



Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination

Erläuterungsbericht

Düsseldorf, November 2012



Auftraggeber:

Stadt Harsewinkel

**Stadt Harsewinkel
Die Bürgermeisterin**

Im Auftrag

Stefan

Stadt Harsewinkel: Herr Austermann

Volmering

Aufgestellt durch:

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH

Beratende Ingenieure

Stockkampstraße 10

40477 Düsseldorf

Düsseldorf, 07.11.2012

4119_00 /KA, AB

4119_Erläuterungsbericht_Harsewinkel_121011

K. Alt

Geschäftsführer: Dipl.-Ing. Klaus Alt

A. Blank

Projektleiter: Dr.-Ing. Andreas Blank

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Projektkurzbeschreibung	2
1.3	Aufgabenstellung	2
2	KURZBESCHREIBUNG DER BESTEHENDEN KLÄRANLAGE	4
3	STAND DER FORSCHUNG ZUM THEMA SPURENSTOFFE IM ABWASSER UND TRINKWASSER	7
3.1	Allgemeines	7
3.2	Physikalisch-chemische Stoffeigenschaften	9
3.3	Grundlagen der Aktivkohleadsorption	10
3.3.1	Grundbegriffe, Funktionsprinzip und Bemessungsparameter	10
3.3.2	Charakterisierung des Adsorptionsverhaltens	12
3.4	Grundlagen der Behandlung mit Ozon	15
3.4.1	Grundbegriffe und Funktionsprinzip	15
3.4.2	Grundlagen der chemischen Oxidation	16
3.4.3	Verfahrenstechnik und Apparative Ausführung der Ozonierung	17
3.5	Aktuelle Projekte bzw. Forschungsvorhaben	18
3.5.1	Überblick Aktivkohle	18
3.5.2	Einzelne Projektbeispiele Aktivkohle	19
3.5.3	Überblick Ozonierung	25
3.5.4	Einzelne Projektbeispiele Ozonierung	26
4	KURZBESCHREIBUNG DER LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN	29
4.1	Allgemeines	29
4.2	Pulveraktivkohle	29
4.3	Granulierte Aktivkohle	29
4.4	Ozonierung	30
5	PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN	32
5.1	Planungsgrundlagen	32
5.2	Hydraulische Bemessungsgröße	32
6	PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION	34
6.1	Lösungsvariante 1: Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken	34
6.2	Lösungsvariante 2: Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)	37
6.3	Lösungsvariante 3: Granulierte Aktivkohle – im vorhandenen Betonfilter (1-stufig)	40
6.4	Lösungsvariante 4: Ozonung	47
7	KOSTENSCHÄTZUNG	50
7.1	Spurenstoffelimination	50
7.1.1	Investitionskosten	50

7.1.2	Betriebskosten	51
7.1.3	Jahreskosten	53
7.1.4	Sensitivitätsanalyse	54
7.2	Diskussion	56
8	BEWERTUNG DER PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION	57
9	WEITERE WISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN	62
10	ZUSAMMENFASSUNG	63

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage Harsewinkel	1
Abbildung 2: Flockungsfiltration Harsewinkel (rechts); Grünfläche (links)	4
Abbildung 3: Filterhalle KA Harsewinkel, Galerie	5
Abbildung 4: Zulaufpumpen Filterbeschickung	5
Abbildung 5: Filter linke Wandseite	6
Abbildung 6: Filtergalerie	6
Abbildung 7: Filtration Begehung im Deckenbereich (oben)	7
Abbildung 8: Konzentrationen ausgewählter Mikroverunreinigungen (BEIER 2010)	8
Abbildung 9: Aktivkohlestruktur (BRENDDEL 1997, verändert nach MARCUS 2005)	11
Abbildung 10: Transportmechanismen bei der Aktivkohleadsorption (SONTHEIMER 1985)	13
Abbildung 11: Beladungsprofil Aktivkohlefilter (SONTHEIMER 1985, verändert)	14
Abbildung 12: Reaktionsmechanismen	16
Abbildung 13: Ozonisierung mit Teilstrom-Injektor-Prinzip	18
Abbildung 14: Activated carbon adsorbers: view of granular activated carbon contactors operated in parallel, used for the treatment of filtered secondary effluent (zitiert in Metcalf & Eddy, 4. Edition, Seite 1151)	20
Abbildung 15: Großbritannien – Kläranlage Swindon, Einsatz von granulierter Aktivkohle	21
Abbildung 16: Einsatz von Pulveraktivkohle – Mannheimer Verfahren	22
Abbildung 17: Anwendung der Pulveraktivkohle - Versuche auf der Kläranlage Kloten – Schweiz / Luftbild	22
Abbildung 18: Verbandsklärwerk Obere Lutter – Füllung der Filterzelle mit granulierter Aktivkohle	23
Abbildung 19: Mittlere Eliminationsraten mit GAK, kont. KA (10 m/h)	24
Abbildung 20: Ozonisierung von gereinigtem Abwasser	25
Abbildung 21: Eliminationsleistung der Ozonisierung (ABEGGLEN ET AL. 2009)	27

Abbildung 22: Kläranlage Bad Sassendorf – Ozonanlage mit Sauerstofftank	28
Abbildung 23: Auswertung Anteil der behandelten Teilstrommenge an der Zulauf-	33
Abbildung 24: Auswertung Zulaufmengen zur Flockungsfiltration, Harsewinkel,	33
Abbildung 25: Schema Lösungsvariante 1 – Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken	34
Abbildung 26: Lösungsvariante 1- Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken	35
Abbildung 27: Schema Lösungsvariante 2 – GAK – Nachgeschaltete Druckkessel (1-stufig)	37
Abbildung 28: Lösungsvariante 2 – GAK – in nachgeschalteten Druckkesseln (1- stufig)	39
Abbildung 29: Schema Lösungsvariante 3 – GAK –im vorhandenen Betonfilter (1- stufig)	40
Abbildung 30: AFS-Konzentration im Zulauf und Ablauf der Filtration	42
Abbildung 31: CSB-Konzentration im Zu- und Ablauf der Filtration	43
Abbildung 32: Lösungsvariante 3 – GAK im vorhandenen Filter	44

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Zulaufmengen Flockungsfiltration	32
Tabelle 2: Investitionskosten in € der Varianten 1 bis 4	50
Tabelle 3: Betriebskosten in €/a der Varianten 1 bis 4	52
Tabelle 4: Jahreskosten in €/a der Varianten 1 bis 4	53
Tabelle 5: Investitionskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination	56
Tabelle 6: Betriebskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination von 105,3 l/s	57
Tabelle 7: Jahreskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination	57
Tabelle 8: Bewertungsmatrix	60

ANLAGENVERZEICHNIS

ANLAGE 1: AKTENNOTIZEN

- Anlage 1.1 Telefonnotizen vom 26.04.2012 bis 14.05.2012
- Anlage 1.2 Besprechungsvermerk 1. Projektbesprechung 18.09.2012
- Anlage 1.3 Bewertungsmatrix

ANLAGE 2: PLANUNGSGRUNDLAGEN

- Anlage 2.1 Wassermengen
- Anlage 2.2 Reinigungsleistung der Flockungsfiltration

ANLAGE 3: KLÄRTECHNISCHE BERECHNUNGEN

- Anlage 3.1 Klärtechnische Berechnungen Spurenstoffelimination

ANLAGE 4: KOSTENSCHÄTZUNG

- Anlage 4.1 Kostenschätzung Spurenstoffelimination

PLANVERZEICHNIS

4119_00_001	Lageplan Variante 1: Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken	M 1:250
4119_00_002	Lageplan Variante 2: Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)	M 1:250
4119_00_003	Grundrisse und Schnitt Variante 3: Umrüstung vorhandener Filterzellen mit Granulierter Aktivkohle	o.M.
4119_00_004	Verfahrensschema Variante 1: Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken	o.M.
4119_00_005	Verfahrensschema Variante 2: Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)	o.M.
4119_00_006	Verfahrensschema Variante 3: Umrüstung vorhandener Filterzellen mit Granulierter Aktivkohle	o.M.

LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS

Plangrundlagen und projektbezogene Unterlagen:

- [1] Lageplan Kataster Kläranlage Harsewinkel, Maßstab 1:500
- [2] Lageplan Kläranlage Harsewinkel, Tuttahs & Meyer, Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft mbH, Maßstab 1:250, November 1991
- [3] Flockungsfiltration, Grundriss 1 und 2 mit Schnitten, Preussag Anlagenbau GmbH, Maßstab 1:50, 23.02.1993
- [4] Flockungsfiltration, Grundriss 3 und 4 mit Langsschnitt, Preussag Anlagenbau GmbH, Maßstab 1:50, 23.02.1993
- [5] Bestandszeichnung Filterhalle Erdgeschoß und Schnitte, Tuttahs & Meyer, Ingenieurgesellschaft für Wasser-, Abwasser- und Abfallwirtschaft mbH, Maßstab 1:50, November 1991
- [6] Labordaten: CSB-, P_{ges} ; $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ - Werte vom 27./28.06.2011 und 12./13.07.2011
- [7] Labordaten: AFS-Werte vom 09./10.08.2011 und 23./24.08.2011
- [8] Jahreswassermengen zur Flockungsfiltration der Kläranlage Harsewinkel Januar 2010 bis März 2012
- [9] Erlaubnissbescheid der Bezirksregierung Detmold vom 26.03.2010
- [10] Auswertung der Angebote „Betonarbeiten Kläranlage“, 18.04.2006

Technische Regelwerke, Normen und gesetzliche Bestimmungen:

- [11] Abwasserabgabengesetz, BGBl. I S. 2585, 18.01.2005, Stand 31.07.2009

Veröffentlichungen und Fachliteratur:

- [12] ABEGGLEN, C.; ESCHER, B.; HOLLENDER, J.; SIEGRIST, H.; VON GUNTEN, U.; ZIMMERMANN, S.; HÄNER, A.; ORT, C.; SCHÄRER, M. (2012): Ozonung von gereinigtem Abwasser zur Elimination von organischen Spurenstoffen: Großtechnischer Pilotversuch Regensdorf (Schweiz). KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 02 (57): 155–160

- [13] ABEGGLEN, C.; ESCHER, B.; HOLLENDER, J.; KOEPKE, S.; ORT, C.; PETER, A.; SIEGRIST, H.; VON GUNTEN, U.; ZIMMERMANN, S.; KOCH, M.; NIEDERHAUSER, P.; SCHÄRER, M.; BRAUN, C.; GÄLLI, R.; JUNGHANS, M.; BROCKER, S.; MOSER, R.; RENSCH, D. (2009): Ozonung von gereinigtem Abwasser. Schlussbericht Pilotversuch Regensdorf, Dübendorf, Schweiz.
- [14] BEIER (2010): Elimination von Arzneimitteln aus Krankenhausabwasser. In: Pinnekamp, J. (Hrsg.): Schriftenreihe Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, Band 222, Aachen.
- [15] BLAC (2003): Bund/Länderausschuss für Chemikaliensicherheit. Arzneimittel in der Umwelt – Auswertung der Untersuchungsergebnisse. Bericht an die 61. Umweltministerkonferenz (UMK) am 19./20. November 2003, Hamburg.
- [16] BOLLER, M. (2007): Activated carbon adsorption. Process Engineering II – Description and design of physical, chemical and biological processes and process combinations in drinking and wastewater, Zürich, Schweiz.
- [17] BORNEMANN, C.; ERBE, V.; HACHENBERG, M.; KOLISCH, G.; OSTHOFF, T.; TAUDIEN, Y. (2012): Einsatz von Pulveraktivkohle in vorhandenen Flockungs-filtrationsanlagen am Beispiel der Kläranlage Buchenhofen. Vortrag auf der 45. Essener Tagung 2012, 16. März 2012
- [18] CORNEL P. (2010): Eignung von Aktivkohle zur Abwasserbehandlung, in „Aktivkohle in der Abwasserreinigung – Vom Versuch zum technischen Maßstab“ Tagungsband Symposium Aktivkohle, 23./24.06.2010.
- [19] EAWAG (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Abschlussbericht, September 2010.
- [20] EILERS, L. (2001): Verfahrenskombination von Nanofiltration und Adsorption an Pulverkohle zur kontinuierlichen Abwasserreinigung. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen.
- [21] ELTNER, A. (1998): Behandlung hoch belasteter Abwässer durch Aktivkohleadsorption und Aktivkohle / Nanofiltration – Verfahrensvergleich und Bewertung. Dissertation. RWTH Aachen, Aachen.
- [22] FENT, K. (2007): Ökotoxikologie. Georg Thieme Verlag, 3. Auflage, Stuttgart, ISBN: 978-3-13-109993-8.

- [23] HAIST-GULDE (2010): Pulveraktivkohlesorten – Qualitätskriterien und Produktauswahl, in „Aktivkohle in der Abwasserreinigung – Vom Versuch zum technischen Maßstab“ Tagungsband Symposium Aktivkohle, 23./24.06.2010.
- [24] HAUER, A. (2002): Beurteilung fester Adsorbenten in offenen Sorptionssystemen für energetische Anwendungen. Dissertation. Technische Universität Berlin, Berlin.
- [25] HEBERER, T. (2002): Occurrence, fate and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology Letters* 131: 5–17.
- [26] HERBST, H.; KAUFMANN, M.; TÜRK, J.; LAUNER, M. (2011): Abwasserozomierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden – Auslegung – Bau – erste Betriebsergebnisse. In *Innovation und Flexibilität – Systemoptimierung und Systemerweiterung; Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage 2011, Schriftenreihe SWW (Bd. 141), Verlag Siedlungswasserwirtschaft Karlsruhe, ISBN 978-3-9813069-4-1*
- [27] JAGEMANN, P.; LYKO, S.; HERBST, H.; TÜRK, J. (2012): Ergebnisse der großtechnischen Versuche zur Entfernung von Mikroverunreinigungen auf den Kläranlagen Bad Sassendorf und Duisburg-Vierlinden. Vortrag auf der 45. Essener Tagung 2012, 16. März 2012
- [28] JOSS, A.; ZABCZYNSKI, S.; GÖBEL, A.; HOFFMANN, B.; LÖFFLER, D.; MCARDELL, C. S.; TERNES, T. A.; THOMSEN, A.; SIEGRIST, H. (2006): Biological degradation of pharmaceuticals in municipal wastewater treatment: Proposing a classification scheme. *Water Research* 40: 1686–1696.
- [29] LANUV (Hrsg.) (2007): Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW. Eintrag von Arzneimitteln und deren Verhalten und Verbleib in der Umwelt – Literaturstudie. LANUV-Fachbericht 2, Recklinghausen.
- [30] LI, Q.; SNOEYINK, V.L.; MARINAS, B.J.; CAMPOS, D. (2003): Pore blockage effect of NOM on atrazine adsorption kinetics of PAC: the roles of PAC pore size distribution and NOM molecular weight. *Water Research*, 37, 4863-4872.
- [31] MARCUS, P. (2005): Entwicklung und Validierung eines Labor-Schnelltests zur Beurteilung der Adsorbierbarkeit von organischen Einzelstoffen an Aktivkohle. Dissertation. Technische Universität Dresden, Dresden.

- [32] MEYER H. (2008): Abwasserreinigung – Qua vadis?, in GWF Wasser, Abwasser 149 (2008) Nr. 4, 2008.
- [33] MUNLV (2004): Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW. Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen. Abschlussbericht. ISBN 3-9808617-6-7.
- [34] NAHRSTEDT, A.; BURBAUM, H.; ALT, K.; BARNSCHEIDT, I.; FRITZSCHE, J. (2012): Spurenstoffelimination mit granulierter Aktivkohle auf dem Klärwerk „Obere-Lutter“. Vortrag auf der 45. Essener Tagung 2012, 16. März 2012
- [35] NEUMANN, K.-D.; MERKEL, W.; SCHMIDT, T. C. (2011): Metabolitenbildung beim Einsatz von Ozon. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben, AZ IV-7-042 600 001J, Vergabenummer 08/058.1
- [36] NÖTHE, T. (2009): Zur Ozonung von Spurenstoffen in mechanisch-biologisch gereinigten Abwässern. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Dortmund.
- [37] PINNEKAMP, J.; KROISS, H. (2009): Zusammenfassender Bericht zum Thema „Mikroschadstoffe in der aquatischen Umwelt“. Vortrag im Rahmen der 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 18.-20.03.2009, Aachen.
- [38] PINNEKAMP et al.(2010): Elimination von Mikroschadstoffen – Stand der Wissenschaft, , in Tagungsband 43. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, 17. – 19.03.2010.
- [39] PÖPEL, H. J.; SCHMIDT-BREGAS, M.; WAGNER, M. (1988): Aktivkohleanwendung in der Abwasserreinigung I. KA – Korrespondenz Abwasser 03 (35): 247–255.
- [40] RÖLLE, SCHIRMEISTER (2010): Vorstellung aktueller Projekte zum Ausbau von kommunalen Klärwerken mit eine Adsorptionsstufe, , in „Aktivkohle in der Abwasserreinigung – Vom Versuch zum technischen Maßstab“ Tagungsband Symposium Aktivkohle, 23./24.06.2010.
- [41] SCHRADER, C. (2007): Membrantechnik, Ozonung und Aktivkohle zur Entfernung von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser. In: Arzneimittel und Industriechemikalien – ein Abwasserproblem. 25. Bochumer Workshop. Band 54. Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum.

- [42] SCHULTE-OEHLMANN, U.; OEHLMANN, J.; PÜTTMANN, W. (2007): Humanpharmakawirkstoffe in der Umwelt – Einträge, Vorkommen und der Versuch einer Bestandsaufnahme. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung* 19 (3): 168–179.
- [43] SCHUMACHER, J. (2006): Ozonung zur weitergehenden Aufbereitung kommunaler Kläranlagenabläufe. Dissertation. Technische Universität Berlin, Berlin.
- [44] SCHWARZENBACH, R. P.; GSCHWEND, P.; IMBODEN, D. M. (2003): *Environmental organic chemistry*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2. Auflage, ISBN: 0-471-35750-2.
- [45] SONTHEIMER, H.; FRICK, B.R.; FETTIG, J.; HÖRNER, G.; HUBELE, C.; ZIMMER, G. (1985): Adsorptionsverfahren zur Wasserreinigung. DGVW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- [46] TERNES, T. A.; HIRSCH, R. W. (2000): Occurrence and Behaviour of X-ray contrast media in sewage facilities and the aquatic environment. *Environmental Science & Technology* 34 (13): 2741–2748.
- [47] UNIVERSITÄT DORTMUND (2008): Einleitung und Elimination gefährlicher Stoffe in kommunalen Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen, Phase III, Abschlussbericht, Kurzfassung, 27.03.2008.
- [48] VON GUNTEN, U. (2003): Ozonation of drinking water: Part II. Disinfection and by-product formation. *Water Research* 37 (7): 1469–1487.
- [49] WICK, A.; FINK, G.; JOSS, A.; SIEGRIST, H.; TERNES, T. A. (2009): Fate of beta blockers and psycho-active drugs in conventional wastewater treatment. *Water Research* 43: 1060–1074.

1 EINLEITUNG

1.1 Veranlassung

Die Stadt Harsewinkel betreiben die Kläranlage Harsewinkel (siehe Abbildung 1) mit einer derzeitigen Ausbaugröße von 57.000 EW, die aus einer mechanisch-biologischen Reinigungsstufe mit anschließender Flockungsfiltration besteht. Die Belebungsstufe mit vorgeschalteter Denitrifikation und zwei horizontal durchströmten Nachklärbecken wird zur weitergehenden Stickstoffelimination betrieben und im Anschluss eine bestehende Flockungsfiltration (Fa. Preussag) aus dem Jahr 1995 betrieben.



Abbildung 1: Luftbild der Kläranlage Harsewinkel

Die Stadt Harsewinkel strebt eine weitergehende Abwasserreinigung durch den Einsatz von Aktivkohle auf der Kläranlage Harsewinkel an. Die Hydro-Ingenieure GmbH wurde mit Schreiben vom 01.03.2012 beauftragt, die Machbarkeitsstudie für das Projekt „Einsatz von Aktivkohle/ Alternative Verfahrenstechniken“ zu erbringen.

1.2 Projektkurzbeschreibung

Für den Einsatz von Aktivkohle/ Alternative Verfahrenstechniken zur weitergehenden Abwasserreinigung stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Gemäß Angebot der Hydro-Ingenieure GmbH vom 17.11.2011 sollen folgende Varianten untersucht werden:

- Neubau einer PAK-Stufe im Anschluss an die Nachklärung und vor der Flockungsfiltration
- Neubau einer GAK-Stufe im Anschluss an die Flockungsfiltration
- Umgestaltung der vorhandenen Flockungsfiltration unter Einsatz von neu einzubauender granulierter Aktivkohle (z.B. Umnutzung von bestehenden Filterzellen)
- Neubau einer Ozonierung vor der Flockungsfiltration im Anschluss an die Nachklärung (nicht beauftragt, Kosten wurden grob abgeschätzt, ohne Zeichnungen)

Ziel der Machbarkeitsstudie ist die Bewertung der unterschiedlichen Lösungskonzepte im Hinblick auf die technische Machbarkeit, ihrer Wirtschaftlichkeit sowie eine Bewertung der Vor- und Nachteile einschließlich der nicht-monetären Aspekte. Hierdurch wird eine Entscheidungsgrundlage geschaffen, die es der Stadt Harsewinkel ermöglicht, ein innovatives sowie unter dem Blickwinkel der Förderung von Seiten des Landes NRW wirtschaftlich vertretbares Konzept zur weitergehenden Abwasserreinigung mit Aktivkohle auf der Kläranlage Harsewinkel umzusetzen.

