme in kommunalen Kläranlagen durch Adsorption. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall, Nr. 6, 56, 2009

12. Literatur

- [14] Götz, C.; Bergmann, S; Ort, C.; Singer, H; Kase, R.
Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser - Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), 2012
- [15] Mutschmann, J.; Stimmelmayer, F.
Taschenbuch der Wasserversorgung. Friedr. Vieweg Verlag & Sohn; GWV Fachverlag GmbH, Wiesbaden. 14 Aufl., 2007
- [16] Ruhrverband
Ozonierung und Aktivkohleadsorption in der Kläranlage Schwerte. Projektdatenblatt des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW. www.umweltcluster-nrw.de; 2012
- [17] Grontmij
Ozonbehandlung Kläranlage Duisburg-Vierlinden. Projektdatenblatt des Kompetenzzentrums Mikroschadstoffe NRW. www.umweltcluster-nrw.de; 2012
- [18] Abegglen, C.; Escher, B.; Hollender, J.; Siegrist, H.; Gunten v. U.; Zimmermann S.; Häner, A.; Ort, C.; Schäfer, M.
Ozonung von gereinigtem Abwasser zur Elimination von organischen Spurenstoffen. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall; Nr. 2, 57, 2010
- [19] Joss, A.; Siegrist, H.; Ternes, T. A.
Are we about to upgrade wastewater treatment for removing organic micropollutants? *Water Science and Technology*, 57 (2), 2008

12. Literatur

- [20] Dowell Mc, D.C.; Huber, M. M.; Wagner, M.; Gunten v. U.; Ternes, T.A.
Oxidation of carbamazepine in drinking water: identification and kinetic study of major oxidation products. *Environ. Sci. Technol.*, 39 (29), 2005
- [21] Alt, K.; Barnscheidt, I.
Kosten des Einsatzes von Aktivkohle in bestehenden Flockungsfiltrationsanlagen. *KA Korrespondenz Abwasser*, Nr. 1, 59, 2012
- [22] Rölle, R., Schirmeister, W.
Vorstellung aktueller Projekte zum Ausbau von kommunalen Klärwerken mit einer Adsorptionsstufe. Aktivkohle in der Abwasserreinigung. DWA Landesverband Baden-Württemberg, Tagung 23/24 Juni 2010
- [23] Pinnekamp, J.; Bornemann, C.
Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben: Projekt Nr. 5: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle (MikroFlock). AZ IV-7-042 600 001E. Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzepten und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren. Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), 2012
- [24] IWW
Kurzbericht zum Forschungsvorhaben – CSB- und Spurenstoffadsorption am Aktivkohlefestbett beim AOL – Abwasserverband Obere Lutter. Für das Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV), 2011

13. Anhang

13 Anhang

13.1 Untersuchungsergebnisse des Screenings

Untersuchungen vom 28.04.2011, Stichprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		36820 110143	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Amoxicillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chloramphenicol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chlortetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ciprofloxacin	ng/l	220	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	61	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dapson	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dehydrato-Erythromycin	ng/l	150	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dicloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Doxycyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enrofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Erythromycin	ng/l	85	Hausmethode (LC-MS-MS)
Furazolidon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Meclocyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Nafcillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Norfloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ofoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oleandomycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxytetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicilin V	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicillin G	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Roxithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diazepam	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ifosfamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pentoxifyllin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Salbutamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Terbutalin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Analysennummer:		36820 110143	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Spiramycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadiazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadimidin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamerazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	550	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Trimethoprim	ng/l	120	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tylosin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Virginiamycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	2800	Hausmethode (LC-MS-MS)
Atenolol	ng/l	200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Betaxolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	220	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	1800	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pindolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propranolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	740	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	890	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iohexol	ng/l	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iomeprol	ng/l	5000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	1200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iothalaminsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxaglinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxithalaminsäure	ng/l	350	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzafibrat	ng/l	140	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Gemfibrozil	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Simvastadin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Acetylsalicylsäure (ASS)	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	3700	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dimethylaminophenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ibuprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Indometacin	ng/l	88	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ketoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Naproxen	ng/l	93	Hausmethode (LC-MS-MS)
Paracetamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Phenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propyphenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clenbuterol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cyclophosphamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 22.09.2011, Stichprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

Analysennummer:		37608 117227	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Amoxicillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chloramphenicol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chlortetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ciprofloxacin	ng/l	140	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dapson	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dehydrato-Erythromycin	ng/l	140	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dicloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Doxycyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enrofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Erythromycin	ng/l	100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Furazolidon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Meclocyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Nafcillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Norfloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ofoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oleandomycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxytetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicilin V	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicillin G	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Roxithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Spiramycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ifosfamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pentoxifyllin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Salbutamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Terbutalin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Analysennummer:		37608 117227	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Sulfadiazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadimidin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamerazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	640	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Trimethoprim	ng/l	200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tylosin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Virginiamycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1700	Hausmethode (LC-MS-MS)
Atenolol	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Betaxolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	120	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	1600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pindolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propranolol	ng/l	54	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	690	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iohexol	ng/l	450	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iomeprol	ng/l	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	940	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iothalaminsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxaglinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxithalaminsäure	ng/l	170	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzafibrat	ng/l	52	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Gemfibrozil	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Simvastadin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Acetylsalicylsäure (ASS)	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	3000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dimethylaminophenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ibuprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Indometacin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ketoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Naproxen	ng/l	75	Hausmethode (LC-MS-MS)
Paracetamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Phenazon	ng/l	67	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propyphenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clenbuterol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cyclophosphamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diazepam	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenopropfen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 05.10.2011, Stichprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

Analysennummer:		37608 117228	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Amoxicillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chloramphenicol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chlortetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ciprofloxacin	ng/l	150	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dapson	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dehydrato-Erythromycin	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dicloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Doxycyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enrofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Erythromycin	ng/l	67	Hausmethode (LC-MS-MS)
Furazolidon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Meclocyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Nafcillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Norfloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ofoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oleandomycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxytetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicilin V	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicillin G	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Roxithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Spiramycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ifosfamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pentoxifyllin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Salbutamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Terbutalin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

<i>Analysennummer:</i>		37608 117228	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Sulfadiazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadimidin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamerazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	580	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Trimethoprim	ng/l	87	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tylosin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Virginiamycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Atenolol	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Betaxolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	150	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	2000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pindolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propranolol	ng/l	59	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	650	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoensäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lohexol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	2800	Hausmethode (LC-MS-MS)
lothalaminsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
loxaglinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
loxithalaminsäure	ng/l	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzafibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Gemfibrozil	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Simvastadin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Acetylsalicylsäure (ASS)	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	2600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dimethylaminophenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ibuprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Indometacin	ng/l	120	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ketoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Naproxen	ng/l	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
Paracetamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Phenazon	ng/l	79	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propyphenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	77	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clenbuterol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cyclophosphamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diazepam	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenopropfen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 15.11.2011, Stichprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		37608 117229	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Amoxicillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chloramphenicol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chlortetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ciprofloxacin	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dapson	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dehydrato-Erythromycin	ng/l	200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dicloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Doxycyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enrofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Erythromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Furazolidon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Meclocyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Nafcillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Norfloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ofoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oleandomycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxytetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicilin V	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicillin G	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Roxithromycin	ng/l	57	Hausmethode (LC-MS-MS)
Spiramycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadiazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadimidin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Analysennummer:		37608 117229	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Sulfamerazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Trimethoprim	ng/l	370	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tylosin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Virginiamycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1800	Hausmethode (LC-MS-MS)
Atenolol	ng/l	260	Hausmethode (LC-MS-MS)
Betaxolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	330	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	3200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pindolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propranolol	ng/l	56	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	750	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	2900	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iohexol	ng/l	74	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iomeprol	ng/l	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iothalaminsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxaglinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxithalaminsäure	ng/l	520	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzafibrat	ng/l	180	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrat	ng/l	77	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrinsäure	ng/l	260	Hausmethode (LC-MS-MS)
Gemfibrozil	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Simvastadin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Acetylsalicylsäure (ASS)	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	3400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dimethylaminophenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ibuprofen	ng/l	91	Hausmethode (LC-MS-MS)
Indometacin	ng/l	240	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ketoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Naproxen	ng/l	90	Hausmethode (LC-MS-MS)
Paracetamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Phenazon	ng/l	74	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propyphenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clenbuterol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cyclophosphamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diazepam	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ifosfamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pentoxifyllin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Salbutamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Terbutalin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 14.12.2011, Stichprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

Analysennummer:		37608 117230	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Amoxicillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chloramphenicol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Chlortetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ciprofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dapson	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dehydrato-Erythromycin	ng/l	300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dicloxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Doxycyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Enrofloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Erythromycin	ng/l	100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Furazolidon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Meclocyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Nafcillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Norfloxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ofoxacin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oleandomycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxacillin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Oxytetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicilin V	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Penicillin G	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ronidazol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Roxithromycin	ng/l	100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Spiramycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lfosfamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pentoxifyllin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Salbutamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Terbutalin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