1.3 Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung für die vorliegende Machbarkeitsstudie besteht im Einzelnen aus:

- 1 Grundlagenermittlung einschl. Auswertung der Wassermengen zur Dimensionierung der Verfahrenskomponenten.
- 2 Klärtechnische Berechnungen der Verfahrenskomponenten.
- 3 Zeichnerische Darstellung in Verfahrensschemata und Lageplanskizzen.
- 4 Bewertung der verschiedenen Möglichkeiten im Hinblick auf Vor- und Nachteile, insbesondere der nicht-monetären Aspekte, z. B. betrieblicher Risiken sowie zukünftiger Erweiterungsmöglichkeiten etc.

- 5 Überprüfung der technischen Machbarkeit.
- 6 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung einschl. Abschätzung der Investitionskosten, der Betriebskosten sowie der Jahreskosten.
- 7 Bewertung und Diskussion der Ergebnisse.

2 KURZBESCHREIBUNG DER BESTEHENDEN KLÄRANLAGE

Die Kläranlage Harsewinkel liegt im Süd-Westen der Stadt Harsewinkel. Sie ist auf 57.000 EW ausgelegt. Der Vorfluter ist der südlich des Klärwerks verlaufende Abrooksbach.

Die Kläranlage Harsewinkel besteht aus einer mechanischen und biologischen Reinigungsstufe sowie einer Flockungsfiltration zur chemischen Phosphorelimination. Die mechanische Reinigungsstufe umfasst eine Rechenanlage, einen 1-straßigen Sandfang sowie eine 1-straßige Vorklärung.

Den beiden belüfteten Umlaufbecken ist eine Denitrifikationsstufe vorgeschaltet. Das Gesamtvolumen der Nitrifikation und Denitrifikation beträgt 11.500 m³. Das Abwasser-Schlamm-Gemisch fließt zwei runden Nachklärbecken zu, wo sich der Belebtschlamm sowie der Schlamm aus der Simultanfällung absetzen. Über ein Rücklaufschlammumpwerk wird der Rücklaufschlamm der biologischen Vorstufe wieder zugeführt. Der Überschussschlamm wird zur Schlammbehandlung gefördert.

Der Ablauf der Nachklärbecken fließt zur Flockungsfiltration. Die Filtrationsanlage besteht aus insgesamt 14 Filtern mit einer Oberfläche von je ca. 7,1 m².



Abbildung 2: Flockungsfiltration Harsewinkel (rechts); Grünfläche (links)

Über ein zentrales Zulaufgerinne wird das Wasser den Filtern zugeleitet. Die Filter werden abwärts durchströmt. Das Filterbett ist 3-schichtig aufgebaut. Die 1. Schicht besteht aus Anthrazit mit einer Korngröße von ca. 1,4 - 2,5 mm und einer Höhe von 1,4 m. Die 2. Schicht besteht ebenfalls aus Filterquarz mit einer Korngröße von ca. 0,7 - 1,25 mm und einer Höhe von 0,4 m. Die 3. Schicht ist die Stüttschicht mit einer Höhe von 0,2 m und einer Körnung von 4 – 6 mm. Das gefilterte Wasser fließt über die Ablaufleitung dem Filtrat-/Spülwasserspeicher zu, von wo aus der Ablauf über den Auslaufschacht zum Auslaufbauwerk fließt.



Abbildung 3: Filterhalle KA Harsewinkel, Galerie

Die Filter werden über 1+1 Spülwasserpumpen und ein Spülgebläse rückgespült. Die Spülwasserpumpen ziehen das Spülwasser aus dem Filtratspeicher, welches mit dem Ablauf der Filter beschickt wird. Das Spülabwasser gelangt in das Rückspülabwassersammelbecken, von wo es zum Verteilerbauwerk gepumpt wird.



Abbildung 4: Zulaufpumpen Filterbeschickung



Abbildung 5: Filter linke Wandseite



Abbildung 6: Filtergalerie



Abbildung 7: Filtration Begehung im Deckenbereich (oben)

Die Fällmitteldosierstation für die Flockungsfiltration befindet sich im südlichen Teil des Filtergebäudes. Der Fällmitteltank wird von der Fällmitteldosierstation für die Simultanfällung mit der Eisen(III)chloridlösung beschickt und das Fällmittel dann von hier aus in das Zulaufgerinne dosiert.

Die Schlammbehandlung auf der Kläranlage Harsewinkel besteht aus einem Voreindicker, einem Faulbehälter zur anaeroben Schlammstabilisierung, einem Nacheindicker und der Schlammmentwässerung. Die Entsorgung des entwässerten Schlammes erfolgt zu 100% im Landschaftsbau/Landwirtschaft.

3 **STAND DER FORSCHUNG ZUM THEMA SPURENSTOFFE IM ABWASSER UND TRINKWASSER**

3.1 **Allgemeines**

Bislang konnten weit über 100 verschiedene Arzneimittelwirkstoffe teilweise in Konzentrationen oberhalb ökotoxikologischer Wirkschwellen in der Umwelt nachgewiesen werden. Hierzu existieren zahlreiche Studien und Übersichten (vgl. LANUV 2007, SCHULTE-OEHLMANN ET AL. 2007, MUNLV 2004, BLAC 2003, HEBERER 2002, TERNES UND HIRSCH 2000). Eine exemplarische und orientierende Zusammenstellung über die Spannweite gemessener Arzneimittelkonzentrationen in der aquatischen Umwelt ist in Abbildung 8 für Diclofenac (Analge-

tikum), Clarithromycin (Antibiotikum), Carbamazepin (Antiepileptikum) und Iopamidol (Röntgenkontrastmittel) dargestellt.

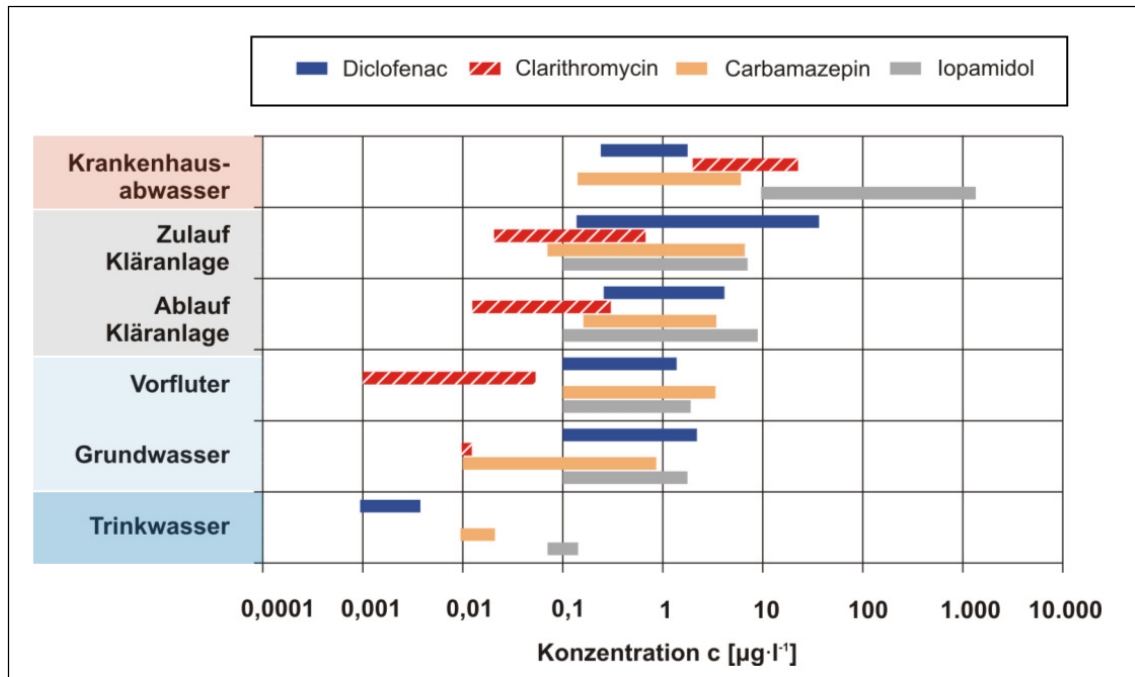


Abbildung 8: Konzentrationen ausgewählter Mikroverunreinigungen (BEIER 2010)

Im Anhang X der EU-Wasserrahmenrichtlinie ist eine Reihe von Substanzen aufgeführt, die als resistent, bioakkumulierend oder toxisch einzustufen sind. Bisher liegen die in Oberflächengewässern nachgewiesenen Konzentrationen noch in einem Bereich, der keine akute Gefahr für den Menschen darstellt; eine Beeinflussung von Gewässerorganismen, insbesondere durch Hormone, ist jedoch festzustellen.

Erreichbare Zielwerte zur Reduzierung des Eintrages in die Gewässer sind derzeit in der Diskussion. Die Kläranlagen stellen neben Industrie und Landwirtschaft einen bedeutenden Emittenten für Mikroverunreinigungen in die aquatische Umwelt dar und sind deshalb im Fokus für Reduzierungsmaßnahmen.

Aus Gründen des vorbeugenden Gesundheits- und Umweltschutzes ist es geboten, den Eintrag von Mikroverunreinigungen in die Umwelt zu begrenzen. Hierzu ist es notwendig, Maßnahmen zur Eintragsbegrenzung zu identifizieren, die technisch bzw. organisatorisch praktikabel und wirtschaftlich sind.

Bisherige Forschungsergebnisse zeigen, dass eine quantitative Elimination von Mikroverunreinigungen in vollbiologischen Kläranlagen mittels einer Ozonbehandlung oder einer Aktivkohleadsorption in Verbindung mit einer Filtration erzielt

werden kann. Nachfolgend werden die grundlegenden Zusammenhänge für diese Verfahren erklärt.

3.2 Physikalisch-chemische Stoffeigenschaften

Um die Verteilung und das Verhalten von Mikroverunreinigungen in der Umwelt und im Abwasserreinigungsprozess zu charakterisieren, sind insbesondere die physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften heranzuziehen. Hierzu zählen nach PINNEKAMP UND KROISS (2009) z.B. die Molekülstruktur, Polarität/ Hydrophobie, Sorptionsfähigkeit, Abbaubarkeit/Transformation bzw. Persistenz und Flüchtigkeit.

Mikroverunreinigungen verfügen über unterschiedlichste Molekulargewichte, -strukturen und funktionelle Gruppen, wodurch sie teilweise schwer biologisch abbaubar sind und eine hohe Persistenz in der Umwelt aufweisen. In der wässrigen Phase liegen z.B. Arzneimittel in ionisierter und nicht-ionisierter Form vor. Dies hat einen unmittelbaren Einfluss auf die chemisch-physikalische Reaktivität, Sorptionsfähigkeit und Bioverfügbarkeit eines Arzneimittelwirkstoffes.

Die Polarität kennzeichnet die Elektronenverteilung innerhalb einer Verbindung. Unpolare Verbindungen verfügen über eine nahezu gleichmäßige Elektronenaufteilung. Polare Verbindungen weisen aufgrund einer ungleichmäßigen Elektronenverteilung unterschiedliche Ladungsschwerpunkte auf, wodurch sogenannte Teil- oder Partialladungen ausgebildet werden. Das Wasser ist die bekannteste polare Verbindung. Polare Stoffe sind durch eine gute Wasserlöslichkeit gekennzeichnet.

Hydrophobie beschreibt die Eigenschaft von Molekülen oder Molekülgruppen, bevorzugt Wechselwirkungen mit anderen hydrophoben Gruppen einzugehen. Diese Stoffe bedingen keine ausgeprägten Wechselwirkungen mit polaren Gruppen oder Molekülen und sind daher schlecht wasserlöslich. Als Maß für die Hydrophobie kann der Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient K_{OW} (engl. P_{OW}) [-] herangezogen werden. Der K_{OW} ist der Quotient der Gleichgewichtskonzentrationen einer Chemikalie in einem Zweiphasensystem aus n-Oktanol und Wasser (SCHWARZENBACH ET AL. 2003).

Die Sorptionsfähigkeit/Sorption kennzeichnet die chemische oder physikalische Bindung von Substanzen an Feststoffe. Dabei sind die spezifischen Stoffeigenschaften wie z.B. das Molekulargewicht, die Molekülstruktur, funktionelle Gruppen im Molekül und die daraus resultierende Polarität sowie die Wasserlöslichkeit herauszustellen, da diese über die Verteilung einer Substanz zwischen der flüssigen und der festen Phase entscheiden. Ebenso bedeutsam sind die Eigen-

schaften der festen Phase wie z.B. belebter Schlamm oder Aktivkohle. Bei der Sorption werden zwei Sorptionsmechanismen, die Absorption und die Adsorption, differenziert. Die Absorption beschreibt das Eindringen von Molekülen in eine dreidimensionale Matrix (SCHWARZENBACH ET AL. 2003). Bei der Absorption kommt es zu hydrophoben Wechselwirkungen zwischen unpolaren Molekülen bzw. Gruppen innerhalb eines Moleküls und dem organischen Anteil innerhalb der festen Phase. Für die Absorption von Substanzen gilt grundsätzlich, je unpolarer eine Verbindung, desto besser ist die Absorption. Die Bindung von Molekülen an eine zweidimensionale Oberfläche wird als Adsorption bezeichnet (SCHWARZENBACH ET AL. 2003). Für die Adsorption sind elektrostatische Wechselwirkungen von positiv geladenen Gruppen innerhalb eines Moleküls und negativ geladenen Oberflächen der Biomasse bzw. Aktivkohle ursächlich.

Unter Abbau oder Umbau einer Substanz wird die strukturelle Veränderung von Chemikalien durch verschiedene Transformationsprozesse verstanden. Grundsätzlich lassen sich abiotische und biotische Transformationsprozesse differenzieren (FENT 2007). Bei den abiotischen Transformationsprozessen erfolgt der Ab- bzw. Umbau von Chemikalien mittels chemischer Reaktionen wie z.B. Hydrolyse oder Redoxreaktionen sowie physikalischer Reaktionen wie z.B. Photolyse. Bei biotischen Transformationsprozessen sind Ab- und Umbau der Substanzen auf enzymatisch gesteuerte Reaktionen zurückzuführen. In der aquatischen Umwelt handelt es sich meist um mikrobielle Umwandlungsprozesse. In der Abwasserreinigung werden abiotischen Prozessen im Vergleich zu biotischen Prozessen eine eher untergeordnete Rolle zugeschrieben. Der biologische Abbau erfolgt im Wesentlichen durch bakterielle Enzyme im belebten Schlamm. Es gibt eine Reihe von Studien, die die biologische Abbaubarkeit von Arzneimitteln und organischen Mikroverunreinigungen im Abwasserreinigungsprozess untersucht haben (vgl. WICK ET AL. 2009, JOSS ET AL. 2006).

3.3 Grundlagen der Aktivkohleadsorption

3.3.1 Grundbegriffe, Funktionsprinzip und Bemessungsparameter

Die Adsorption von Arzneimitteln an Aktivkohle stellt ein physikalisch-chemisches Trennverfahren dar, bei dem zu eliminierende Abwasserinhaltsstoffe (Adsorptiv) an der Oberfläche der Aktivkohle (Adsorbens) angelagert werden. Die Abgabe sorbierter Moleküle vom Adsorbens wird als Desorption bezeichnet. Die Effizienz der Adsorption wird durch die physikochemischen Eigenschaften des Adsorptivs und Adsorbens bestimmt (MARCUS 2005). Aktivkohle besteht aus Graphitkristallen und wird überwiegend aus kohlenstoffhaltigen Rohstoffen wie z.B. Stein-, Holzkohle, Torf oder Nussschalen hergestellt. Durch den Prozess der Aktivierung werden flüchtige Rohstoffkomponenten abgebaut und es entstehen zahlreiche

Poren, Risse und Spalten, die die Oberfläche der Aktivkohle vergrößern. Die Aktivierung erfolgt entweder chemisch durch Einsatz dehydratisierend wirkender Mittel wie z.B. Zinkchlorid oder, in der Wasseraufbereitung, vorwiegend unter Einbeziehung von Wasserdampf im Temperaturbereich von 800 bis 1.000 °C (EILERS 2001, BRENDEL 1997). Aktivkohle wird durch ein ausgeprägtes inneres Porensystem gekennzeichnet, dessen struktureller Aufbau Abbildung 9 verdeutlicht. Die Aufnahmekapazität einer Aktivkohle wird insbesondere durch die kleinen Mikroporen bestimmt, da diese den Hauptteil der inneren Oberfläche bilden. In Abhängigkeit des Aktivierungsgrades werden Kohlen in niedrig (500 bis 800 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$), mittel (800 bis 1.200 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) und hoch aktivierte Bereiche (1.200 bis 1.500 $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$) gruppiert.

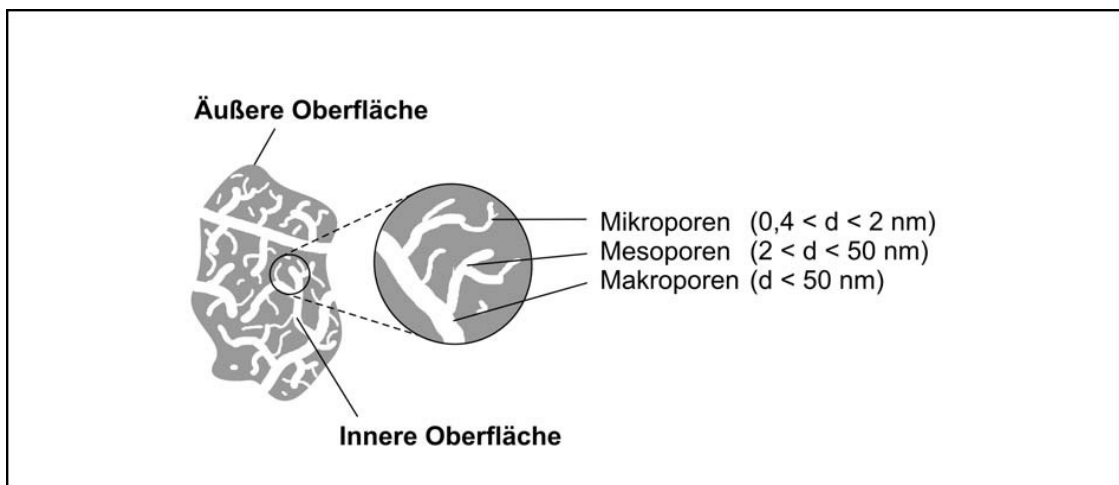


Abbildung 9: Aktivkohlestruktur (BRENDEL 1997, verändert nach MARCUS 2005)

Zudem kann Aktivkohle hinsichtlich ihres äußeren Erscheinungsbildes wie nachstehend aufgeführt gruppiert werden:

- Pulveraktivkohle (PAC), engl.: powdered activated carbon: Körnung < 0,045 mm
- Kornkohle und granuliert Aktivkohle (GAC), engl.: granulated activated carbon: Körnung zwischen 0,5 und 4 mm sowie
- zylindrisch geformter Aktivkohle (Formkohle und Pellets): Größenbereich zwischen 0,4 bis 4 mm (EILERS 2001).

Das Funktionsprinzip der Aktivkohleadsorption basiert auf elektrostatischen Wechselwirkungen (van-der-Waals- und Coulombkräfte) zwischen den Adsorbatmolekülen und den Adsorbensatomen. Dipollose Moleküle, wie z.B. Benzol, werden an Aktivkohle adsorbiert, indem Dispersionskräfte entstehen, die aufgrund der zeitlich unbeständigen Ladungsverteilung im Adsorptivmolekül tempo-

räre Dipole hervorgerufen und auch auf Nachbarmoleküle übergreifen können. Elektrostatische Wechselwirkungen bewirken im Vergleich zu Dispersionskräften eine stärkere Anziehung von Adsorptiven an der Aktivkohleoberfläche (MARCUS 2005, HAUER 2002). In der Abwasserreinigung werden sowohl Pulverkohlen als auch Kornkohlen eingesetzt. Die Bemessung technischer Aktivkohleapplikationen erfolgt auf Grundlage der zu behandelnden Abwassermatrix und des gewünschten Reinigungszieles. Mit der Dosierung von Pulverkohle in den Ablauf der Nachklärung und einer Errichtung von Aktivkohlefiltern mit granulierter Aktivkohle zur Ablaufbehandlung von Kläranlagen, stehen zwei grundsätzlich unterschiedliche verfahrenstechnische Ansätze zur Verfügung. Während Pulveraktivkohle in mg je Liter dem Abwasserstrom zudosiert wird, erfolgt die Bemessung von Aktivkohlefiltern auf Basis von Filterfläche, -volumen und Filtergeschwindigkeit.

Um die Resultate verschiedener Aktivkohlefilter miteinander zu vergleichen, werden folgende Parameter herangezogen (MARCUS 2005):

- spezifischer Durchbruch c/c_0 [-]: Quotient aus Ablauf- und Zulaufkonzentration,
- durchgesetzte Bettvolumina BVT [-], abgeleitet aus dem engl.: Bed Volume Treated: Quotient aus durchgesetztem Wasservolumen und Filtervolumen sowie der
- spezifische Durchsatz $V_{sp.}$ [$m^3 \cdot kg^{-1}$]: Quotient aus durchgesetztem Wasservolumen und der eingewogenen Kohlemenge.

Dem praktischen Einsatz einer Aktivkohle gehen im Allgemeinen Laboruntersuchungen zur Feststellung der Adsorptionskapazität des Adsorbens voraus, die aber auch parallel zu weiteren Planungsschritten durchgeführt werden können.