<i>Analysennummer:</i>		37608 117230	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Sulfadiazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfadimidin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamerazin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	520	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tetracyclin	ng/l	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Trimethoprim	ng/l	340	Hausmethode (LC-MS-MS)
Tylosin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Virginiamycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Atenolol	ng/l	270	Hausmethode (LC-MS-MS)
Betaxolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Bisoprolol	ng/l	250	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	3500	Hausmethode (LC-MS-MS)
Pindolol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propranolol	ng/l	66	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	670	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	790	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iohexol	ng/l	1900	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iomeprol	ng/l	3600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	390	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iothalaminsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxaglinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ioxithalaminsäure	ng/l	600	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzafibrat	ng/l	91	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clofibrinsäure	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Etofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrat	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenofibrinsäure	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Gemfibrozil	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Simvastadin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Acetylsalicylsäure (ASS)	ng/l	< 20	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	1800	Hausmethode (LC-MS-MS)
Dimethylaminophenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ibuprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Indometacin	ng/l	76	Hausmethode (LC-MS-MS)
Ketoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Naproxen	ng/l	57	Hausmethode (LC-MS-MS)
Paracetamol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Phenazon	ng/l	92	Hausmethode (LC-MS-MS)
Propyphenazon	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clenbuterol	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Cyclophosphamid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diazepam	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Fenoprofen	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

13.2 Untersuchungsergebnisse der Filter

Untersuchungen vom 28.09.2012 - 01.10.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

Analysennummer:		41715 130530	
Parameter:	Einheit:	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Acesulfam	µg/l	2,5	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	2	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	450	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	97	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1000	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	2200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	5700	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	1600	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	880	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	1800	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	540	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	190	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	820	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	180	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 12.10.2012 - 15.10.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		41715 130531	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Acesulfam	µg/l	2,2	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	2100	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	740	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	120	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	2400	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	7200	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	1800	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	1100	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	1900	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	560	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizesäure	ng/l	180	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	1300	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	810	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 30.10.2012 - 02.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Filter 1 – AK - Typ: AquaSorb CS

(2) = Ablauf Filter 2 – AK - Typ: AquaSorb 2000

<i>Analysennummer:</i>		41745 130707	41759 130788	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Acesulfam	µg/l	< 0,02	< 0,02	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	< 250	< 250	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	< 100	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	< 100	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	< 100	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	< 100	< 100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 30.10.2012 - 02.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		41715 130532	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Acesulfam	µg/l	7,2	Hausmethode LC/MS
Sucralose	ng/l	3500	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	700	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	80	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	2300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	4500	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	1400	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	800	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	3100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	700	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizesäure	ng/l	340	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	1200	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	1400	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	93	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 30.10.2012 - 02.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Filter 1 – AK - Typ: AquaSorb CS

(2) = Ablauf Filter 2 – AK - Typ: AquaSorb 2000

<i>Analysennummer:</i>		41745 130708	41759 130789	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Acesulfam	µg/l	0,06	0,13	Hausmethode LC/MS
Sucralose	ng/l	< 250	< 250	Hausmethode LC/MS
Clarithromycin	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
4-Methylbenzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
5-Methylbenzotriazol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode LC/MS
Metoprolol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizesäure	ng/l	120	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	190	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	280	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	< 50	< 50	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 15.11.2012 - 18.11.2012, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		41715 130533	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(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)
Amidotrizoensäure	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)

13. Anhang

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

<i>Analysennummer:</i>		41745 130709	41759 130790	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(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)
Amidotrizesäure	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)

13. Anhang

Untersuchungen vom 05.04.2013 - 08.04.2013, mehrtägige Mischprobe

(1) = Ablauf Flockungsfiltration

<i>Analysennummer:</i>		45241 141810	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>			
Acesulfam	µg/l	47	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	2300	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	200	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	130	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	1200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	670	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	3600	Hausmethode (LC-MS-MS)
4-Methylbenzotriazol	ng/l	2100	Hausmethode (LC-MS-MS)
5-Methylbenzotriazol	ng/l	1100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	5100	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	200	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizesäure	ng/l	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	370	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopamidol	ng/l	< 10	Hausmethode (LC-MS-MS)
Iopromid	ng/l	< 10	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

Untersuchungen vom 05.04.2013 - 08.04.2013, mehrtägige Mischprobe

(2) = Ablauf Filter 1 – AK - Typ: AquaSorb 5000

(2) = Ablauf Filter 2 – AK - Typ: AquaSorb 2000

<i>Analysennummer:</i>		41745 141668	41759 141667	
<i>Parameter:</i>	<i>Einheit:</i>	(1)	(2)	Verfahren
<i>Messungen im Labor</i>				
Acesulfam	µg/l	47	29	Hausmethode LC-MS
Sucralose	ng/l	2000	950	Hausmethode (LC-MS-MS)
Clarithromycin	ng/l	89	45	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sulfamethoxazol	ng/l	220	110	Hausmethode (LC-MS-MS)
N4-Acetylsulfamethoxazol	ng/l	100	280	Hausmethode (LC-MS-MS)
Carbamazepin	ng/l	840	75	Hausmethode (LC-MS-MS)
Diclofenac	ng/l	650	290	Hausmethode (LC-MS-MS)
Benzotriazol	ng/l	1500	1600	Hausmethode (LC-MS-MS)
4-Methylbenzotriazol	ng/l	980	43	Hausmethode (LC-MS-MS)
5-Methylbenzotriazol	ng/l	530	18	Hausmethode (LC-MS-MS)
Metoprolol	ng/l	3000	160	Hausmethode (LC-MS-MS)
Sotalol	ng/l	150	38	Hausmethode (LC-MS-MS)
Amidotrizoesäure	ng/l	190	240	Hausmethode (LC-MS-MS)
lomeprol	ng/l	430	730	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopamidol	ng/l	< 10	46	Hausmethode (LC-MS-MS)
lopromid	ng/l	< 10	< 10	Hausmethode (LC-MS-MS)

13. Anhang

13.3 Auswertung Mikroschadstoff-Ablaufkonzentrationen Filtration

Spurenstoffe:	Zu - 28.04.11	Zu - 22.09.11	Zu - 05.10.11	Zu - 15.11.11	Zu - 14.12.11	Zu - 01.10.12	Zu - 15.10.12	Zu - 02.11.12	Zu - 18.11.12	Zu - 08.04.13
Antiepileptikum										
Antibiotika										
Carbamazepin	2,8	1,7	1,3	1,8	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2
Clarithromycin	0,061	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	0,16	0,16	0,13	0,19	0,11
Sulfamethoxazol	0,55	0,64	0,58	1,1	0,52	0,74	0,74	0,7	0,56	0,2
N4-Acetylsulfamethoxazol										
Ciprofloxacin	0,22	0,14	0,15	0,16	<0,05	0,12	0,12	0,08	0,09	0,13
Dehydrato-Erythromycin	0,15	0,14	0,16	0,2	0,3					
Erythromycin	0,09	0,1	0,07	<0,05	0,1					
Trimethoprim	0,12	0,2	0,09	0,37	0,34					
Roxithromycin	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,1					
Schmerzmittel										
Diclofenac	3,7	3,0	2,6	3,4	1,8	2,4	2,4	2,3	2,3	0,67
Naproxen	0,093	0,075	0,19	0,09	0,06					
Ibuprofen	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05					
Phenazon	<0,05	0,07	0,08	0,07	0,09					
Betablocker										
Metoprolol	1,8	1,6	2,0	3,3	3,5	1,9	1,9	3,1	2,9	5,1
Sotalol	0,74	0,69	0,65	0,75	0,67	0,56	0,56	0,7	0,58	0,2
Atenolol	0,2	0,13	0,16	0,26	0,27					
Bisoprolol	0,22	0,12	0,15	0,33	0,25					
Röntgenkontrast										
Amitiditriozoesäure	0,89	<0,05	<0,05	2,9	0,79	0,18	0,18	0,34	0,28	0,16
Iopamidol	1,2	0,94	2,8	<0,05	0,39	0,81	0,81	1,4	1,4	<0,1
Iopromid	<0,05	<0,05	0,77	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,093	0,29	<0,1
Iomeprol	5	1,4	<0,05	0,11	3,6	1,3	1,3	1,2	1,8	0,37
Ioxithalaminsäure	0,35	0,17	0,11	0,52	0,6					
Iohexol	1,4	0,45	<0,05	0,07	1,9					
Antirheumatika										
Indometacin	<0,05	<0,05	0,12	0,24	<0,05					
Lipidsenker										
Bezafibrat	0,14	<0,05	<0,05	0,18	0,9					
Fenofibrat	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05					
Fenofibrinsäure	<0,05	<0,05	<0,05	0,26	0,13					
Süßstoff										
Acesulfam						2,2	2,2	2,2	3,2	47
Sucralose						2,1	2,1	3,5	2,2	2,3
Komplexbildner										
Benzotriazol						7,2	7,2	4,5	4,2	3,6
4-Methylbenzotriazol						1,8	1,8	1,4	1,3	2,1
5-Methylbenzotriazol						1,1	1,1	0,8	0,78	1,1