3.3.2 Charakterisierung des Adsorptionsverhaltens

Das Adsorptionsverhalten kann durch Adsorptionsisotherme und auf Grundlage kinetischer Modelle beschrieben werden. Adsorptionsisotherme stellen eine Korrelation zwischen der Konzentration des Adsorptivs und der Beladung des Adsorbens im Gleichgewichtszustand dar. Für die Beschreibung des Adsorptionsgleichgewichtes stehen dabei verschiedene empirische und semiempirische Modelle zur Verfügung. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Anwendbarkeit und werden auf Ein-, Mehr- oder Vielstoffgemische bezogen (EILERS 2001). Zudem variieren die Modelle in der Parameteranzahl, die den Erkenntnissen aus Adsorptionsisothermen angepasst werden müssen (ELTNER 1998).

Adsorptionsgleichgewichte kennzeichnen die statische Beladungskapazität eines Adsorbens. Um Aktivkohleadsorber zu dimensionieren, sind zusätzlich Kenntnis-

se über die Adsorptionskinetik notwendig. Diese betrachten den zeitlichen Verlauf des Adsorptionsvorgangs, dem nach SONTHEIMER ET AL. (1985) folgende Transportprozesse zu Grunde liegen:

1. Transport des Adsorptiv-Moleküls durch die das Adsorbens umgebende wässrige Lösung an den Kornrand (bei Anströmung Konvektion bzw. in freier Lösung Diffusion)
2. Filmdiffusion (vgl. Abbildung 10, Nr. 1): Transport durch den das Adsorbens umgebenden laminaren Grenzfilm,
3. Porendiffusion (vgl. Abbildung 10, Nr. 2): Transport des Adsorptiv-Moleküls innerhalb der Pore (Diffusion in der Porenflüssigkeit und/oder in adsorbiertem Zustand entlang der inneren Oberfläche) sowie
4. Oberflächendiffusion (vgl. Abbildung 10, Nr. 3): Adsorption des Adsorptiv-Moleküls an die freie Oberfläche des Adsorbens (am aktiven Zentrum).

Die Dicke der Grenzschicht δ ist primär von der Geometrie des Adsorbens abhängig. Eine weitere Einflussgröße der Filmdiffusion stellt die Turbulenz im wässrigen Medium dar. Bei der Porendiffusion ist der Konzentrationsgradient entlang der Makroporen die treibende Kraft. Weisen Substanzen eine hohe Affinität zur Aktivkohleoberfläche auf, erfolgt die Diffusion an der Oberfläche langsam und führt zu einer hohen Adsorption (BOLLER 2007).

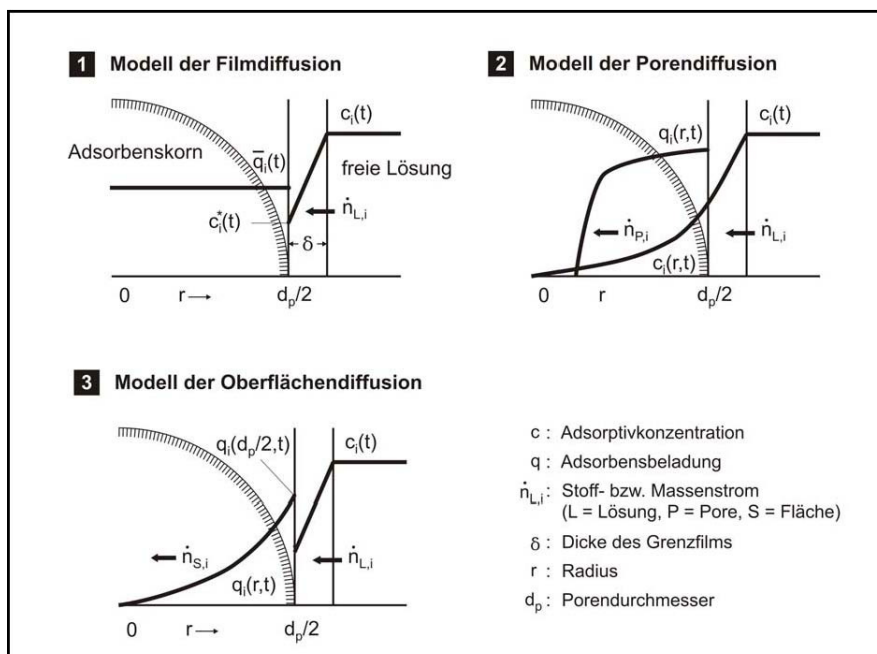


Abbildung 10: Transportmechanismen bei der Aktivkohleadsorption (SONTHEIMER 1985)

Zusammenfassend wird festgestellt, dass die Eigenschaften der Aktivkohle wie z.B. die Porenverteilung in Verbindung mit den Substanzeigenschaften und dem Konzentrationsgradienten den Adsorptionsvorgang maßgeblich beeinflussen. Weitere Einflussgrößen auf die Aktivkohleadsorption stellen z.B. Temperatur, pH-Wert, Molekularstruktur und -gewicht, Ionisation und Polarität dar (PÖPEL ET AL. 1988). Es gilt: Je höher die Temperatur, desto rascher die Adsorptionsgeschwindigkeit bzw. je kleiner die Temperatur, desto höher die Adsorptionskapazität. Mit steigendem pH-Wert adsorbieren bevorzugt Basen. In Aktivkohlefiltern nimmt die Konzentration des Adsorptivs in Fließrichtung ab. Mit zunehmender Filterbett-höhe stellen sich Beladungs- und Konzentrationsprofile ein (vgl. Abbildung 11), die sich mit der Filterlaufzeit entwickeln. Liegt am Ablauf des Filters ein Gleichgewicht zwischen der Adsorptivbeladung und der Zulaufkonzentration vor, beginnt die Substanz den Filter zu durchbrechen.

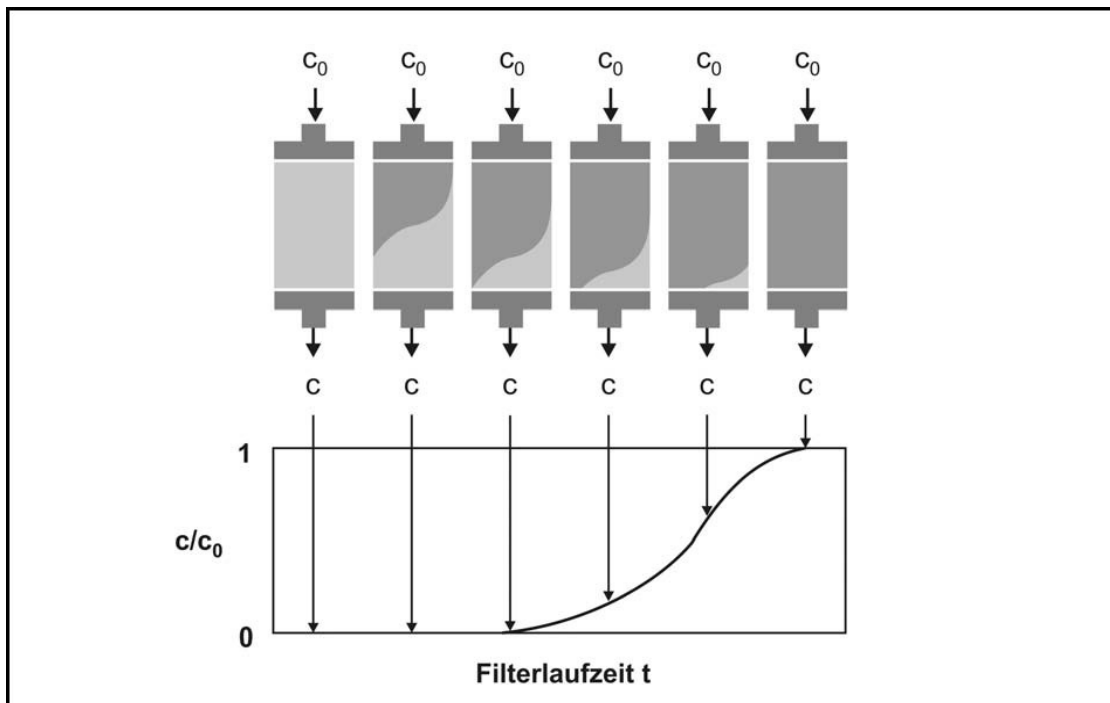


Abbildung 11: Beladungsprofil Aktivkohlefilter (SONTHEIMER 1985, verändert)

Die Beladung des Adsorbens mit dem Adsorptiv entspricht der Fläche, die zwischen der Durchbruchkurve und der Funktion c/c_0 eingeschlossen wird. Da Abwasser ein Vielstoffgemisch ist, konkurrieren zahlreiche Adsorptive um freie aktive Zentren der Aktivkohle. Diese Konkurrenzadsorption ist sehr stark bei organischen Mikroverunreinigungen wie z.B. Arzneimitteln und natürlichen Wasserinhaltsstoffen, zu denen z.B. Huminstoffe zählen, ausgeprägt. Huminstoffe tragen zum Rückgang der Sorptionskapazität für organische Mikroverunreinigungen bei,

da sich diese aufgrund ihrer Größe äußerst schwer aus den Poren der Aktivkohle verdrängen lassen (MARCUS 2005, LI ET AL. 2003).

3.4 Grundlagen der Behandlung mit Ozon

3.4.1 Grundbegriffe und Funktionsprinzip

Das Funktionsprinzip der Ozonierung basiert auf einer starken Oxidation der im Wasser enthaltenen Substanzen mit Ozon. Gasförmiges Ozon wird mittels elektrischer Entladung aus Sauerstoffmolekülen erzeugt. Der Ozonzerfall ist von verschiedenen Parametern wie z.B. pH-Wert, Alkalinität, Temperatur und Konzentration verschiedenster Abwasserinhaltsstoffe abhängig. Ozon reagiert direkt und schnell mit diversen organischen und anorganischen Verbindungen, vorzugsweise bei hohem pH-Wert. Die Reaktionsgeschwindigkeit wird dabei durch die Ozon- und Stoffkonzentrationen der im Abwasser enthaltenen Verbindungen und deren stoffspezifischen Geschwindigkeitskonstanten bestimmt.

Eine zusätzliche OH•-Radikalbildung kann auf drei verschiedenen Reaktionen basieren. Den Ausgangspunkt bilden Hydroxidionen (OH^-), die den Ozonzerfall initiieren und eine Kettenreaktion bewirken (VON GUNTEN 2003). Dabei werden zunächst reaktive Radikale gebildet, die als Ozonid-Radikalanion zerfallen und ein OH•-Radikal und ein Hydroxidion bilden (SCHUMACHER 2006). Das OH•-Radikal reagiert mit Ozon und führt zum Ausgangspunkt der Radikalkette zurück. Die zweite relevante OH•-Radikalquelle bilden elektronenreiche Verbindungen, aus denen in Reaktion mit Ozon direkt OH•-Radikale hervorgehen (NÖTHE 2009). Als dritte OH•-Quelle kann H_2O_2 dienen, das häufig als Reaktionsprodukt der direkten Ozonreaktion vorliegt. OH•-Radikale können jedoch auch durch anorganischen Kohlenstoff, wie z.B. Carbonat (CO_3^{2-}), verbraucht werden und mit organischen Wasserinhaltsstoffen in Konkurrenz treten (SCHUMACHER 2006).

Es sei darauf hingewiesen, dass bei der Ozonierung die Abwasserinhaltsstoffe vorwiegend in unbekannte Oxidationsprodukte transformiert und nicht vollständig mineralisiert werden, wobei die Oxidationsprodukte im Vergleich zu Ausgangssubstanzen in der Regel weniger schädlich sind (ABEGGLEN ET AL. 2009). Allerdings sind diese Transformationsprodukte sowie ihre möglicherweise (gen)toxischen Wirkungen derzeit noch Gegenstand der Forschung. Neueste Ergebnisse mit insgesamt 13 untersuchten wirkungsbasierten Testsystemen zeigen jedoch nur bei 2 Methoden negative Effekte nach einer Ozonierung. Diese konnten aber mit einem anschließendem Sandfilter wieder auf das Ausgangsniveau im Ablauf der Nachklärung reduziert werden, sodass in Summe durch die Kombination einer Ozonung mit einer anschließenden Sandfiltration keine negativen Effekte mit den 13 untersuchten, wirkungsbasierten Testsystemen festgestellt

werden konnten (ABEGGLEN ET AL. 2010). Auch eine aktuelle Untersuchung aus Nordrhein-Westfalen kommt zu dem Ergebnis, dass es durch die Ozonierung in einzelnen Testsystemen zu einer leicht erhöhten Toxizität kommt. Eindeutige Rückschlüsse auf die ökologische Relevanz dieser leicht erhöhten Toxizität sind jedoch nicht möglich, da es durch die Ozonierung auch zu einer verringerten endokrinen Aktivität kommt, die wiederum möglicherweise zu ökologischen Vorteilen führt. Mögliche Nachbehandlungsverfahren sollen bei diesem Vorhaben in einer zweiten Projektphase untersucht werden (NEUMANN ET AL. 2011).

3.4.2 Grundlagen der chemischen Oxidation

Die chemische Oxidation ist - wie der Begriff selbst veranschaulicht - ein Oxidationsverfahren, das mit Hilfe chemischer Oxidationsmittel arbeitet. Unter Oxidation versteht man ganz allgemein den Entzug von Elektronen aus einzelnen Teilchen wie z.B. aus Atomen, Ionen oder Molekülen. Die Umkehrung der Reaktion, d.h. die Aufnahme von Elektronen wird als Reduktion bezeichnet.

Der Oxidationsvorgang von Ozon mit organischen Substanzen basiert auf zwei sich überlagernden Reaktionstypen (siehe Abbildung 12).

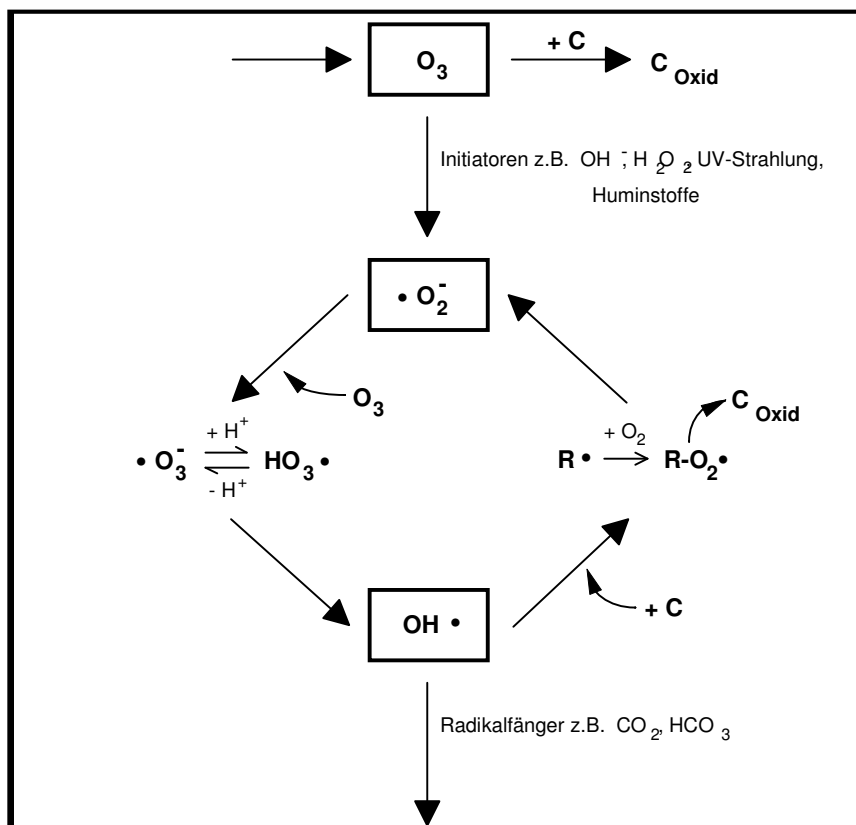


Abbildung 12: Reaktionsmechanismen

Die erste Reaktion ist die Reaktion des Ozonmoleküls mit den gelösten Substanzen. Diese direkte Reaktion ist äußerst selektiv, was an den steigenden Reaktionsgeschwindigkeiten des elektrophilen Ozons mit zunehmender Elektronendichte an der Doppelbindung und am aromatischen Ring oder entsprechend an den abnehmenden Reaktionsgeschwindigkeiten bei der Zunahme elektronenziehender Substituten zu erkennen ist. Die zweite Reaktion wird über OH-Radikale geführt, die beim Zerfall des Ozons entstehen. Diese OH-Radikale reagieren unselektiv in Millisekunden mit den Wasserinhaltsstoffen. Bei niedrigen pH-Werten überwiegt die erste, direkte Reaktion, während bei hohen pH-Werten fast ausschließlich die radikalische Reaktion abläuft.

Durch "Initiatoren" wie OH^- , H_2O_2 , UV-Strahlen oder gewisse organische Verbindungen (z.B. die im Abwasser vorkommenden Huminstoffe) werden $\text{O}_2^-/\text{HO}_2^-$ Radikale gebildet; über Zwischenschritte entsteht das äußerst reaktive OH-Radikal. Die OH-Radikale reagieren mit den organischen Inhaltsstoffen (C), wobei Peroxylradikale entstehen, die ihrerseits $\text{O}_2^-/\text{HO}_2^-$ Radikale abspalten und den Kreis damit schließen. Hohe Konzentrationen an "Radikalfängern" wie Carbonate/Hydrogencarbonate (CO_3/HCO_3) oder Alkylverbindungen wirken auch hier hemmend auf die Reaktionsgeschwindigkeit, da sie die Kettenreaktion durch Verbrauch von OH-Radikalen unterbrechen können.

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

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

3.4.3 Verfahrenstechnik und Apparative Ausführung der Ozonierung

Die Chemische Oxidation ist in der Lage, oxidierbare Schadstoffe zu mineralisieren. Obwohl prinzipiell Ammoniak, Ammonium und Nitrit durch Ozon oxidierbar sind, ist diese Anwendung in der Abwasseraufbereitung nicht zu nutzen, da einerseits bei pH-Werten kleiner 7 keine Ammonium Oxidation mehr stattfindet und darüber hinaus durch die Oxidation Nitrat entsteht, das im Ablauf ebenso unerwünscht ist.

Damit bleibt die Aufgabe der Chemischen Oxidation in der Abwasserreinigung der Abbau von organischen Verbindungen und der Reduktion von Spurenstoffen. In der Trinkwasseraufbereitung kann Ozon zur Desinfektion, zur Entfärbung von

huminstoffhaltigen Wässern und zur Zerstörung von Geruchs- und Geschmacksstoffen eingesetzt werden.

Da durch die Behandlung mit chemischen Oxidationsmitteln aus langkettigen, schwer abbaubaren Stoffen kurzkettige und leicht abbaubare Stoffe entstehen, bevor sie durch weitere Oxidationsmittelzugabe vollständig mineralisiert werden, kann es je nach Wasser sinnvoll sein, eine Aktivkohle-Adsorption nachzuschalten.

Eine mögliche Verfahrensvariante arbeitet mit dem Teilstrom-Injektor-Prinzip welches in Abbildung 13 dargestellt ist. Bei dem Ozonisierungsverfahren mit Kreislaufführung wird das aus reinem Sauerstoff erzeugte Ozon über einen Injektor (Wasserstrahlverdichter) in den Kreislaufstrom eingedüst und anschließend zusammen mit dem Roh-Abwasser in den Reaktor eingespeist. Zur besseren Löslichkeit des Ozons kann der Druck im Umlaufstrom angehoben werden.

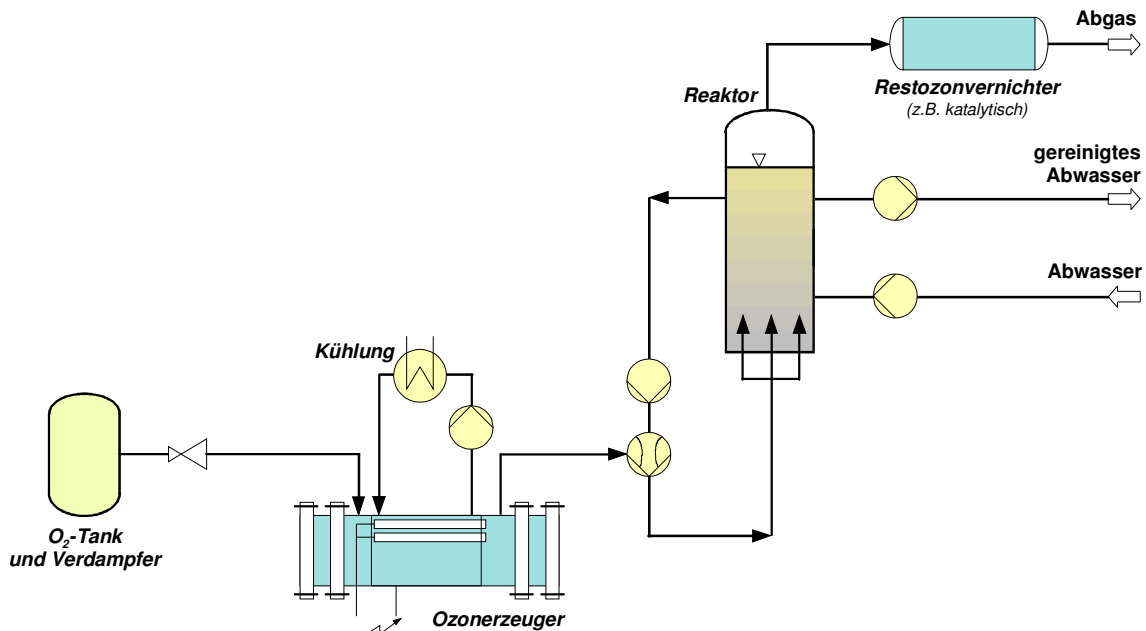


Abbildung 13: Ozonisierung mit Teilstrom-Injektor-Prinzip

Die Restozonumwandlung erfolgt über einen Metall-Mischoxid-Katalysator, bevor das Luftgemisch an die Umgebung abgegeben wird.