13. Anhang

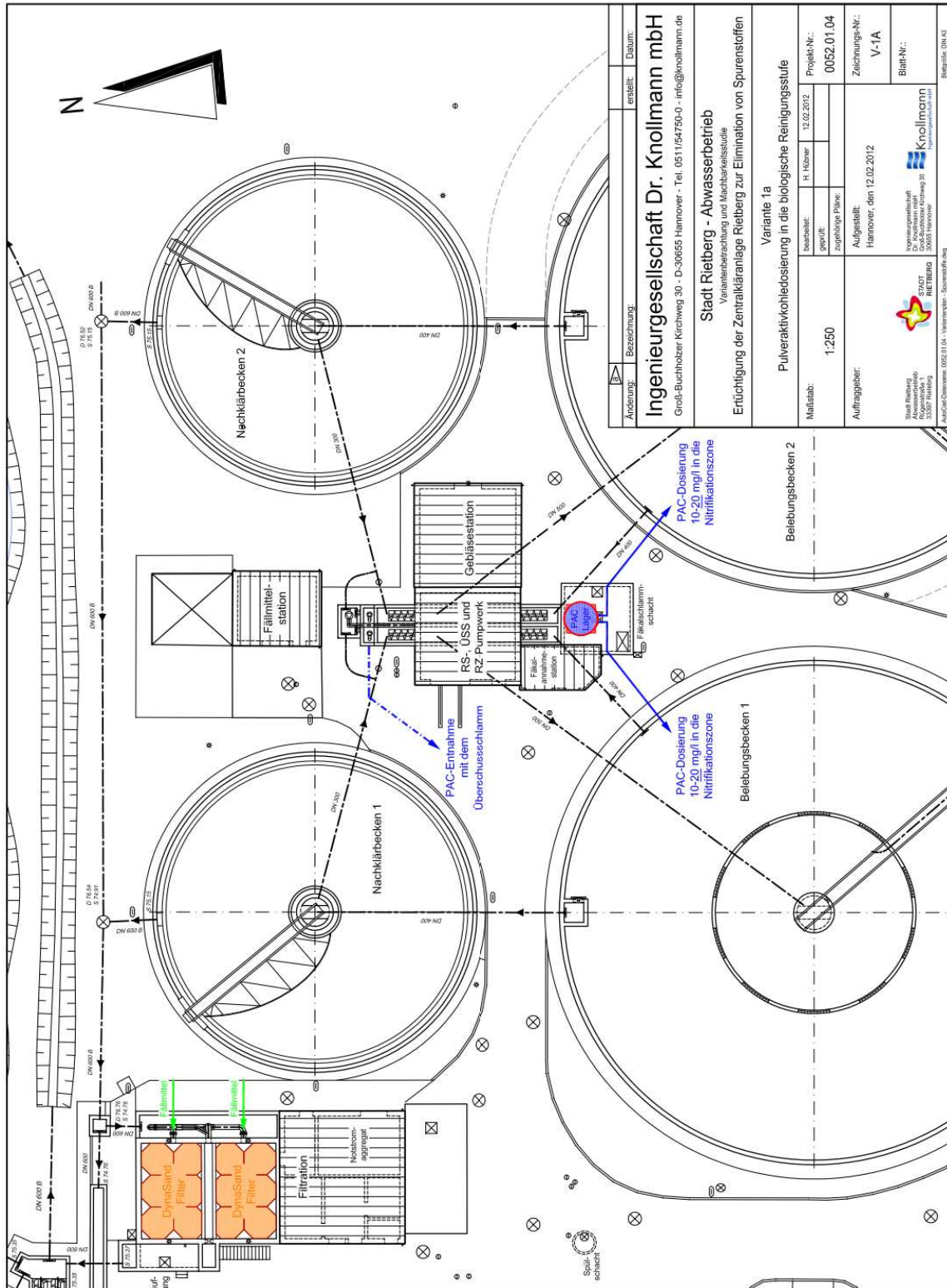
13.4 Auswertung Zu- und Ablaufkonzentrationen Versuchsanlage

Datum	CSB		Pges		Nges		NH4-N		AFS		TOC	
	Zu mg/l	Filter 1 mg/l	Zu mg/l	Filter 1 mg/l	Zu mg/l	Filter 1 mg/l	Zu mg/l	Filter 1 mg/l	Zu mg/l	Filter 1 mg/l	Zu mg/l	Filter 1 mg/l
01.10.2012	29,3		0,68		4,7		0,47		3,5			
15.10.2012	33,9	17,2	0,45	1,2	5,35	3,42	0,51	0,37	2	5	1	
25.10.2012	36	13,8	0,46	0,37	5,16	2,91	0,62	0,41				14,8
02.11.2012	36	22,3	0,7	0,59	2,11	1,89	0,43	0,33	6	5	3	
08.11.2012	32	26	0,41	0,46	4,29	4,22	0,39	0,34				12,4
14.11.2012	33	20	0,69	0,52	5,2	4,43	0,47	0,3				13,8
18.11.2012	36	27	0,6	0,5	5,2	3,45	0,4	0,32	6,5	4	2	
22.11.2012	34	22	0,47	0,48	4,85	3,21	0,36	0,25				13,5
27.11.2012	38	25	0,63	0,44	5,54	3,53	0,53	0,38				14,5
06.12.2012	43	38	0,73	0,63	5,58	5,04	0,69	0,64				16,7
12.12.2012	41	35	0,64	0,65	5,84	5,53	1,33	1,23				14,9
16.12.2012	43	40	0,51	0,55	5,11	4,56	1,1	0,8	8	9	5	
27.12.2012	35	29					1,27	0,99				
03.01.2013	38	28	0,93	0,9	5,47	4,72	1,88	1,61				14,3
09.01.2013	36	38	0,54	0,56	8,18	4,94	1,26	0,9				15,8
17.01.2013	48	45	0,7	0,75	5,1	4,77	0,76	0,63				29,8
13.02.2013	41	16	0,94	0,6	5,21	4,5	1,19	1,1	5,5	2	5,5	15,5
21.02.2013	40	10,6	0,75	0,36	6,1	4,1	1,25	1,12				16,7
27.02.2013	41	43	0,85	0,7			1,18	1,17				
08.03.2013	45,3	44	0,64	0,57	5,45	5,27	1,46	1,36				3
08.04.2013	45,1	40,6	0,4234	0,48	5,18	4,93	0,856	0,768				17,2
			0,408	0,408	4,28	4,28	0,548	0,548				15,6
												12,3