3.5 Aktuelle Projekte bzw. Forschungsvorhaben

3.5.1 Überblick Aktivkohle

Die Behandlung durch Adsorption an Aktivkohle entspricht in der Trinkwasseraufbereitung sowie der Industrie- und Sickerwasserbehandlung dem Stand der

Technik. In der Abwasserbehandlung wurden jedoch bisher nur wenige Erfahrungen mit dem Einsatz von Aktivkohle in Forschungs- und Pilotanlagen sowie einigen wenigen großtechnischen Anlagen gesammelt.

Nationale wie internationale Projekte sind im Weiteren übersichtlich zusammengefasst, ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben:

- USA – z. B. Lake Tahoe sowie weitere Anlagen, zitiert in: Pinnekamp, Essener Tagung 2010 (S. – 28 / 13 –) sowie Metcalf & Eddy „Wastewater Engineering“ 4. Edition 2003.
- Großbritannien – Swindon Kläranlage von Thames Water, zitiert in: Norit Newspaper 2008 Nr. 2, sowie mündliche Auskunft von Herrn Stuart Burnley, Thames Water, Einsatz von granulierter Aktivkohle im Ablauf einer Kläranlage.
- Holland – Einsatz einer granulierten Aktivkohleanlage im Ablauf der Kläranlage Horstermeer, Nähe Amsterdam, mündliche Auskunft von Freek Cramer, Witteveen & Bos und Stowa, 21.09.2010
- Schweiz – EAWAG, Kläranlage Kloten/Opfikon sowie halbtechnische Untersuchungen zum „Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser“ in MicroPoll-Projekt, GWA 7/2010 sowie Schlussbericht 09/2010.
- Kläranlage Mannheim – Einsatz von Pulveraktivkohle in vorgeschalteter Adsorptionsstufe, Planung der großtechnischen Umsetzung für 700.000 EW, Korrespondenz Abwasser, Dezember 2010 „Aktivkohle in der Abwasserreinigung – vom Versuch zum technischen Maßstab“, Symposium in Mannheim, Monitoring-Programm über 1 Jahr zum Nachweis der Reinigungsleistung verschiedenster Spurenstoffe.
- Verbandsklärwerk Obere Lutter, Einsatz von granulierter Aktivkohle in einem großtechnischen Versuch, Förderantrag beim Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Oktober 2010.
- Kläranlage Düren, WVER/ Buchenhofen, Wupperverband, Planung eines großtechnischen Versuchs mit Einsatz von granulierter Aktivkohle bzw. Pulveraktivkohle im Rahmen des NRW-Forschungsprojekts MIKROFLOCK (www.micropollutants.net/Projekte/Mikroflock)

3.5.2 Einzelne Projektbeispiele Aktivkohle

Wie bereits gesagt, sind Aktivkohleanwendungen in der Trinkwasseraufbereitung, aber auch der Abwasserreinigung, seit vielen Jahren im Einsatz. Internatio-

nal gesehen eine der ersten Anwendungsfälle ist in Lake Tahoe/USA sowie Windhoek/Namibia. Folgendes Bild macht augenscheinlich deutlich, dass der zugehörige Anlagenbau schon älteren Datums ist.

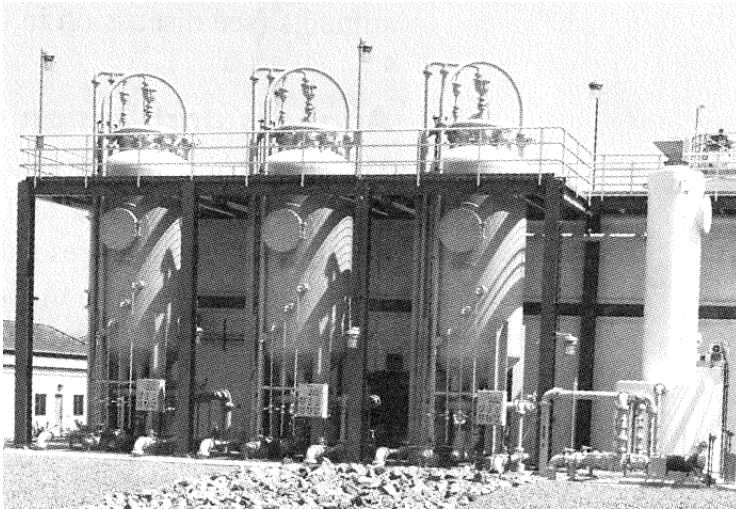


Abbildung 14: Activated carbon adsorbers: view of granular activated carbon contactors operated in parallel, used for the treatment of filtered secondary effluent (zitiert in Metcalf & Eddy, 4. Edition, Seite 1151)

Ausführliche Informationen zu verfahrenstechnischen Aspekten und insbesondere im Apparatebau sind in o. a. Literatur von Metcalf & Eddy, enthalten. Ebenfalls weist auf der Essener Tagung 2010 Prof. Pinnekamp darauf hin, dass die Anwendung in den USA bereits seit vielen Jahren in der kommunalen Abwasserreinigung im Einsatz ist.

Großbritannien – Kläranlage Swindon

Nach Informationen von Thames Water, Stuart Burnley ist auf der Kläranlage Swindon bereits seit 3 Jahren im Rahmen eines Forschungsprojektes der Einsatz von granulierten Aktivkohleadsorbern realisiert worden. Insbesondere aus Gründen des weitergehenden Gewässerschutzes hinsichtlich Hormonstoffe etc. ist das Forschungsprojekt bzw. deren großtechnische Umsetzung von Thames Water initiiert worden und derzeit in einem Monitoring-Untersuchungsprogramm im Hinblick auf die Reinigungsleistung verschiedener Spurenstoffe eingebunden. Die granulierten Aktivkohlefilter mit einem Durchmesser von über 8 m sind mit dem zugehörigen Rohrleitungs- und Apparatebau oberirdisch aufgestellt und vor Ort gefertigt bzw. geschweißt worden. Nach ersten Informationen von Thames Water werden die Aktivkohle-Reaktoren mit einer Aufenthaltszeit von ca. 30 Minuten betrieben und erreichen eine Standzeit von ca. 16 Monaten.



Abbildung 15: Großbritannien – Kläranlage Swindon, Einsatz von granulierter Aktivkohle

Holland – WWTP Horstermeer / Amsterdam

Über den Kooperationspartner der Hydro-Ingenieure GmbH in Holland, Witteveen & Bos, wird derzeit die Planung von granulierter Aktivkohle auf der Kläranlage Horstermeer im Ablauf vorgesehen, um insbesondere Spurenstoffe sowie PAKs, Pestizide etc. zu eliminieren. Die bisherigen Überlegungen unter Beteiligung der Stowa, TU Delft, Norit und Witteveen & Bos, gehen anhand von labor-technischen Untersuchungen davon aus, in einem GAK-Reaktor ohne die Möglichkeit einer Rückspülung eine weitergehende Spurenstoffelimination zu erreichen. Eine großtechnische Umsetzung auf der Kläranlage Horstermeer ist im Jahre 2012 geplant.

Deutschland - Kläranlage Mannheim (siehe weitere Anlagen in BaWü)

Auf dem Aktivkohle-Symposium im Juni 2010, der Essener Tagung 2012 sowie in mehreren Veröffentlichungen (Alt/Mauritz) wurde die großtechnische Umsetzung einer vorgeschalteten Adsorptionsstufe mit Zugabe von Pulveraktivkohle vorgestellt. Bei erfolgreichem Betrieb des jetzigen Teilstromes von knapp 180.000 EW ist die Umsetzung des gesamten Wasserstroms der Kläranlage Mannheim (700.000 EW) geplant. Voraussetzung ist der erfolgreiche Nachweis eines Monitoring-Programmes, das derzeit gemeinsam mit der Hochschule Biberach, Prof. Kapp, von der Stadtentwässerung Mannheim vor dem Abschluss steht. Dabei steht neben dem Nachweis der Reinigungsleistung für die Parameter CSB, DOC und verschiedener Spurenstoffe u. a. die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes der pulverisierten Aktivkohle im Vordergrund.

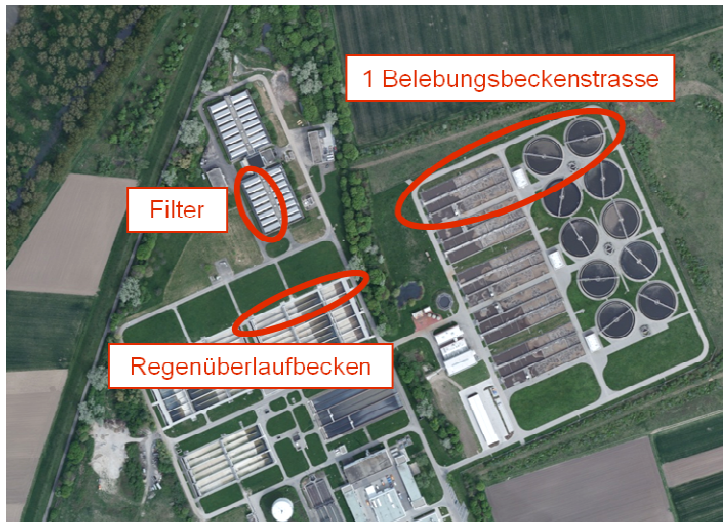


Abbildung 16: Einsatz von Pulveraktivkohle – Mannheimer Verfahren

Schweiz – EAWAG, Kläranlage Kloten/Opfikon

Im Rahmen des MicroPoll-Projektes wird zurzeit auf der Kläranlage Kloten/Opfikon sowie in verschiedenen Pilotversuchen in Lausanne geprüft, inwieweit die Verfahrenstechnik der Pulveraktivkohle für den großtechnischen Maßstab geeignet und wirtschaftlich vertretbar ist. Nach gegenwärtigem Stand erweist sich die Verfahrenstechnik der Zugabe von Pulveraktivkohle über eine separate Einmischkammer in den Flockungsfiltrationsanlagen als interessante, wirtschaftlich vertretbare Lösung zur Spurenstoffelimination.



Abbildung 17: Anwendung der Pulveraktivkohle - Versuche auf der Kläranlage Kloten – Schweiz / Luftbild

Deutschland - Wasserverband Obere Lutter – Gütersloh

Der Einsatz von granulierter Aktivkohle ist auf dem Verbandsklärwerk Obere Lutter im Rahmen eines Forschungsvorhabens des MKULNV des Landes NRW geplant. Seit dem 01.11.2010 ist eine Filterzelle mit einer Fläche von 40 m² zum Einsatz von granulierter Aktivkohle in Betrieb. Auf der 4-stufigen biologischen Reinigungsstufe des Verbandsklärwerks Obere Lutter ist vor ca. 10 Jahren aufgrund des hohen Anteils an Industrieabwasser im Anschluss an die AB-Anlage eine weitergehende Nitratelimination in einer Festbettfiltrationsstufe sowie eine anschließende Flockungsfiltration errichtet worden. Großtechnische Versuche finden in der bestehenden Flockungsfiltrationsanlage statt, um über 12 Monate eine weitergehende Spurenstoffelimination sowie eine Stabilisierung der CSB-Ablaufsituation zu gewährleisten.



Abbildung 18: Verbandsklärwerk Obere Lutter – Füllung der Filterzelle mit granulierter Aktivkohle

Auf der Essener Tagung 2012 werden die ersten Ergebnisse aus dem 12-monatigen Versuchsbetrieb (NAHRSTEDT ET AL. 2012) veröffentlicht. Der Versuchsbetrieb kann vor dem Hintergrund der relativ hohen CSB-Zulaufkonzentrationen im industriell geprägten Abwasser Obere Lutter als betrieblich gut durchführbar und wirtschaftlich erfolgreich bezeichnet werden.

Der Abwasserzweckverband Obere Lutter hat sich entschieden, eine Umrüstung von 3 bis 4 Filterzellen granulierte Kohle vorzunehmen, um zukünftig einen Teilstrom bei Bedarf über die Aktivkohleanlage führen zu können.

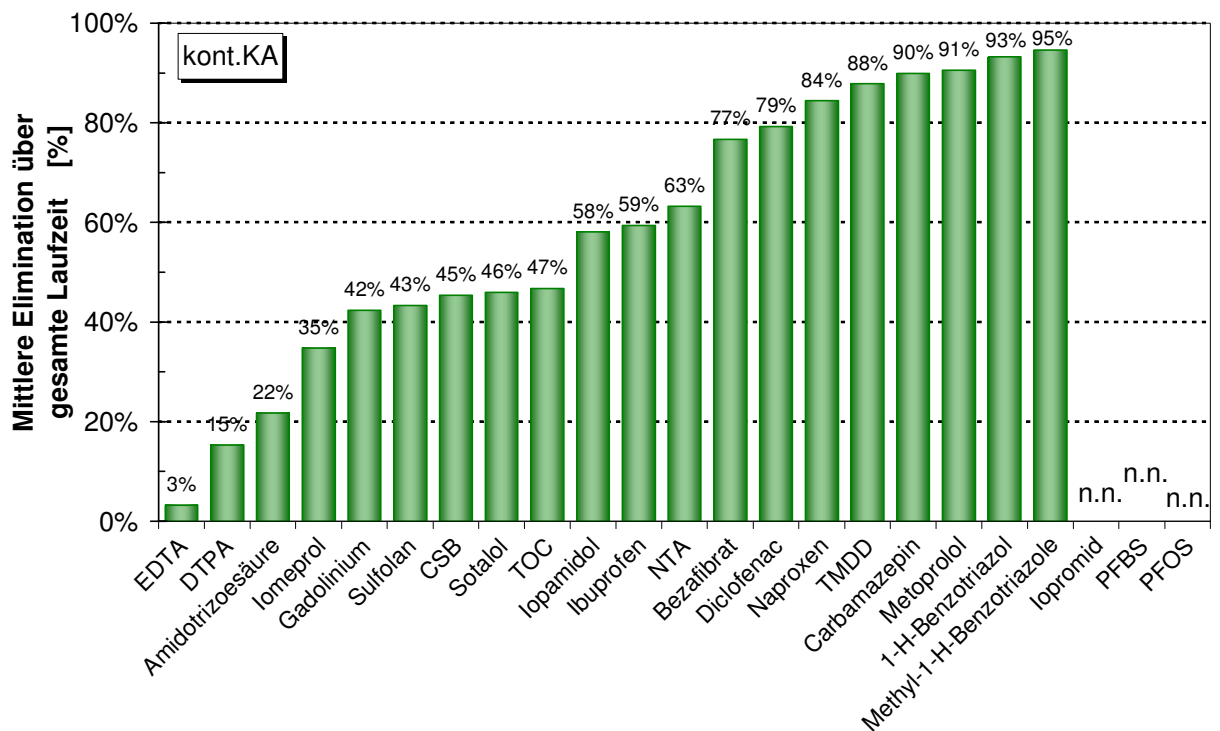


Abbildung 19: Mittlere Eliminationsraten mit GAK, kont. KA (10 m/h)

Im Versuchsbetrieb zeigte sich, dass die erforderlichen Spülzyklen deutlich kleiner ausfallen, als ursprünglich erwartet und auch ein versuchsweise getesteter intermittierender Betrieb sich als für die Aufgabenstellung sinnvoll und wirtschaftlich interessant herausgestellt hat. Die erreichbaren Standzeiten bzw. Bettvolumen liegen bei 8.000 bis 10.000 m³/m³ und erreichen CSB-Beladungszahlen von 300.000 bis 400.000 mg/kg CSB.

Deutschland – Kläranlage Düren, WVER/Buchenhofen, Wupperverband im Rahmen des MIKROFLOCK-Forschungsprojektes NRW

Durch die Zugabe von Aktivkohle bei der Abwasserreinigung werden mit zwei verschiedenen Verfahrensansätzen auf den Kläranlagen Düren-Merken und Buchenhofen technische, betriebliche und wirtschaftliche Umsetzbarkeit untersucht sowie im technischen Maßstab erprobt. Eine Zugabe von Pulveraktivkohle in den Flockungsraum der Filtration mit Kohleabscheidung in der vorhandenen Filteranlage ist auf der Anlage in Buchenhofen geplant, während in Düren der Austausch eines gesamten Filterbettes gegen granuliert Kornkohle untersucht wird.

Nach dem ersten Jahr des großtechnischen Versuchs in Buchenhofen wird auf der Essener Tagung 2012 (BORNEMANN ET AL. 2012) berichtet, dass die Aktivkohle mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand eliminiert werden kann und auch betrieblich keine Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

3.5.3 Überblick Ozonierung

Die Leistungsfähigkeit der Ozonierung von gereinigtem Abwasser wurde großtechnisch exemplarisch in Regensdorf und Wien überprüft. Aktuell finden sich Anwendungen im Realmaßstab in Schwerte, Bad Sassendorf und Duisburg. Die dabei fokussierten Verfahrenskombinationen sind in Abbildung 20 zusammengestellt.

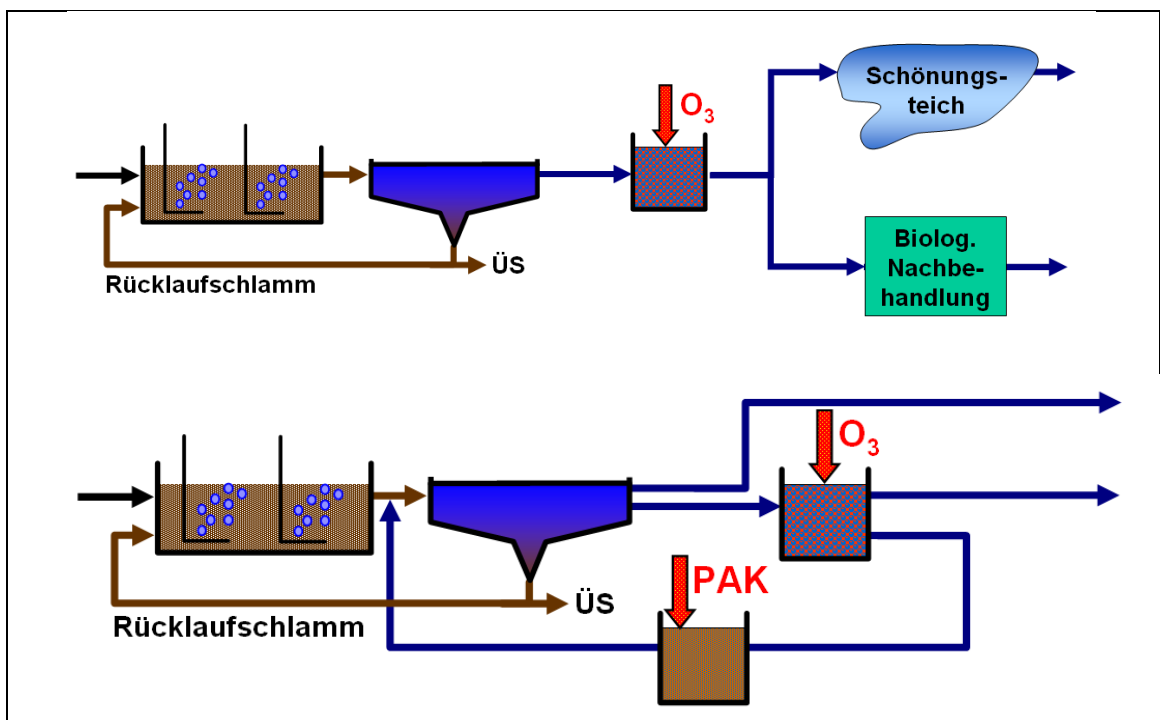


Abbildung 20: Ozonierung von gereinigtem Abwasser

Zudem findet die Ozonierung einem MBR nachgeschaltet in der separaten Krankenhausabwasserbehandlung Anwendung. In großtechnischen Anwendungen in Österreich und der Schweiz wurde die Eignung der Ozonierung für die Eliminierung von Mikroverunreinigungen in der kommunalen Abwasserreinigung bestätigt. Hierfür existieren umfangreiche Berichterstattungen (vgl. ABEGGLEN ET AL. 2009).

Vor einer großtechnischen Umsetzung von Ozonierung auf Kläranlagen muss gesichert sein, dass keine Transformationsprodukte erzeugt werden, die eine

vergleichbar kritischere Öko- bzw. Humantoxizität aufweisen, als die zu eliminierenden Substanzen. Daher werden in jüngsten Forschungsarbeiten zunehmend Metabolite und Transformationsprodukte identifiziert und bewertet. Hier besteht noch ein sehr großer Forschungsbedarf. Der aktuelle Forschungsbedarf wird gekennzeichnet durch:

- Ermittlung der Leistungsfähigkeit von Ozonierung bei variierenden Zuflussbelastungen
- Ableitung von Empfehlungen hinsichtlich Bemessungs- und Betriebsparameter
- Festlegung von Steuer- und Regelstrategien sowie
- Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit sowie die öko- und humantoxikologische Bewertung von Transformationsprodukten

3.5.4 Einzelne Projektbeispiele Ozonierung

Schweiz - Kläranlage Regensdorf

Zum Einsatz der Ozonierung auf der Kläranlage Regensdorf (30.500 EW) liegt ein umfangreicher Abschlussbericht vor (vgl. ABEGGLEN ET AL. 2009). In Regensdorf wurde der Ablauf einer kommunalen Kläranlage einer Ozonierung unterzogen, wobei das Ozon aus Flüssigsauerstoff erzeugt und ein Schlaufenreaktor mit Diffusoreintragssystem zum Ozoneintrag genutzt wurde. Der Kontaktreaktor wurde auf eine Aufenthaltszeit bei Trockenwetter von > 5 Minuten ausgelegt.

Die für eine signifikante Elimination notwendige Ozonkonzentration liegt zwischen 5 und 10 mg Ozon je Liter zu reinigendes Abwasser bzw. zwischen 0,7 und 1,0 g Ozon je g DOC. Da bei der Ozonierung unbekannte Transformationsprodukte gebildet werden, ist es zweckmäßig, eine zusätzliche Nachbehandlungseinheit im Ablauf der Ozonierung vorzusehen. Diese kann z.B. als biologisch aktiver Sandfilter oder als Schönungsteich ausgebildet sein, um eventuelle Toxizitäten und Restozon im Falle einer Überdosierung abzubauen. Beispielhaft ist in Abbildung 21) der Einfluss der Ozondosis auf die Elimination ausgewählter Mikroverunreinigungen dargestellt.

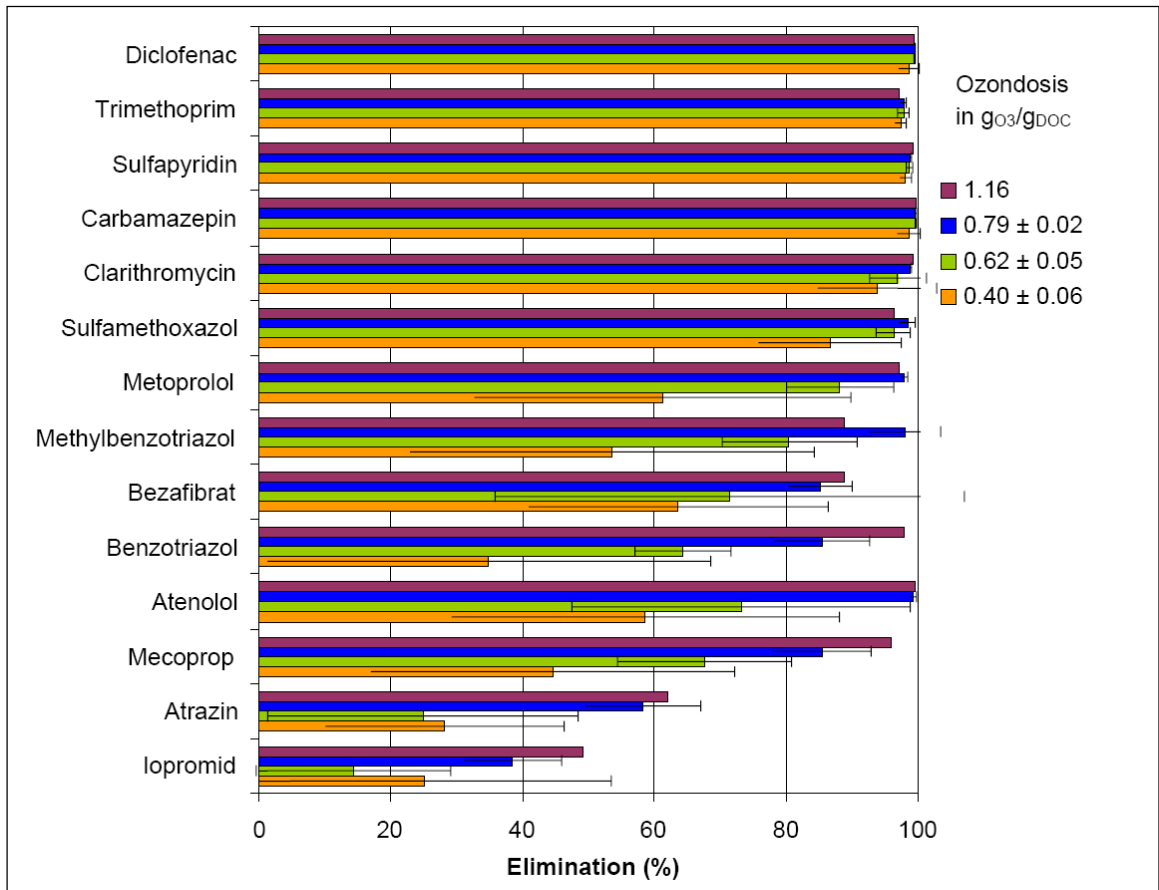


Abbildung 21: Eliminationsleistung der Ozonierung (ABEGGLEN ET AL. 2009)

Deutschland – Kläranlage Bad Sassendorf

Das Einzugsgebiet der Kläranlage Bad Sassendorf (13.000 EW) weist einen hohen Altersdurchschnitt und eine überdurchschnittliche Anzahl an Klinikbetten pro Einwohnerwert auf. Die Kläranlage wurde daher mit einer Ozonierung für den Ablauf der Nachklärung ausgerüstet, die von der Hydro-Ingenieure GmbH geplant wurde. Die Anlage besteht aus einem zweistraßigen Schlaufenreaktor mit Diffusoreintragssystem. Die Ozonerzeugung erfolgt aus Flüssigsauerstoff. Zur Nachbehandlung steht ein Schönungsteich zur Verfügung. Der Regelbereich der Ozondosis beträgt 5 bis 20 mg/l. Die Reaktionszeit ca. 13 Minuten (JAGEMANN ET AL. 2012). Die gemessenen Eliminationsraten bestätigen die Ergebnisse aus der Schweiz.



Abbildung 22: Kläranlage Bad Sassendorf – Ozonanlage mit Sauerstofftank

Deutschland – Kläranlage Duisburg-Vierlinden

Auf der Kläranlage Duisburg-Vierlinden werden im Rahmen eines vom MKULNV des Landes NRW geförderten Vorhaben in zwei parallelen Straßen der Ozoneintrag mittels Diffusor- und Injektoreintragssystem verglichen. In der mit dem Injektoreintragssystem ausgestatteten Straße besteht die Möglichkeit einer nachgeschalteten biologischen Behandlung im Wirbelbett. Die Reaktionszeit des Abwassers in beiden Straßen beträgt ca. 15 bis 20 Minuten bei einem maximalen Zufluss je Straße von 200 m³/h. Nach umfangreichen Simulationsstudien wurde auf die Anordnung von Leitwänden in den Reaktionsbecken verzichtet.

Zur Ozonerzeugung stehen zwei Ozongeneratoren mit einer Ozonerzeugungsleistung von ca. 2 kg/h zur Verfügung. Bezogen auf einen DOC im biologisch gereinigten Abwasser von 4 bis 8 mg/l kann die Ozondosis zwischen 0,4 und 1,2 g_{O₃}/g_{DOC} variiert werden. Erste Ergebnisse zeigen gute Betriebsergebnisse für beide Anlagen. Der spezifische Energieverbrauch liegt bei 0,09 bis 0,16 kWh/m³ behandeltem Abwasser (HERBST ET AL. 2011).

4 KURZBESCHREIBUNG DER LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN

4.1 Allgemeines

Wie bereits eingangs in der Aufgabenstellung erwähnt, gibt es verschiedene Verfahrensvarianten zur Spurenstoffelimination. Im Weiteren wird ein erster Überblick über diese möglichen Verfahrenstechniken gegeben.

4.2 Pulveraktivkohle

Pulveraktivkohle verfügt im Vergleich zu granulierter Aktivkohle über eine geringere Korngröße. Die PAK wird dem Abwasserstrom zudosiert und eingerührt und muss anschließend durch eine Separationsstufe wieder aus dem Abwasserstrom entfernt werden.

Die Variante des Baus separater Kontakt- und Absetzbecken wird bisher insbesondere in Baden-Württemberg für die weitergehende Abwasserreinigung favorisiert. In dieser Variante wird die Aktivkohle in das der Nachklärung nachgeschaltete Kontaktbecken dosiert, in dem eine Beladung der Kohle erfolgt. Im anschließenden Absetzbecken wird die PAK abgezogen und zum Zwecke einer Mehrfachbeladung in das Kontaktbecken rezirkuliert. Die Überschussskohle wird dem Kontaktbecken entzogen und dem Belebungsbecken zugeführt, wo sie zusätzlich beladen und dann über den Überschussschlamm abgezogen wird. Eine vorhandene Sandfiltration dient als zusätzliche Sicherheit zur gesicherten Entfernung der beladenen Aktivkohle aus dem geklärten Abwasser. Dieses Verfahren befindet sich derzeit, wie bereits beschrieben, auf der Kläranlage Mannheim und der Kläranlage Böblingen-Sindelfingen in Betrieb, während es sich auf den Kläranlagen Kressbronn-Langenargen und Stockacher Aach im Bau befindet. Dieses Verfahren wird als Variante 1 „Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken“ in der vorliegenden Studie näher untersucht.

4.3 Granulierte Aktivkohle

Granulierte Aktivkohle oder auch Kornkohle zeichnet sich durch eine größere Korngröße aus als pulverisierte Aktivkohle und wird als Filtermaterial zur Elimination von Spurenstoffen eingesetzt.

Bei den Aktivkohlefiltern wird die Kohle je nach Beschickungsrichtung der Filter von oben nach unten oder anders herum mit den Schadstoffen beladen. Es bildet sich eine Beladungsfront, die mit der Zeit durch den Filter wandert bis es zu einem Durchbruch kommt. Die Aktivkohle kann dann aus dem Filter entnommen

und regeneriert werden. Um die volle Beladungskapazität eines Filters ausnutzen zu können ohne das ein Durchbruch zu einem Konzentrationsanstieg im Ablauf führt, kann ein 2-stufiges Verfahren (2 hintereinander geschaltete Filter) gewählt werden.

Aktivkohlefilter können als druck- oder schwerkraftbetriebene Systeme gebaut werden. Mögliche Anwendungen in der Abwasserbehandlung sind die Umrüstung bereits bestehender Filteranlagen zu GAK-Filtern und der Bau von neuen Filtern, die einer bestehenden Filtration nachgeschaltet sind.

Die Möglichkeit der nachgeschalteten GAK-Filter hat den Vorteil, dass die komplette vorhandene Filtration als Sicherheitsstufe gegen einen möglichen Eintrag von Feststoffen aus der Nachklärung fungiert. Die nachgeschalteten Filter können wiederum als Druckfilter in Stahldruckkesseln oder als Schwerkraftfilter z.B. aus Beton umgesetzt werden. Bei der hier vorliegenden Planung wurden Stahldruckkessel gewählt. In der Variante 2 „Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)“ wird diese Verfahrensmöglichkeit weiter untersucht.

Alternativ kann ein vorhandener Raumfilter durch Austausch des Filtermaterials zu einem GAK-Filter umgerüstet werden. Dies wird in der Variante 3 „Umrüstung vorhandener Filterzellen mit granulierter Aktivkohle“ untersucht. Je nach Auslastung der Filtration können einige Filterzellen mit granulierter Aktivkohle befüllt werden und der Filtration in den restlichen Filterzellen nachgeschaltet betrieben werden.

Falls der vorhandene Filter nicht überausreichend Reserven verfügt, kann auch eine Kombination aus beiden Lösungsmöglichkeiten realisiert werden, d.h. ein paar der vorhandenen Filterzellen können zur nachgeschalteten GAK-Stufe umgerüstet werden und zusätzlich werden neue GAK-Filter gebaut, um die notwendige Oberfläche und Kontaktzeit zu erreichen.

4.4 Ozonierung

Für die Ozonierung wird die Ozonerzeugung aus Flüssigsauerstoff vorgesehen. Der Reaktionsbehälter wird zweistraßig ohne Leitwände geplant. Theoretisch kommen wie bereits beschrieben sowohl ein Eintrag über einen Injektor als auch über ein Diffusorsystem in Frage. Für die Kostenschätzung im Rahmen der Variantenuntersuchung wird zunächst von einem Injektorsystem ausgegangen.

Wie oben beschrieben entstehen bei der Behandlung von Abwassers mit Ozon zur Oxidation von Spurenstoffen Metabolite und Transformationsprodukten, deren öko- und humantoxikologische Wirkung bisher noch nicht ausreichend er-

forscht worden sind. Die oben genannten Forschungsprojekte befassen sich zurzeit mit dieser Fragestellung, welche geklärt werden sollte, bevor eine Ozonierung zur Spurenstoffelimination großtechnisch auf einer Kläranlage zur Anwendung kommt. Im Rahmen dieses Projektes wird vorgenannte Lösungsmöglichkeit (Variante 3) konzipiert und davon ausgegangen, dass die nachgeschaltete Filtration mögliche Metaboliten eliminiert. Die Ozonierung wird also der Filtration vorgeschaltet.

5 PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN

5.1 Planungsgrundlagen

Seitens der Stadt Harsewinkel wurden für die Bearbeitung folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- Jahresschmutzwassermengen 2006 bis 2010
- Wassermengen zur Filtration für den Zeitraum Januar 2010 bis September 2012
- Vorhandene Daten der Abbauleistung der Flockungsfiltration
- Vorhandene Bauwerkspläne der Kläranlage Harsewinkel
- Vorhandene Bauwerkspläne der Flockungsfiltration der Kläranlage Harsewinkel
- Festsetzungsbescheid der Kläranlage Harsewinkel vom 31.05.2011

5.2 Hydraulische Bemessungsgröße

Die Hydro-Ingenieure GmbH hat eine Auswertung der 1h-Zulaufwassermengen zur Flockungsfiltration für den Zeitraum von Januar 2010 bis September 2012 durchgeführt. Hierbei wurden sowohl Ganglinien erstellt als auch Summenhäufigkeiten ermittelt (siehe Anlage 2). Der maximale Ablauf liegt bei 386,7 l/s und der 85 %-Wert bei 105,3 l/s (siehe Tabelle 1)

Tabelle 1: Zulaufmengen Flockungsfiltration

Zulaufmenge (l/s)	RW + TW
Mittelwert	78,1
85%-Wert	105,3
Maximum	386,7

Die Bemessungswassermenge für die Aktivkohlebehandlung wurde auf max. 83,3 l/s (300 m³/h) festgelegt. Der Zulauf zur Flockungsfiltration der Kläranlage Harsewinkel unterschreitet an 74 % aller Tage eine maximale Menge von 83,3 l/s. (optional wird in Kap. 7.2 die Auswirkung einer höheren Wassermenge diskutiert) Mit einem maximalen Zulauf von 83,3 l/s zur Spurenstoffelimination können im Mittel des Betrachtungszeitraums von Januar 2010 bis September

2012 79,1 % der anfallenden Abwassermenge im Zulauf der Flockungsfiltration behandelt werden.

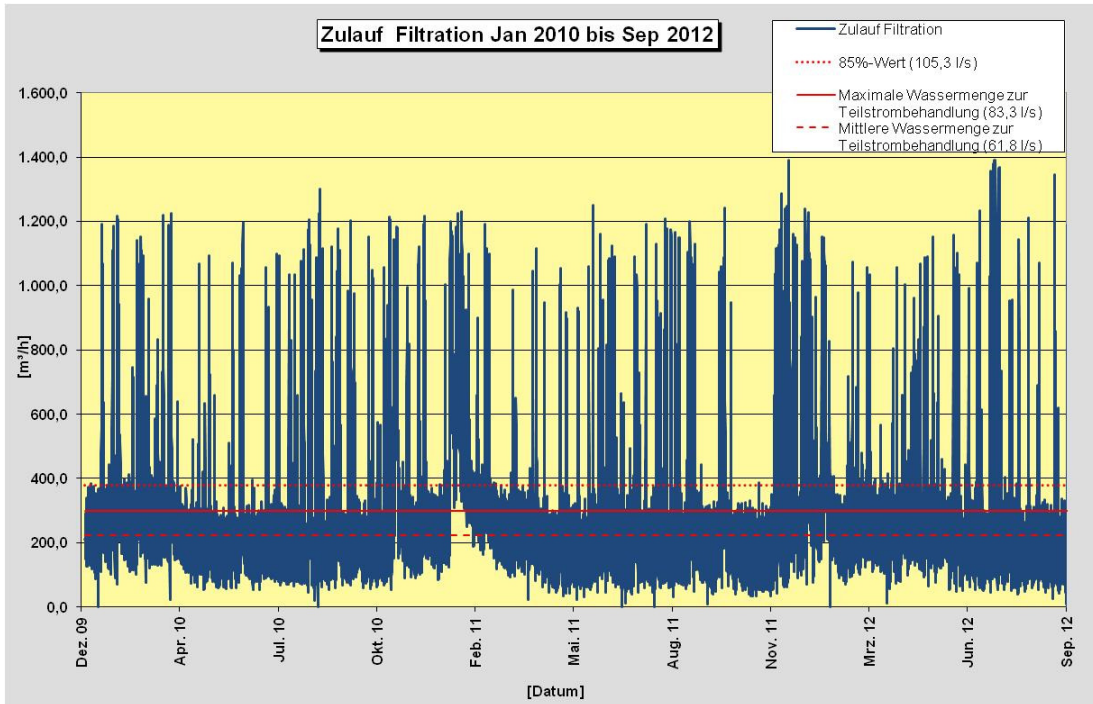


Abbildung 23: Auswertung Anteil der behandelten Teilstrommenge an der Zulaufmenge zur Flockungsfiltration, KA Harsewinkel, Januar 2010 bis September 2012

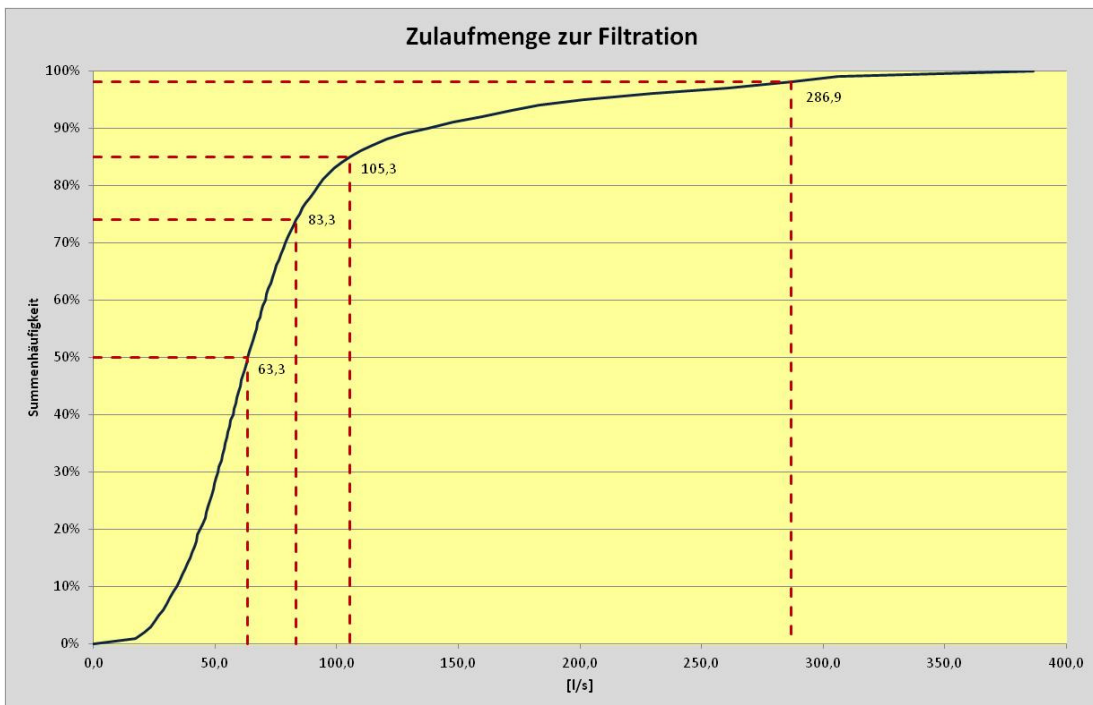


Abbildung 24: Auswertung Zulaufmengen zur Flockungsfiltration, Harsewinkel, Januar 2010 bis September 2012

6 PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION

Im Folgenden werden die für die Kläranlage möglichen Varianten unter Berücksichtigung der vorhandenen baulichen und technischen Randbedingungen erläutert. Die klärtechnische Bemessung der Varianten kann Anlage 3 entnommen werden. Alle Konzepte sind in Lageplänen und Verfahrensschemata dargestellt (siehe Planverzeichnis).

- Lösungsvariante 1 – Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken
- Lösungsvariante 2 – Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)
- Lösungsvariante 3 – Umrüstung vorhandener Filterzellen mit granulierter Aktivkohle
- Lösungsvariante 4 – Ozonanlage (optional, grobe Betrachtung)

6.1 Lösungsvariante 1: Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Die Variante 1 umfasst die Zugabe von Pulveraktivkohle in einer vorgeschalteten Adsorptionsstufe mit Abtrennung der Kohle in einem separaten Absetzbecken analog zum Verfahren auf der Kläranlage Mannheim (siehe Abbildung 25).

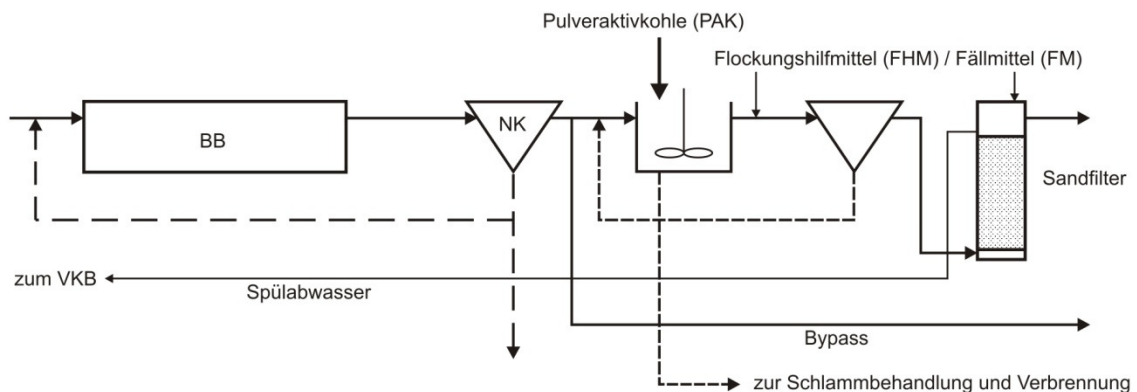


Abbildung 25: Schema Lösungsvariante 1 – Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Der Teilstrom für die Aktivkohlebehandlung von 83,3 l/s (siehe Kapitel 5.2) wird aus der Pumpenvorlage der Filtration in das erste Misch-/Kontaktbecken gepumpt. Bei einem Zulauf von bis zu 83,3 l/s fließt das gesamte Abwasser von der Nachklärung zur PAK-Anlage. Bei Regenwetter steigt der Wasserspiegel in der

Pumpenvorlage an und die Abwassermenge > 83,3 l/s wird durch die existierenden Zulaufpumpen der Flockungsfiltration direkt zur Flockungsfiltration gepumpt.