13.5 Planunterlagen – Varianten Spurenstoffelimination

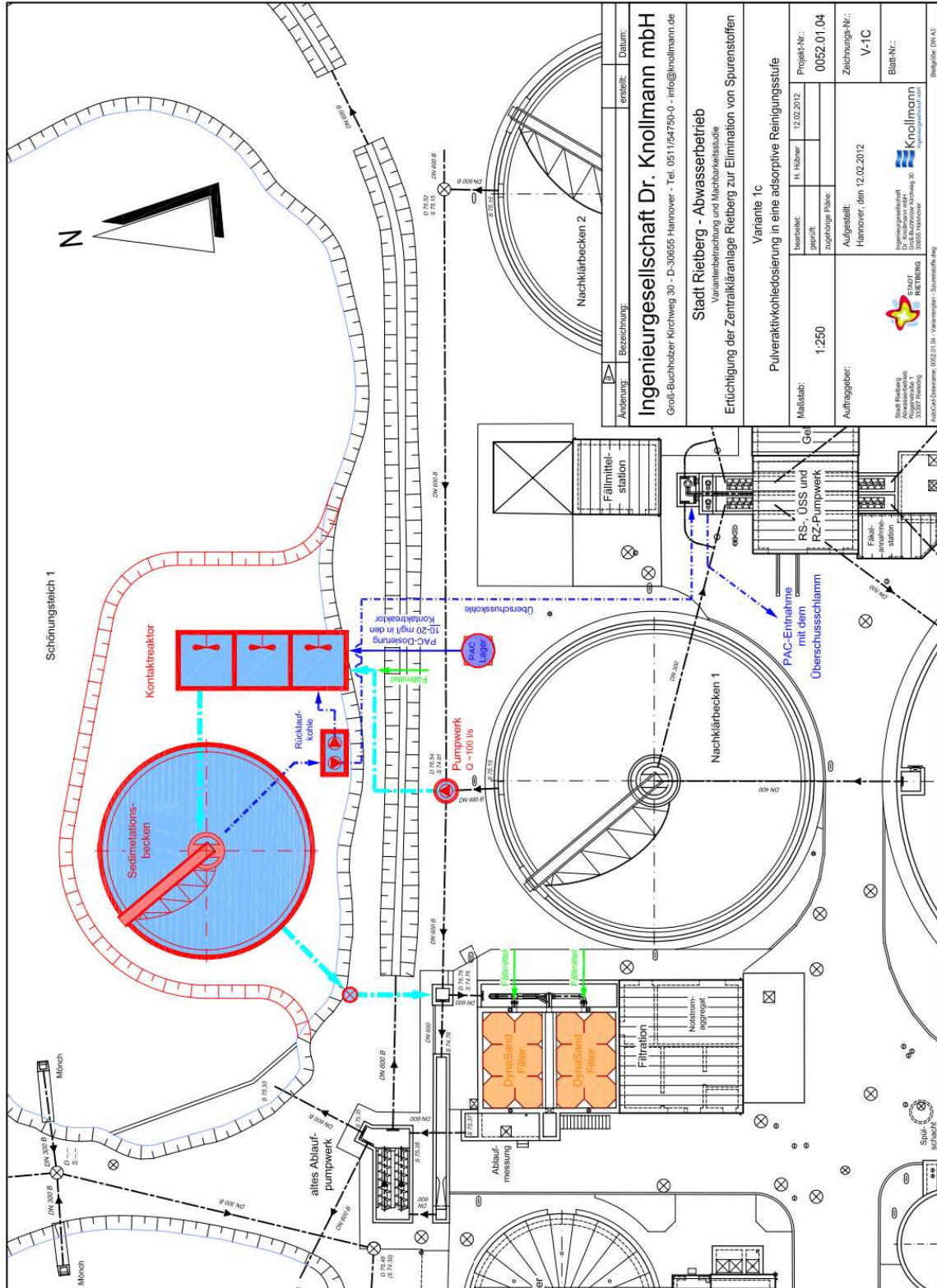
- Variante 1a. PAC-Dosierung in der biologischen Reinigungsstufe (Simultandosierung),
- Variante 1b. PAC-Dosierung vor/in einem Sandfilter,
- Variante 1c. PAC-Dosierung in einer adsorptiven Reinigungsstufe
- Variante 2a. Festbett-Adsorber,
- Variante 2b. Festbett-Aktivkohle-Filtration,
- Variante 2c. Dyna-Sand-Aktivkohle-Filtration
- Variante 3. Qxidation mit Ozon - Ozonungsanlage vor einem Sandfilter

13. Anhang

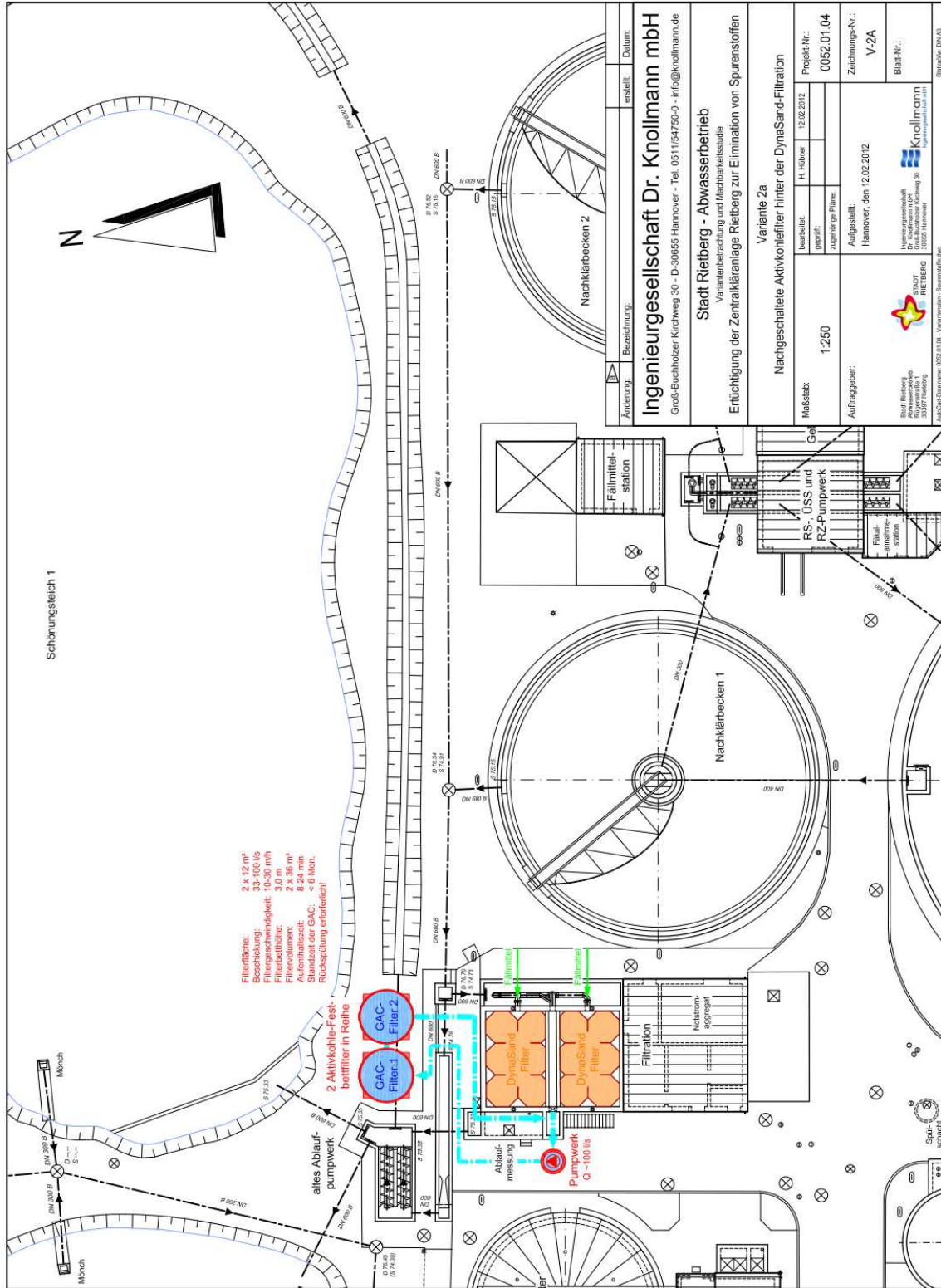


Änderung:	Bezeichnung:	erstellt:	Datum:
Ingenieurgesellschaft Dr. Knollmann mbH Groß-Buchholzer Kirchweg 30 - D-30655 Hannover - Tel. 0511/54750-0 - info@knollmann.de			
Stadt Rietberg - Abwasserbetrieb Variantenberatung und Machbarkeitsstudie Errichtung der Zentralkläranlage Rietberg zur Elimination von Spurenstoffen			