Da auf der Kläranlage Harsewinkel keine vorhandene Bausubstanz zur Nutzung als Kontakt- oder Absetzbecken zur Verfügung steht, werden die Becken als oberirdischer Neubau ebenerdig auf der Grünfläche westlich der vorhandenen Flockungsfiltration in Anschluss an eine Lagerhalle geplant (BOK 5 m über GOK) (siehe Abbildung 26).

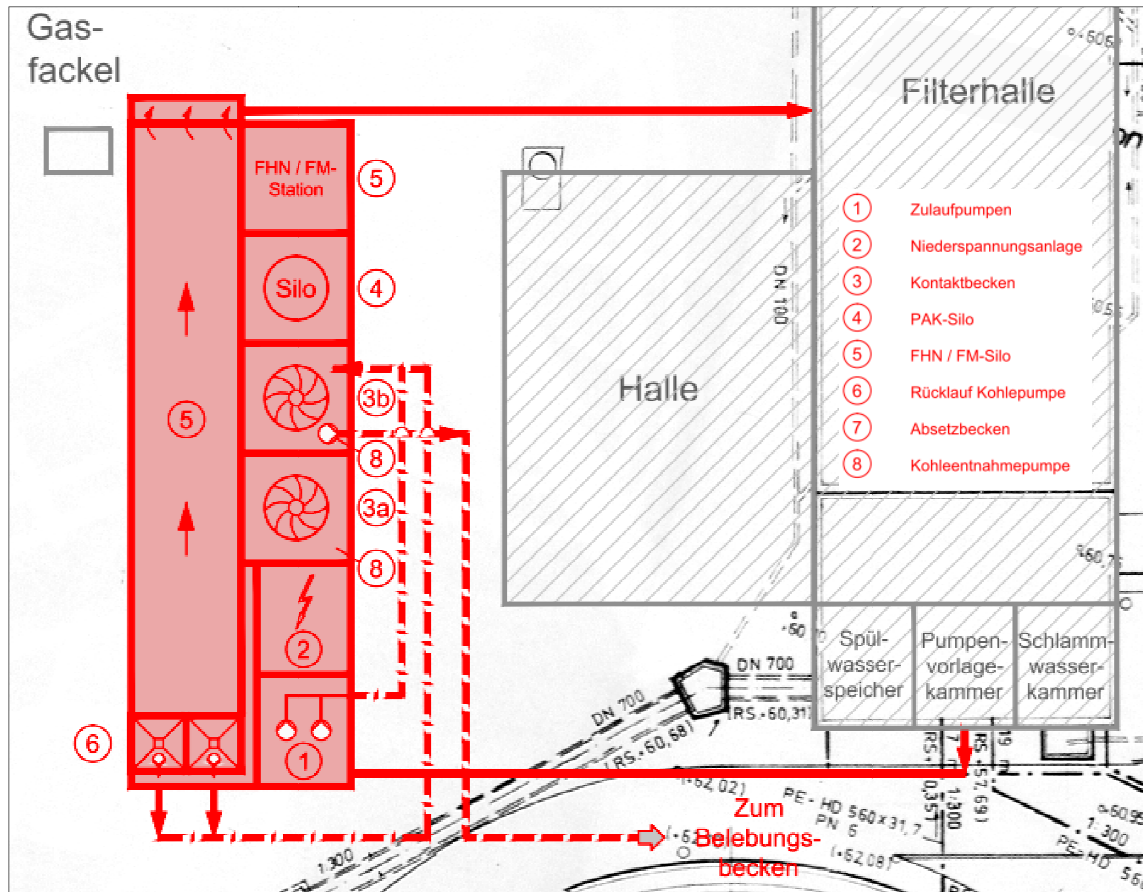


Abbildung 26: Lösungsvariante 1- Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Das Kontaktbecken wird als 2er-Kaskade mit einer Gesamtfläche von etwa 37,5 m² geplant. Mit einer Wassertiefe von 4 m ergibt sich ein Volumen von etwa 150 m³, so dass die Aufenthaltszeit im Mischbecken bei einem maximalen Zufluss von 83,3 l/s 30 Minuten beträgt. Jede Kaskade wird mit einem Rührwerk ausgestattet, um eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten.

Die Pulveraktivkohle wird in den Zulauf zum Kontaktbecken dosiert. Die PAK-Dosiertrate wurde mit 5 – 20 mg/l angesetzt. Das PAK-Silo einschließlich Dosiers-

tation wird ebenfalls auf der Grünfläche westlich der Filtration errichtet. Fäll- und Flockungshilfsmittel werden zwischen dem Kontakt- und Absetzbecken dosiert. Die neue Fällmitteldosierstation, aus der Eisen(III)chlorid zum verbesserten Absetzen der Pulveraktivkohle dosiert wird, sowie eine neue FHM-Dosierstation werden im Anschluss an den PAK-Silo errichtet.

Das Absetzbecken wird aufgrund der Platzverhältnisse als längsdurchströmtes Rechteckbecken mit einer Länge von ca. 23,5 m und einer Breite von 4,3 m gebaut. Bei einer empfohlenen Oberflächenbeschickung von 3 m/h, beträgt die erforderliche Tiefe 4,5 m. Es ergibt sich daraus ein Gesamtvolumen von etwa 450 m³. Die Aufenthaltszeit im Absetzbecken beträgt bei einem maximalen Zufluss von 83,3 l/s 1,5 Stunden. Der Ablauf des Absetzbeckens erfolgt über eine Überfallkante und fließt drucklos in das Zulaufgerinne der Flockungsfiltration (Rohwasserleitung).

Das Absetzbecken wird mit einem Räumler ausgestattet. Im Zulauf des Absetzbeckens werden Trichter ausgebildet, in die der Räumler die abgesetzte Kohle fördert. Von hier aus wird die Kohle über 2 Rezirkulationspumpen zurück in das Kontaktbecken gefördert. Das Rückführverhältnis beträgt maximal 70 %. Die Überschussskohle wird über eine Pumpe aus dem Kontaktbecken in die Belebung gefördert. Die Kohle gelangt mit dem Überschussschlamm aus der Nachklärung zur Schlammbehandlung.

Es ist zu beachten, dass der behandelte Schlamm nicht wie zurzeit praktiziert, im Landschaftsbau/Landwirtschaft entsorgt werden kann, sondern eine Verbrennung der gesamten Schlammmenge notwendig ist. Alternativ ist eine separate Schlammbehandlung für die Pulveraktivkohle möglich. Dies erfordert jedoch eine zusätzliche Schlammbehandlungsstraße und lässt den Vorteil einer weiteren Beladung der Kohle im Belebungsbecken ungenutzt.

Desweiteren ist zu beachten, dass bei Variante 1 aus Platzgründen die vorhandene Gasfackel versetzt werden muss.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden im Weiteren kurz zusammengefasst:

- | | |
|---------------------------------------|---------------------|
| • Aufenthaltszeit in Kontaktreaktor | 30 min. |
| • Energieeintrag im Kontaktbecken | 10 W/m ³ |
| • Aufenthaltszeit Sedimentationsstufe | < 1,5 h |
| • PAK-Dosierung | 5 – 20 mg/l |
| • Polymerdosierung | 0,15 – 0,30 mg/l |
| • Fällmitteldosierung | 2 – 8 mg/l |

6.2 Lösungsvariante 2: Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)

Die Variante 2 untersucht die Filtration mit granulierter Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln als 1-stufige Variante (siehe Abbildung 27).

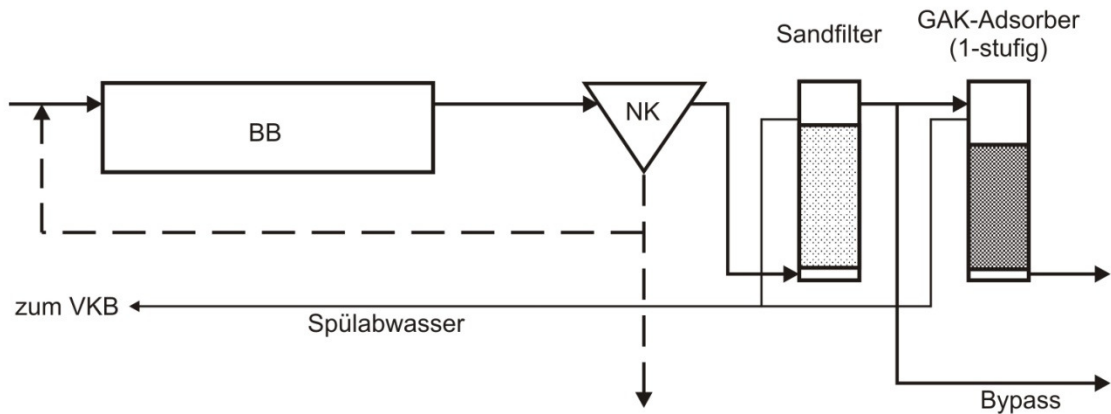


Abbildung 27: Schema Lösungsvariante 2 – GAK – Nachgeschaltete Druckkessel (1-stufig)

Bei dieser Lösungsmöglichkeit wird auf die zusätzliche Sicherheit des 2-stufigen Verfahrens verzichtet. Bei einem 1-stufigen Verfahren sind insgesamt 4 Adsorber notwendig, die alle parallel gefahren werden. Dadurch kann auf eine aufwändige Karussellschaltung verzichtet werden und die Investitionskosten für die Adsorber halbieren sich. Es bestehen 2 Möglichkeiten der Betriebsweise von 1-stufigen GAK-Adsorbern:

1. Alle Adsorber werden bis zum vollständigen Durchbruch betrieben, so dass jeder Adsorber über einen gewissen Zeitraum mit einer sehr geringen Filterwirksamkeit betrieben wird und die Ablaufkonzentration insgesamt etwas ansteigt.
2. Jeder Adsorber wird nur bis zu einem definierten Durchbruchpunkt betrieben und die Aktivkohle wird ausgetauscht bevor die Filterwirksamkeit stark nachlässt.

Letzteres ist gängige Praxis in vielen Trinkwasseraufbereitungsanlagen mit 1-stufigen GAK-Adsorbern, da in der Trinkwasseraufbereitung eine große Sicherheit erforderlich ist. In der Abwasserbehandlung ist, insbesondere aufgrund noch nicht vorhandener gesetzlicher Anforderungen, solch eine Sicherheit bisher nicht erforderlich. Da bei der 2. Betriebsweise die Standzeiten deutlich kürzer sind und

dadurch die Betriebskosten stark ansteigen, wird empfohlen die 1. Betriebsweise zu verfolgen. Es besteht jedoch die Möglichkeit diese Variante zu einem späteren Zeitpunkt um eine 2. Stufe zu erweitern, falls gesetzliche Anforderungen dies notwendig machen sollten.

Der Teilstrom für die Behandlung in der GAK-Anlage wird über eine Leitung vom vorhandenen Auslaufschacht der Flockungsfiltration und einen neu zu errichtendem Abschlagbauwerk mit Pumpenschacht mit 1 + 1 Pumpen zu den GAK-Adsorbern gepumpt. Die GAK-Adsorber können in der bestehenden Halle auf der Südseite der Flockungsfiltration aufgestellt werden.

Der Ablauf erfolgt zum Auslaufbauwerk. Zum Spülen der GAK-Adsorber sind 1 + 1 Spülwasserpumpen mit einer maximalen Spülwassergeschwindigkeit von 25 - 30 m/h und 1 + 1 Spülluftgebläse mit einer maximalen Spülluftgeschwindigkeit von 60 m/h vorgesehen. Im Ablauf der Filter ist eine Spülwasservorlage für die Spülwasserpumpen vorgesehen. Des Weiteren wird zur hydraulischen Vergleichmäßigung des Spülabwassers ein Spülabwassersammelbecken geplant. Von dort fließt das Spülabwasser zum Spülabwasserspeicher der Flockungsfiltration.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden im Weiteren kurz zusammengefasst:

- | | |
|--------------------------------|--------------------------|
| • Verfahrenstechnik GAK-Filter | 1-stufig |
| • 1. Stufe | 4 Reaktoren mit 4,15 m Ø |
| • Filterbetthöhe | 2,00 m |
| • Aufenthaltszeit | 10- 30 min |

Mess-, Steuer-, Regeltechnik

Wie bereits erwähnt ist für den Betrieb in Druckreaktoren mit granulierter Aktivkohle in einer 1-stufigen Ausführung keine „merry-go-round“-Schaltung erforderlich. Eine weitgehende Automatisierung der Betriebs- bzw. evtl. Spülintervalle ist jedoch trotzdem notwendig. Hierfür sind grundsätzlich folgende technischen Einrichtungen zu berücksichtigen:

- Druckmessungen im Zu- und Einlauf der Filter (online)
- Volumenstrom pro Filter (online)
- Start- und Endzeit Filtrationsbetrieb
- Start- und Endzeit Filtrationszyklus bis Spülung

- Spülzeitpunkt und Spülparameter (Art, Dauer, Volumenströme)
- Druck Filterspülphasen

Im Rahmen der weiteren Planung ist auch für den Betrieb eines 1-stufigen Verfahrens zu entscheiden, welcher Leitparameter für die Ermittlung der Eliminationsleistung der Adsorber besonders geeignet ist. Beispielhaft ist an dieser Stelle eine SAK254-Sonde oder eine TOC-Online-Messung aufgeführt.

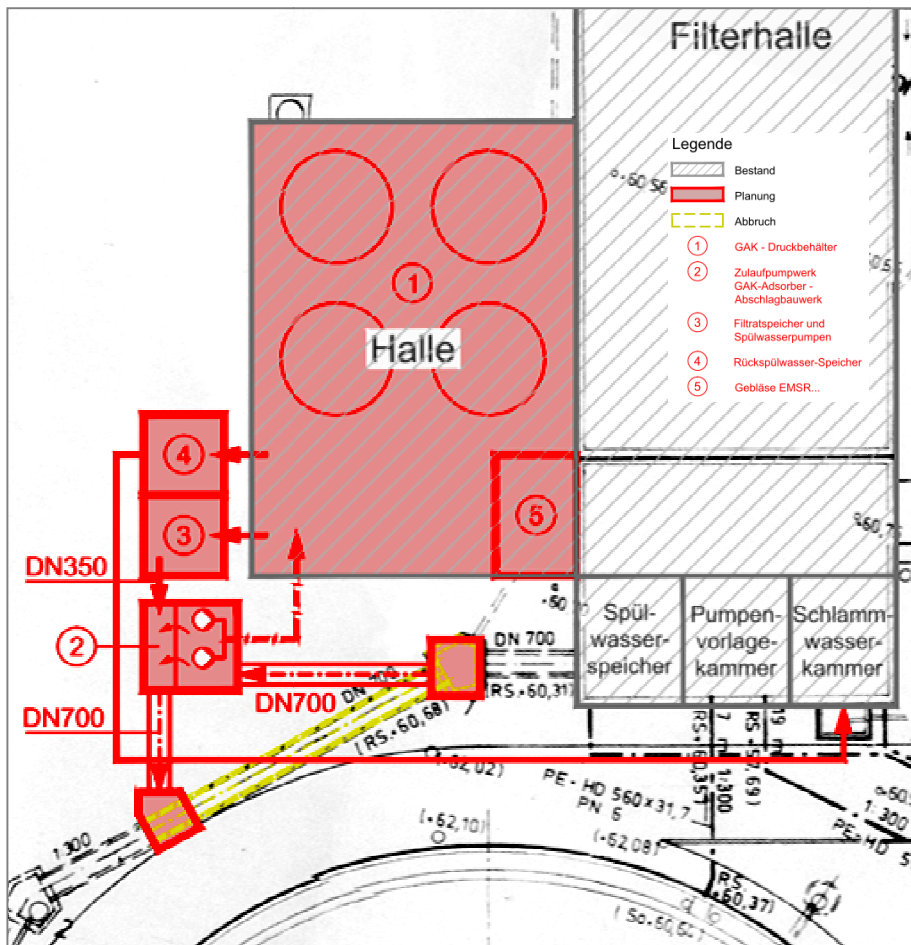


Abbildung 28: Lösungsvariante 2 – GAK – in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig)

Betriebliche Aspekte

Die geplante Verfahrenskonzeption einer 1-stufigen GAK-Filtration weist im Hinblick auf eine weitergehende Entnahme von organischen Mikroschadstoffen deutlich geringere Betriebssicherheiten auf als ein 2-stufiges Verfahren. Es wird jedoch aus Kostengründen empfohlen die Adsorber trotz der 1-Stufigkeit bis zur kompletten Beladung zu betreiben und erst bei vollständigem Durchbruch das

Filtermaterial herauszuholen und durch reaktiviertes Material zu ersetzen. Während des Wechsels des granulierten Aktivkohlematerials fällt der betroffene Filter komplett aus.

Auch bei dieser 1-stufigen Lösungskonzeption dient die vorgeschaltete Flokkulationsfiltrationsanlage einer kontinuierlichen Elimination von Feststoffen und Phosphor, so dass sich hierdurch die nachgeschaltete GAK-Lösung auf das eigentliche Ziel der Spurenstoffelimination bzw. eine weitergehende Stabilisierung der DOC- bzw. CSB-Ablaufwerte konzentrieren kann. So sind optimale Voraussetzungen für einen hohen Reinigungserfolg durch möglichst wenig konkurrierende Beladungsaktivitäten verschiedener Stoffparameter infolge zu hoher Feststoffbelastung gegeben. Außerdem kann die erforderliche Spülung der GAK-Reaktoren voraussichtlich auf ein Minimum beschränkt werden, da sich das biologische Wachstum auf der Aktivkohle deutlich reduziert.

6.3 Lösungsvariante 3: Granulierte Aktivkohle – im vorhandenen Betonfilter (1-stufig)

Die Variante 3 untersucht eine weitergehende Abwasserreinigung durch das Austauschen des bestehenden Filtermaterials gegen granuliert Aktivkohle in einen Teil der vorhandenen Filter. Dies hat den Vorteil, dass durch die Umnutzung bestehender Bauwerke die Investitionskosten dieser Variante gegenüber anderer Varianten deutlich geringer sind. Zudem entsteht kein zusätzlicher Flächenbedarf für die Errichtung neuer Bauwerke.

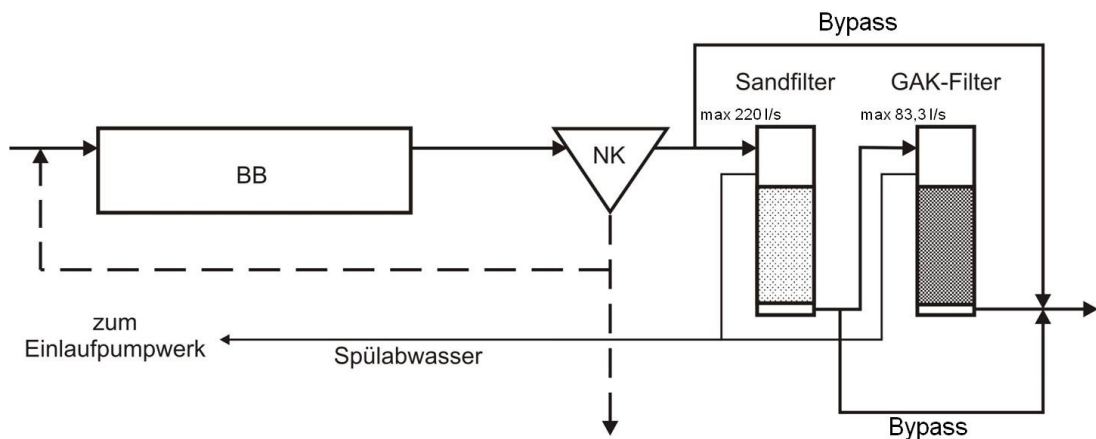


Abbildung 29: Schema Lösungsvariante 3 – GAK –im vorhandenen Betonfilter (1-stufig)

Auch hier ist ein 1-stufiges Lösungskonzept vorgesehen (siehe Abbildung 29). Zur Umsetzung dieser Variante ist ein umfassender Umbau der vorhandenen Filtration notwendig.

In Variante 3 ist es vorgesehen, dass das Abwasser zunächst 8 Filterzellen der Flockungsfiltration durchfließt, damit eine möglichst weitgehende Elimination von Feststoffen in der Flockungsfiltration eine hohe Reinigungsleistung der anschließend durchströmten GAK-Filter sicherstellen kann. Zudem dienen die ersten Filterzellen der Phosphorelimination.

Die maximale Filtergeschwindigkeit für die 8 Filterzellen zur Flockungsfiltration beträgt bei maximalem Zufluss etwa 27,1 m/h und liegt somit über der empfohlenen maximalen Filtergeschwindigkeit von 15 m/h (ATV-A 203). Unter Berücksichtigung eines in Spülung befindlichen Filters liegt die Filtergeschwindigkeit noch höher bei 30 m/h.