Variante 1a Pulveraktivkohledosierung in die biologische Reinigungsstufe			
Maßstab:	1:250	gezeichnet:	H. Hübner
Auftraggeber:	Hannover, den 12.02.2012	Projekt-Nr.:	0052.01.04
		Zeichnungs-Nr.:	V-1A
		Blatt-Nr.:	
Projektleitung: Dr. Knollmann mbH Rietberg 33087 Rietberg		Ingenieurgesellschaft Knollmann Dr. Knollmann mbH Rietberg 33087 Hannover	

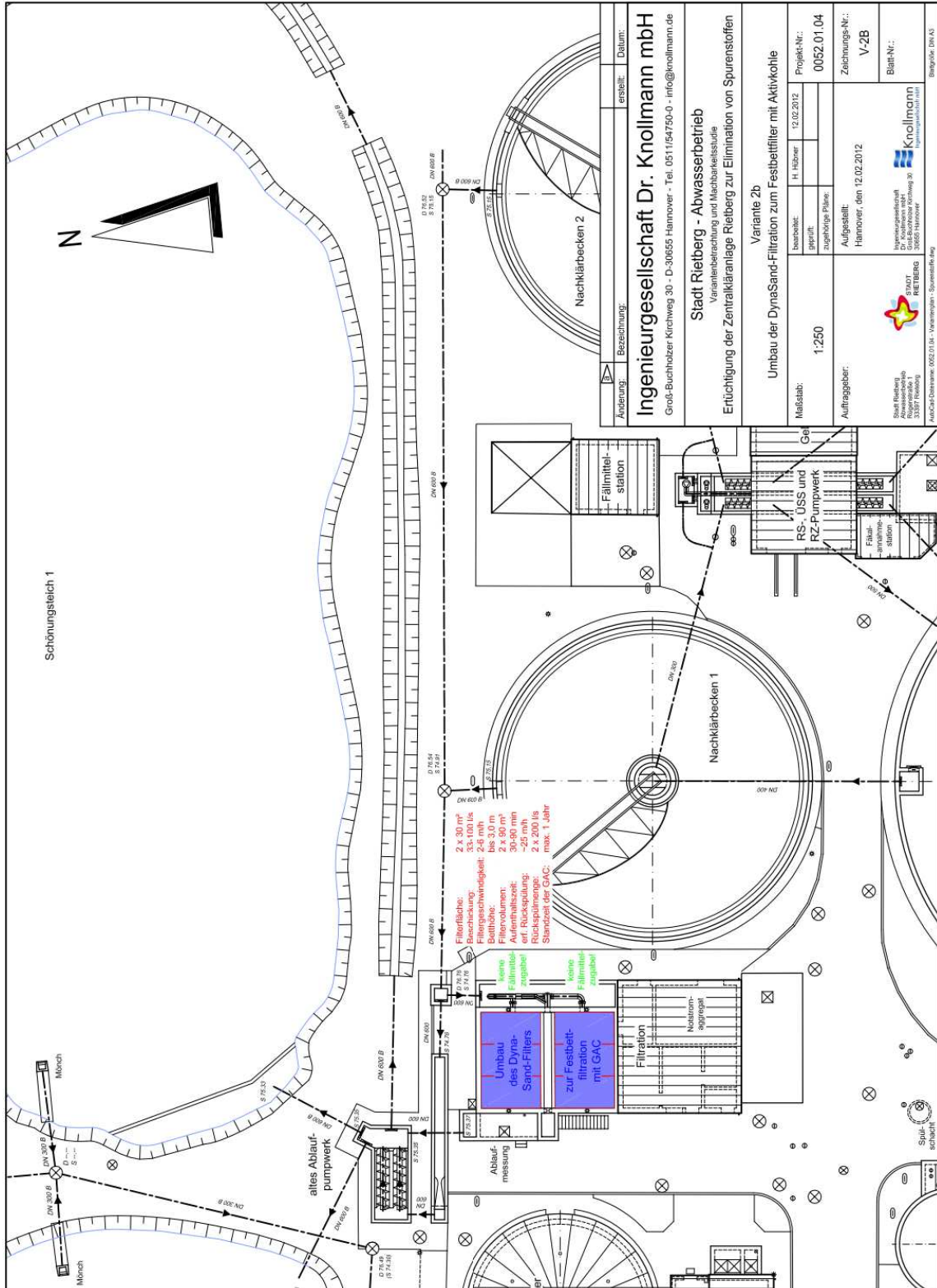
13. Anhang



13. Anhang



13. Anhang



13. Anhang