Der bei Verwendung von nur 8 Filtern kann der maximale Zulauf zu den Filtern unter Einhaltung der empfohlenen maximalen Filtergeschwindigkeit von ca. 15 m/h 220 l/s betragen. Das restliche Abwasser muss über einen Bypass direkt in einen neu zu errichtenden Auslaufschacht fließen.

Trotz dieser Umleitung eines Teilstromes an der Flockungsfiltration vorbei, ist es bei Mischwasserabfluss (bis 342 l/s) möglich den maßgeblichen Überwachungswert von 0,8 mg P_{ges}/l (laut Erlaubnisbescheid vom 26.03.2010) im Ablauf der Kläranlage Harsewinkel einzuhalten (Berechnung siehe Anlage 3.1 Klärtechnische Bemessung).

Vor einer weitergehenden Planung sollte im Vorfeld geklärt werden, ob Variante 3 genehmigungsfähig ist, da hierbei die Leistungsfähigkeit der bestehenden Filteranlage hinsichtlich der P-Elimination reduziert wird.

Neben der Einhaltung des P_{ges} -Überwachungswertes beeinflusst diese Maßnahme ebenfalls die Ablaufkonzentrationen hinsichtlich CSB und AFS. Hierfür wurden die vorhandenen Daten hinsichtlich der CSB- und AFS-Konzentration im Ablauf der Nachklärung bzw. im Zulauf zur Flockungsfiltration sowie im Ablauf der Flockungsfiltration ausgewertet.

Die AFS-Konzentration zur Flockungsfiltration steigt mit der hydraulischen Belastung der Nachklärbecken. Bei Mischwasserabfluss ($Q > 105,3,1$ l/s) steigt die AFS-Konzentration im Auslauf des Nachklärbeckens als auch im Ablauf der Flockungsfiltration an. Hierbei ergeben Mischwasserzulauf zur Flockungsfiltration AFS-Konzentrationen im Zulauf der Filtration von < 18 mg/l im Ablauf der Flockungsfiltration von maximal 4 mg/l (Abbildung 30).

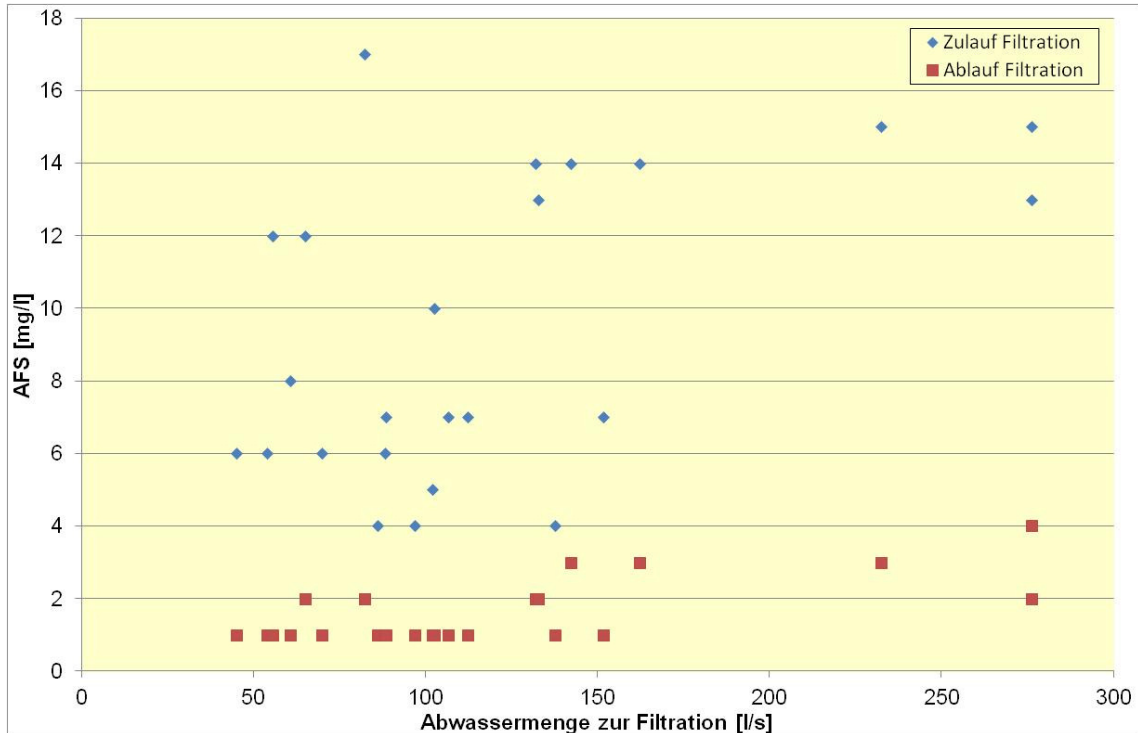


Abbildung 30: AFS-Konzentration im Zulauf und Ablauf der Filtration

Würden nun Filterzuläufe von > 220 l/s über den Bypass direkt abgeschlagen, würde dies die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen im Auslauf der Kläranlage Harsewinkel beeinflussen.

Unter der Annahme, dass die AFS-Konzentration im Ablauf der Nachklärung bei maximalem Mischwasserzulauf (und gleichzeitiger Filterspülung: 428 l/s) 36 mg/l beträgt und sich die Konzentration an AFS im Ablauf der verbleibenden 8 Filter zu 4 mg/l ergibt, ergibt sich rechnerisch eine AFS-Konzentration von unter 20 mg/l im Ablauf der Kläranlage Harsewinkel.

Desweiteren konnte anhand dieser Daten die Leistungsfähigkeit der Nachklärung besser beurteilt werden. Betrieblich konnte anhand dieser Daten, entgegen der Aussage von Herr Roderfeld vom 26.04.2012 bzw. 30.04.2012 auch bei Mischwasserabfluss kein Schlammabtrieb festgestellt werden.

Um diesen Sachverhalt jedoch genauer beurteilen zu können, wäre eine Simulation des Strömungsverhaltens im Nachklärbecken nötig. Anhand der Ergebnisse dieser Simulation kann eine Aussage über einen möglichen Schlammabtrieb aus dem Nachklärbecken bei großen Mischwasserzuflüssen gegeben werden.

Die CSB-Konzentrationen sind ab beginnendem Mischwasserabfluss (105,3 l/s) annähernd konstant, dies gilt sowohl für den Zulauf als auch für den Ablauf der Flockungsfiltration (Abbildung 31).

Das heißt, dass bei maximalen Mischwasserzufluss (428 l/s, eine Filter wird gespült) und einem Abschlag 208 l/s direkt in den Ablauf der Filtration ergibt sich eine maximale CSB-Konzentration im Ablauf der Kläranlage Harsewinkel von < 40 mg/l.

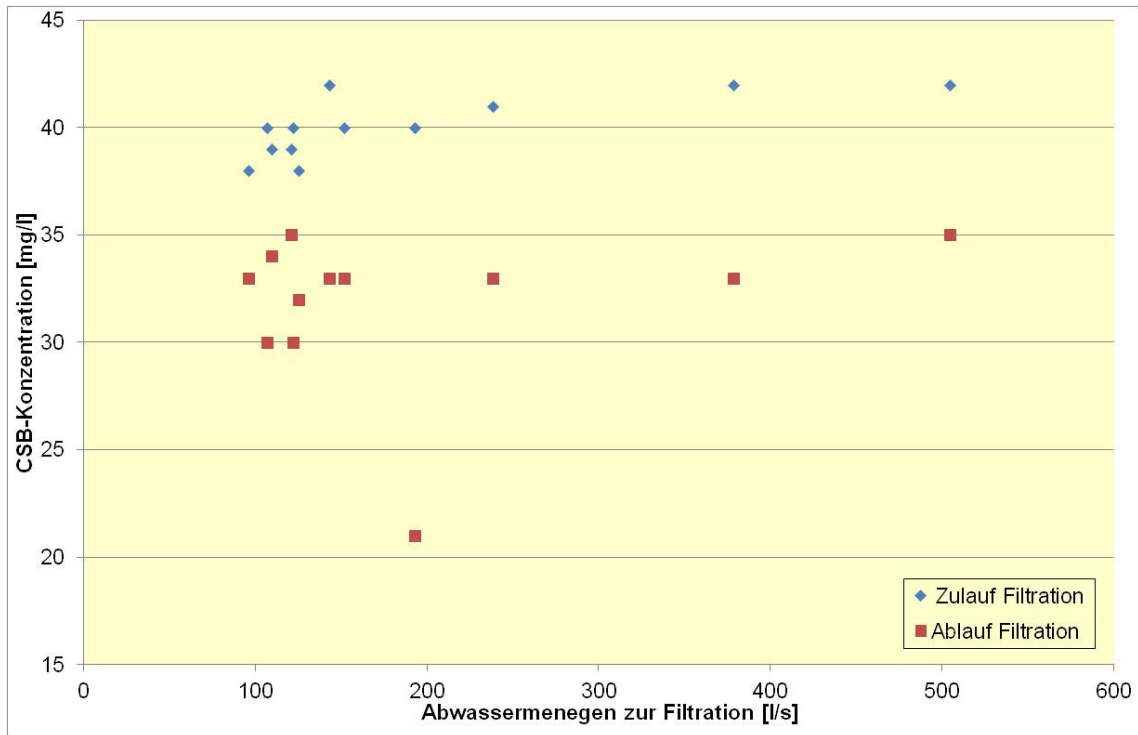


Abbildung 31: CSB-Konzentration im Zu- und Ablauf der Filtration

Der Ablauf der Flockungsfiltration fließt über eine Überfallkante vom Filtrat-/Spülwasserspeicher in einen direkt westlich der Filterhalle anschließenden neu zu bauenden Auslaufschacht in den neben dem Filtrat der Flockungsfiltration, der über den Bypass fließende Teilstrom als auch der Ablauf der GAK-Filter eigeleitet wird.

Aus dem Filtrat-/Spülwasserspeicher der Filtrationsanlage wird mittels 2+1 trocken aufgestellter Pumpen ein Teilstrom von maximal 83,3 l/s in das bestehende, hydraulisch entkoppelte Zulaufgerinne gefördert (siehe Abbildung 32). Die 6 Filter auf der nördlichen Seite werden mit granulierter Aktivkohle mit einer Höhe von 1,95 m befüllt. Dadurch bleibt noch ausreichend Platz für eine Filterbettausdehnung bei Rückspülung, die nach den ersten Betriebsergebnissen der Kläranlage Gütersloh Obere Lutter ca. 15% betragen sollte.

Die mittlere Filtergeschwindigkeit wurde mit 5,1 m/h angesetzt. Bei maximalem Zulauf von 83,3 l/s beträgt die Filtergeschwindigkeit unter Berücksichtigung eines in Spülung befindlichen Filters knapp 8,5 m/h. Es wird eine Kontaktzeit von < 16,6 Minuten erreicht.

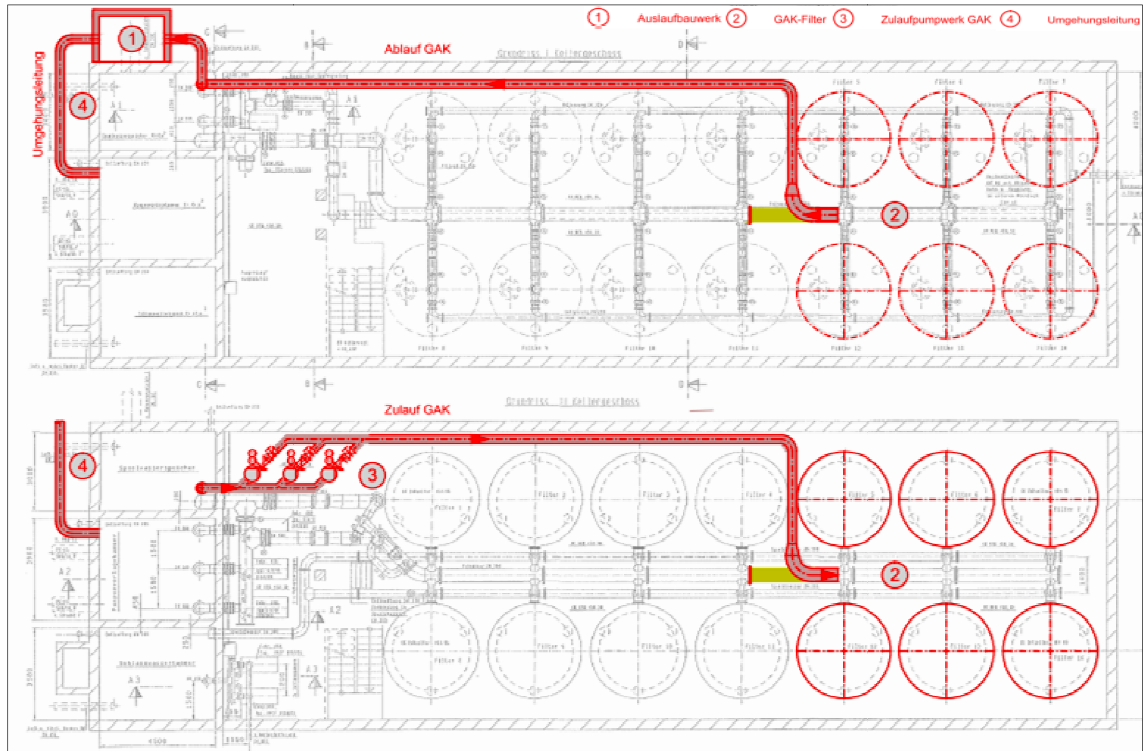


Abbildung 32: Lösungsvariante 3 – GAK im vorhandenen Filter

Die bestehende Zulauf- und Ablaufleitung der Flockungsfiltration wird nach den ersten 8 Filtern getrennt, wodurch 2 separate Zulauf- und Ablaufleitungen entstehen.

Hierdurch muss lediglich eine neue Zulaufleitung vom Filtrat/Spülwasserspeicher der Flockungsfiltration zur bestehenden, von der restlichen Flockungsfiltration abgetrennten Zulaufleitung zu den GAK-Filtern (hintere 6 Filter) gebaut werden.

Die GAK-Filter werden abwärts durchströmt. Der Ablauf erfolgt ebenfalls über die vorhandenen Ablaufleitungen der einzelnen Filter. Die Ablaufsammelleitung wird hinter dem ersten 8 Filtern abgetrennt, so dass der Ablauf der ersten 8 Filter, die als Sandfilter zur Flockungsfiltration betrieben werden, weiterhin zum vorhandenen Filtrat/Spülwasserspeicher erfolgt, während der Ablauf der GAK-Filter zum neuen Auslaufschacht fließt.

Die Spülung der GAK-Filter erfolgt über das bestehende Spülwassersystem der Flockungsfiltrationsanlage. Hierfür werden die existierenden Spülwasserpumpen als auch das vorhandene Rohrleitungssystem verwendet. Nach den Ergebnissen des Forschungsprojektes Obere Lutter ist eine Spülwassergeschwindigkeit von 25 – 30 m/h erforderlich um eine Filterbettexpansion von etwa 15 % zu erzielen. Dies ist jedoch von der gewählten granulierten Aktivkohle abhängig und sollte im weiteren Verlauf der Planung durch Versuche ermittelt werden. Des Weiteren werden die GAK-Filter mit Luft mit einer Geschwindigkeit von etwa 60 m/h ge-

spült. Dafür wird das bestehende Gebläse mit einem Frequenzumrichter ausgestattet, wodurch das bestehende Gebläse auch zur Spülung der GAK-Filter eingesetzt werden kann. Die bestehenden Luftleitungen werden weiter verwendet.

Das Rückspülabwasser der GAK-Filter wird in dem bestehenden Rückspülabwassersammelbecken der Flockungsfiltration gesammelt und von dort in das bestehende Verteilerbauwerk verpumpt. Der Ablauf der GAK-Filter erfolgt über neue Leitung zum neuen Auslaufbauwerk.

Laut Aussagen von Herr Roderfeld (11.05.2012) werden die Filter aktuell hydraulisch nicht gleichmäßig beaufschlagt. Daher sollten im Zuge einer Umnutzung eines Teiles der Filtrationsanlage, die verbleibenden 8 Filter der Flockungsfiltration mess- und regeltechnisch neu ausgestattet werden. Hierbei werden zusätzliche Investitionskosten von ca. 10.000 € (netto) pro Filter entstehen, die bei der Kostenschätzung für Variante 3 berücksichtigt wurden.

Zusammengefasst lassen sich die wesentlichen Bemessungsergebnisse der klärtechnischen Berechnung des GAK-Filters wie folgt darstellen:

- Verfahrenstechnik GAK-Filter 1-stufig
- Filterdimensionen 6 Filter mit je 7,1 m²
- Festbetthöhe 1,95 m
- Aufenthaltszeit < 16,6 min

Für die Verwendung einer geeigneten granulierten Aktivkohle wird nachfolgend ein Vorschlag aufgeführt, der im Rahmen der weiteren Planung überprüft und durch labortechnische Untersuchungen bestätigt werden sollte.

Beispielhaft wird folgendes vorgesehen:

- Granulierte Aktivkohle z. B. AquaSorb
- Material untere Stützsichten Kornfraktion 4 – 16 mm, Höhe 20 cm
- Material zweite Schicht Kornfraktion 0,5 – 2,4 mm, Höhe 2,3 m
- Dichte 300 kg/m³

Steuer- und Regeltechnik

Für den Betrieb der GAK-Filter und insbesondere der Filterspülung, ist die grundsätzliche Erfassung von Online-Daten notwendig. Beispielhaft sind nachfolgend verschiedene Betriebsparameter aufgeführt:

- Druck im Zu- und Einlauf Filter (online)
- Volumenstrom Filterzelle (online)
- Start- und Endzeit Filtrationsbetrieb
- Start- und Endzeit Filtrationszyklus bis Spülung
- Druck Filterspülphasen (online)
- Spülzeit Pumpenspülung Parameter (Art, Luft/Wasser, Dauer, Volumenstrom)
- Konzentrationsmessung entlang der Filtervertikalen

Betriebliche Aspekte

Ein abgestufter Filterschichtaufbau mit granulierter Aktivkohle ist beim Rückspülen erforderlich bzw. um ein Verstopfen der Filterdüsen zu vermeiden. Abhängig von der CSB- bzw. DOC-Zulaufkonzentration im Filterbetrieb wird die Beladung der Aktivkohle im laufenden Betrieb anwachsen und die Standzeit limitieren. Hierbei wird von entscheidender Bedeutung sein, welche Ziele der Spurenstoffelimination bei einem Betrieb des GAK-Filters gewählt werden bzw. für welche Parameter welche Reinigungsleistung angestrebt wird.

6.4 Lösungsvariante 4: Ozonung

Bei der Variante 4 ist eine Ozonung des Ablaufs der Nachklärbecken vorgesehen. Die neuen Ozonungsreaktoren sollen in Hochlage westlich der bestehenden Flockungsfiltrationsanlage errichtet werden. Der Ablauf der Nachklärung wird, wie bisher auch, dem Zulaufpumpensumpf der Flockungsfiltration zugeleitet. Die dort befindlichen Beschickungspumpen der Flockungsfiltration werden neu verrohrt und mit der Ozonungsanlage verbunden.

Das Abwasser wird nicht direkt zur Flockungsfiltration gepumpt, sondern wird zuerst komplett zur Ozonungsanlage gepumpt. Die Möglichkeit die Flockungsfiltration direkt zu beschicken wird weiterhin beibehalten.

Die Auslegungswassermenge zur Bemessung der Ozonanlage wird analog zu den anderen Varianten mit 83,3 l/s gewählt. Abweichend davon wird die Anlage derart ausgestaltet, dass der Gesamtzulauf der Flockungsfiltrationsanlage durch die Ozonanlage geleitet wird. Bei Wassermengen, die die Bemessungswassermengen überschreiten, bedingt dies, dass die Ozonung mit niedrigeren Ozondosierungen und kürzere Reaktionszeiten verläuft, dennoch wird eine Behandlung des Gesamtabwasserstroms möglich. Im Anschluss an das Durchfließen der Ozonungsreaktoren wird das Abwasser dann zunächst über eine Rohrleitung dem Zulaufgerinne der Flockungsfiltration zugeleitet, die dann, wie bisher auch, durchflossen wird.

Die Auslegung der Ozonerzeugung erfolgt auf eine maximale Dosierung von 10 mg/l bei der Bemessungswassermenge von 83,3 l/s. Hieraus ergibt sich eine benötigte, maximale Dosiermenge von 3 kg/h. Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einer mittleren Dosiermenge von 5 mg O₃/l bei einem mittleren Abwasserzulauf zur Ozonanlage von 60 l/s ausgegangen. Hiermit ergibt sich eine mittlere Ozondosierung von 1,08 kg/h.

Die Ozonerzeugung nach dem Prinzip der stillen, elektrischen Entladung benötigt zur Herstellung von 1 kg Ozon ca. die 10-fache Menge Sauerstoff. Somit werden im Maximum ca. 30 kg/h Sauerstoff benötigt. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt sich die durchschnittlich benötigte Sauerstoffmenge zu 10,8 kg/h. Der Ozonerzeuger sowie der Tank für den Flüssigsauerstoff inklusive des zugehörigen Verdampfers wird auf der Grünfläche westlich der Halle analog zu Variante 1 und 2 aufgestellt. Der Ozonerzeuger wird in einem Fertigcontainer aufgestellt. Die Fläche rund um den Flüssigsauerstofftank muss entsprechend befestigt werden.

Für den Ozoneintrag kommen prinzipiell 2 Verfahrensweisen in Frage. Zum einen ist das ein Eintrag des ozonhaltigen Gases über Diffusoren direkt in den

Ozonreaktor. Alternativ dazu kann ein Teilstrom aus dem Reaktor mit einer Pumpe abgezogen werden, der über einen Mischinjektor das ozonreiche Luftozongemisch ansaugt und anschließend in den Ozonreaktor eingetragen wird. Nach neuesten Erkenntnissen liefern beide Systeme bei einem vergleichbaren Energieverbrauch vergleichbare Eliminationsraten (HERBST ET AL. 2011). Für die Ausführung auf der Kläranlage Harsewinkel wird ein Ozoneintrag über ein Injektorsystem vorgesehen.

Gewählt wird eine Aufenthaltszeit im Ozonungsreaktor von insgesamt 20 Minuten. Dabei wird das letzte Viertel der Ozonungsreaktoren jedoch durch eine Leitwand vom Rest des Reaktors getrennt und als Ausgasungszone definiert, sodass eine Aufenthaltszeit im Reaktor von 15 Minuten verbleibt. Der Ozonungsreaktor wird 2-straßig ausgeführt. Die lichten Abmessungen einer Straße inklusive Ausgasungszone betragen $4,7 \times 2,4 \times 4,5$ m. Der Ablauf der Ozonungsreaktoren läuft dem Zulaufgerinne der Flockungsfiltration im Freigefälle zu. Strömungstechnische Untersuchungen in anderen Vorhaben haben gezeigt, dass die Ausführung des Ozonreaktors als Schlaufenreaktor nicht erforderlich ist (HERBST ET AL. 2011). Auf entsprechende Einbauten wird aus diesem Grund verzichtet. Das Gesamtvolumen der beiden Reaktorstraßen inklusive Ausgasungszonen ergibt sich zu 100 m^3 , von denen $\frac{3}{4}$ als Reaktionsraum und $\frac{1}{4}$ als Ausgasungszone genutzt wird.

Für eine optimale Regelung des Ozoneintrags erfolgen im Zulauf der Anlage die Messung der Wassermenge und DOC-Konzentration online. Um eine Überdosierung zu vermeiden und eine Bilanzierung des Ozoneintrags vornehmen zu können, werden zudem die Ozonkonzentration im Gasstrom nach dem Ozonerzeuger in der Abluft der Reaktionsbehälter und in der Wasserphase im Ablauf des Ausgasungsbehälters gemessen. Die Abluft aus der Injektorstraße wird gezielt über einen Restozonvernichter behandelt, um eventuelle Restkonzentrationen vor Austritt in die Atmosphäre sicher zu eliminieren. Aus Gründen der Arbeitssicherheit werden im Raum zur Aufstellung des Ozonerzeugers die Ozon- und Sauerstoffkonzentrationen in der Raumluft gemessen. Bei Bedarf erfolgt eine optisch akustische Warnung bzw. eine Abschaltung der Anlagen.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden nachfolgend kurz zusammengefasst:

- | | |
|--|--|
| • Aufenthaltszeit im Reaktionsbehälter
(inkl. Ausgasungszone) | 15 + 5 = 20 Min. |
| • Ozondosierung bezogen auf Q_{Bem} | 2 bis 10 $\text{mg}_{\text{O}_3}/\text{l}$ |
| • Sauerstoffbedarf | 10 $\text{g}_{\text{O}_2}/\text{g}_{\text{O}_3}$ |

Aufgrund der o. g. Problematik der Transformationsprodukte, wird die Ozonierung dem Filter vorgeschaltet. Wie oben dargestellt, können durch eine biologische Aktivität im Filter die möglicherweise negativen Auswirkungen einer Ozonierung wieder ausgeglichen werden (ABEGGLEN ET AL. 2010). Daher ist die Verfahrenskombination von Ozonierung und nachfolgender Filtration auch für den Einsatz auf der Kläranlage Harsewinkel geeignet und hinsichtlich ihrer ökotoxikologischen Auswirkung als gleichwertig mit einer Adsorptionsstufe zu beurteilen. Durch die nachfolgende Sandfiltration, in der aufgrund des noch im Abwasser enthaltenen Sauerstoffs auch biologische Abbauprozesse ablaufen, werden zudem während der Oxidation entstehende biologisch abbaubare Verbindungen abgebaut.

7 KOSTENSCHÄTZUNG

Es wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der 4 zu untersuchenden Varianten für die Spurenstoffelimination durchgeführt. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten ermittelt und daraus die Jahreskosten errechnet. Für Variante 3 wurden die Investitionskosten für den Fall berechnet, dass die GAK-Adsorber im Freien installiert werden. Bei der Kostenschätzung der einzelnen Varianten wurden die Kosten für Ingenieurleistungen nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Die Kostenschätzung ist in Anlage 4 beigefügt.

7.1 Spurenstoffelimination

7.1.1 Investitionskosten

Basierend auf den klärtechnischen Berechnungen (siehe Anlage 3) und den Lageplanskizzen wurden die Investitionskosten für die verschiedenen Lösungsvarianten geschätzt. Hierbei wurden Kosten für Bau-, Maschinen- sowie EMSR-Technik unterschieden. Die Kosten wurden anhand spezifischer Preise, basierend auf aktuellen Submissionsergebnissen sowie aktuellen Einheitspreisen ermittelt. Die Ergebnisse der Investitionskostenschätzung sind in Tabelle 2 unten zusammengefasst. Hierbei wurde die Investitionskosten für Variante 2: "Nachgeschaltete Druckkessel" ohne Bau einer Halle berechnet.

Tabelle 2: Investitionskosten in € der Varianten 1 bis 4

Pos.		Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
1	Bau	693.660,00 €	512.344,00 €	200.760,00 €	255.475,00 €
2	Maschinenteknik	452.835,00 €	202.460,00 €	250.160,00 €	378.800,00 €
3	EMSR-Technik	289.000,00 €	313.000,00 €	274.000,00 €	211.800,00 €
	Investkosten netto	1.435.495,00 €	1.027.804,00 €	724.920,00 €	846.075,00 €
	+ 19 % MwSt.	<u>272.744,05 €</u>	<u>195.282,76 €</u>	<u>137.734,80 €</u>	<u>160.754,25 €</u>
	Investkosten brutto	1.708.239,05 €	1.223.086,76 €	862.654,80 €	1.006.829,25 €
	Prozente	198%	142%	100%	117%

Die Investitionskosten für Variante 3 – GAK im vorhandenen Filter sind mit etwa 863.000 € brutto die niedrigsten, gefolgt von Variante 4 – Ozonanlage mit ca. 1 Mio. €. Die Kosten für die Variante 1 liegen mit ca. 1,71 Mio. € brutto deutlich höher. Die Investitionskosten der Variante 2 in der vorhandenen Halle ergeben sich

zu ca. 1,22 Mio. € brutto (die Investitionskosten mit einem Hallenneubau ergeben sich zu ca. 1,46 Mio. € brutto. (Siehe Anlage 1)).

7.1.2 Betriebskosten

Um eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung durchzuführen, werden Jahreskosten berechnet. Hierbei sind die Betriebskosten der verschiedenen Konzepte von besonderer Bedeutung.

Nachfolgende Randbedingungen wurden bei der Ermittlung der Betriebskosten zugrunde gelegt.

- Energiekosten 0,1737 €/kWh (brutto) = 0,1459 €/kWh (netto)
- Facharbeiter 40.000 €/a
- Wartung/Versicherung 1 bzw. 2,5 % Investitionskosten

Für die Berechnung der Betriebskosten wurden die Kosten für Personal, Energie, Chemikalien, Schlammverbrennung sowie Wartung und Versicherungen ermittelt. Einsparungen in der Abwasserabgabe wurden bisher nicht berücksichtigt.

In die Ermittlung des Energiebedarfs wurden der Energiebedarf für Pumpen, Gebläse, Räumler, Rührwerke sowie die Ozonerzeugung eingerechnet. Die Kosten für Chemikalien beinhalten im Wesentlichen die Kosten für die Aktivkohle und Sauerstoff.

Als spezifischer Preis für die Pulveraktivkohle wurden 1.400 €/t angesetzt. Für die granulierten Aktivkohle wurde mit 1.260 €/t gerechnet. Dies entspricht dem Preis für reaktivierte granulierten Aktivkohle. Die Kosten für neue granulierten Aktivkohle liegen mit einem Preis von ca. 1.300 bis 1.700 €/kg über dem Preis für regenerierte Aktivkohle. Bei der Berechnung der Investitionskosten wurden für die erste Füllung der granulierten Aktivkohlefilter die Kosten für neue Aktivkohle angesetzt. Die erforderlichen Mengen der PAK bzw. GAK wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt. Zur Betriebskostenberechnung wurden die mittleren Dosierraten bzw. mittleren Standzeiten der Aktivkohlefilter angesetzt.

In Variante 1 werden zusätzlich Flockungshilfsmittel sowie Fällmittel benötigt. Die Kosten für die Flockungshilfsmittel sind mit 1.300 €/t angesetzt. Die jährlichen Kosten für Flockungshilfsmittel liegen jedoch weit unter den Kosten für die Aktivkohle und fallen kaum ins Gewicht. Die Kosten für Fällmittel sind in der Betriebskostenberechnung nicht angesetzt, da sich durch die Fällmitteldosierung die notwendige Dosierung in der Simultan- bzw. Nachfällung reduziert.

Für Variante 1 wurden die zusätzlichen Kosten für Schlammverbrennung bzw. -entsorgung durch die zusätzliche Schlammmenge durch die Pulveraktivkohle ermittelt. Der spezifische Preis wurde mit 50 €/t berücksichtigt. Desweiteren ist es bei dem Einsatz von Pulveraktivkohle bei gemeinsamer Abtrennung der Kohle zusammen mit dem Primär- oder Überschussschlamm nicht mehr möglich, den entwässerten Schlamm in der Landwirtschaft zu entsorgen. Der gesamte Schlamm muss der Verbrennung zugeführt werden. Die Mehrkosten für diesen Entsorgungsweg sind auch unter dem Punkt Schlamm Entsorgung berücksichtigt.

Bei Variante 4 – Ozonanlage wurden Kosten in Höhe von 0,2 €/kg Sauerstoff angesetzt. Dies beinhaltet den Sauerstoff sowie die Tankmiete. Die erforderlichen Sauerstoffmengen wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt.

In Tabelle 3 sind die Betriebskosten für die unterschiedlichen Varianten zusammengefasst.

Tabelle 3: Betriebskosten in €/a der Varianten 1 bis 4

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
1	Personal	10.000,00 €/a	10.000,00 €/a	10.000,00 €/a	7.500,00 €/a
2	Energie	15.618,29 €/a	13.457,68 €/a	13.050,5 €/a	38.731,44 €/a
3	Chemikalien	27.791,67 €/a	54.495,14 €/a	51.289,54 €/a	18.921,6 €/a
4	Schlamm Entsorgung	11.324,46 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
5	Wartung/ Versicherungen	25.482,48 €/a	18.009,94 €/a	15.111,6 €/a	17.319,75 €/a
6	Abwasserabgabe	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
	Betriebskosten netto	90.216,89 €/a	95.962,76 €/a	89.451,65 €/a	82.472,79 €/a
	+ 19 % MwSt.	<u>17.141,21 €/a</u>	<u>18.232,92 €/a</u>	<u>16.995,81 €/a</u>	<u>15.669,83 €/a</u>
	Betriebskosten brutto	107.358,1 €/a	114.195,69 €/a	106.447,46 €/a	98.142,62 €/a
	Prozente	109%	116%	108%	100%

Die Betriebskosten der Variante 4 sind mit ca. 98.100 €/a brutto am niedrigsten. Die Betriebskosten der Variante 3 liegen ca. 8 % über diesen Kosten, bei etwa 106.400 €/a brutto, gefolgt von den Varianten 1 und Variante 2 mit Betriebskos-

ten in Höhe von etwa 107.400 €/a brutto (9 % höher) bzw. 114.200 €/a brutto (16 % höher).

Die Betriebskosten setzen sich im Wesentlichen aus Energiekosten und Kosten für Chemikalien zusammen. Während bei den Aktivkohlevarianten (Varianten 1, 2 und 3) die höchsten Kosten bei den Chemikalien (Aktivkohle) auftreten, sind bei Variante 4 (Ozonanlage) die Energiekosten für die Ozonerzeugung der wesentliche Kostenfaktor. Der Verbrauch an Pulveraktivkohle (Variante 1) liegt deutlich unter dem der beiden GAK-Varianten (2 und 3).

7.1.3 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden unter Berücksichtigung der nachfolgenden Randbedingungen ermittelt.

- Betrachtungszeitraum 40 Jahre,
- Nutzungsdauer Bau 40 Jahre,
- Nutzungsdauer Maschinenteknik 20 Jahre,
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 10 Jahre,
- Kalkulatorischer Zinssatz 5 %.

Die Jahreskosten sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Jahreskosten in €/a der Varianten 1 bis 4

	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absatzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
Jahreskosten (netto)	204.406 €/a	182.602 €/a	156.709 €/a	155.186 €/a
+ 19 % MwSt.	38.837 €/a	34.694 €/a	29.775 €/a	29.485 €/a
Jahreskosten (brutto)	243.243 €/a	217.296 €/a	186.484 €/a	184.672 €/a
Prozente	132%	118%	101%	100%

Anhand der Jahreskostenberechnung wird deutlich, dass die Variante 1 mit Abstand die teuerste Variante ist (ca. 243.200 €/a brutto). Gefolgt von Variante 2 mit ca. 217.300 €/a brutto (ca. 14.000 €/a höhere brutto Jahreskosten, wenn Variante 2 mit einem Hallenneubau erfolgt). Die günstigste Variante ist Variante 4 mit brutto Jahreskosten von ca. 184.700 €/a, gefolgt von Variante 3 mit ca. 186.500 €/a.

7.1.4 Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse der Jahreskostenbetrachtung gemäß LAWA zeigen nach Untersuchung der verschiedenen Lösungskonzepte große Unterschiede in den Kosten. Es ist zu erkennen, welche Parameter von ausschlaggebender Bedeutung für die Investitionskosten, Betriebskosten und auch die Gesamtkosten sind. Hierzu sind u. a. folgende Aspekte weitergehend zu betrachten bzw. zu analysieren:

- Energiekosten bzw. der spez. Preis von 18 Cent/kWh (brutto)
- Materialkosten der Pulveraktivkohle (€/t) bzw. der granulierten Aktivkohle (€/t) sowie des Sauerstoffs
- Analyse bzw. Prognose der Entwicklung der zukünftigen spezifischen Materialpreise
- Erforderliche Dosierrate der Pulveraktivkohle
- Standzeiten der GAK-Filter
- Erforderliche Dosierrate des Ozons

Bei Betrachtung der Energiekostensituation lässt sich konstatieren, dass sich die Jahreskosten im Hinblick auf höhere Energiekosten von z.B. 16 oder 18 Cent/kWh (netto) statt 14,59 (netto) Cent/kWh nur unwesentlich ändern (Variante 1 – 3 zwischen 3.000 – 3.600). Lediglich Variante 3 (Ozonung), die sehr energieintensiv ist, verteuert sich bei höheren Energiekosten um ca. 9.000 €/a bei Energiepreisen von 18 Cent/kWh. Der Anteil der Energiekosten an den Jahreskosten beträgt für diese Variante ca. 25 %. Bei den anderen Varianten liegt er bei 6,9 – 8,3 %.

Eine hydraulische Energieoptimierung im Hinblick auf die planerischen Belange bzw. das berechnete Betreiberinteresse ist unabhängig von der Sensitivitätsbetrachtung im Rahmen der weiteren Detailplanung anzustreben.

Des Weiteren sind die Kosten für Chemikalien, insbesondere Aktivkohle und Sauerstoff für alle Lösungskonzepte von besonderer Bedeutung. Betrachtet man die anteiligen chemikalien-spezifischen Betriebskosten, die 12,2 – 32,7 % ausmachen, wird die enorme Bedeutung und damit die besondere Abhängigkeit der Jahreskosten unter diesem Aspekt deutlich.

Den bisherigen Ansätzen liegen Richtpreisangebote und aktuelle Submissionsergebnisse von anderen Projekten, z.B. auf der Kläranlage Mannheim (PAK) und der Kläranlage Obere Lutter (GAK) zugrunde. Der Aktivkohlepreis für die granuliert Kohle wurde in Höhe von 1.650 €/t realistisch angesetzt. Auf dem Markt

gibt es sowohl teurere als auch deutlich günstigere Ergebnisse. Vor diesem Hintergrund liegen, z. B. bei einem Ansatz von 1.850 €/t, d. h. einem um 11,2 % teureren spezifischen Materialpreis für die granulierten Aktivkohle, die Investitionskosten für die GAK-Varianten zwischen 0,6 % und 0,8 % höher, bei einem Ansatz von 1.350 €/t um 1,5 % bis 1,7 % günstiger. Ein geänderter Preis der reaktivierten granulierten Aktivkohle, z.B. eine Erhöhung von 1.260 €/t auf 1.450 €/t, hätte deutliche Auswirkungen auf die Betriebskosten, welche sich dadurch um ca. 8,6 % erhöhen würden. Bei den Jahreskosten hätte dies eine Steigerung um 4 % bis 5 % zur Folge. Ebenso hätte ein geringerer Preis den umgekehrten Effekt.

Für die Bestimmung der mittleren Betriebskosten für Variante 1 wird von einer Dosierate von 5 bis 20 mg PAK/l bei einer durchschnittlichen Dosierate von 10 mg/l ausgegangen. Die erforderliche Dosierate hängt jedoch von den Eliminationszielen der unterschiedlichen Parameter ab. Sollte sich z.B. für die Variante 1 eine Erhöhung der mittleren Dosierate von 10 mg/l auf 15 mg/l ergeben, so wäre hiermit eine Steigerung der Betriebskosten um 15,7 % zu verzeichnen. Bei den Jahreskosten würde der Unterschied ca. 6,9 % betragen.

Für die mittleren Betriebskosten Ozonung wird in Variante 3 eine mittlere Dosierate von 5 mgO₃/l angesetzt. Wie bei der Zugabe von Pulveraktivkohle hängt die erforderliche Dosierate von der erwünschten Reinigungsleistung ab. Sollte sich eine Erhöhung der mittleren Dosierate von 5 mg/l auf 8 mg/l ergeben, so wäre hiermit eine Steigerung der Betriebskosten um 13,8 % zu verzeichnen. Bei den Jahreskosten würde der Unterschied ca. 7,3 % betragen. Bei einer Reduzierung der Dosierate auf 3,5 mg/l würden sich die Betriebskosten um ca. 6,9 % und die Jahreskosten um 3,7 % verringern.

Von entscheidender Bedeutung für die Gesamtbetrachtung ist neben dem spezifischen Materialpreis die Standzeit der GAK-Reaktoren. Gemäß der klärtechnischen Berechnung in Anlage 3 wird derzeit für die GAK-Varianten von einer Standzeit von 7,3 – 9 Monaten ausgegangen. Die Standzeit ist wesentlich davon abhängig, welche Stoffe zu welchem Grad eliminiert werden sollen. Bei einer Verlängerung der Standzeit z.B. auf ca. 12 Monate würden sich die Betriebskosten um 15 – 23,8 % und die Jahreskosten um 8,2 – 14 % reduzieren.

Vor dem Hintergrund des noch nicht klar definierten Reinigungszieles bzw. der noch fehlenden Antwort auf die Frage, auf welche Leitparameter sich eine weitergehende Spurenstoffelimination zu beziehen hat, kann eine Bewertung sich ändernder Standzeiten nur schwer vorgenommen. Von daher ist im Rahmen der weiteren Planung zu definieren, welche Variante grundsätzlich verfolgt werden soll und welche enthaltenen Kostenrisiken durch weitergehende Untersuchungen

wie z. B. einen großtechnischen Versuch zu einer Kostensicherheit beitragen können.

7.2 Diskussion

Die gesamte Kostendiskussion wurde, wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, für eine Teilstrommenge von 83,3 l/s erarbeitet. Für den Fall, dass in der gemeinsamen Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden eine größere Wassermenge festgelegt wird, ist eine Anpassung der Kosten vorzunehmen. Zum Beispiel könnte für eine Trockenwetterzuflussmenge von 105,3 l/s statt 74 % der Jahresschmutzwassermenge ein deutlich größerer Teilstrom behandelt werden. Eine Behandlung von 85 % der Jahresschmutzwassermenge wäre hiermit gegeben, würde jedoch die Investitionskosten um ca. 20 % erhöhen. Im Rahmen der Genauigkeit einer Machbarkeitsstudie reicht diese Abschätzung vorerst aus, da zu einem späteren Zeitpunkt mit den Genehmigungsbehörden hierüber eine Abstimmung zu suchen ist.

In der Berechnung der Investitionskosten für die jeweiligen Varianten ergibt sich durch die pauschale Vergrößerung folgende tabellarische Darstellung:

Tabelle 5: Investitionskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination von 105,3 l/s

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
	Investkosten netto	1.664.619,18 €	1.233.364,80 €	869.904,00 €	972.930,00 €
	+ 19 % MwSt.	316.277,64 €	234.339,31 €	165.281,76 €	184.856,70 €
	Investkosten brutto	1.980.896,83 €	1.467.704,11 €	1.035.185,76 €	1.157.786,70 €
	Prozente	191%	142%	100%	112%

Im Ergebnis ändert die Vergrößerung der zu behandelnden Trockenwetterzuflussmenge nichts an der Reihenfolge bzw. an der Bewertung der Investitionskosten. Eine überschlägliche Betrachtung der Betriebskosten sowie der zugehörigen Jahreskosten zeigt folgendes Ergebnis:

Tabelle 6: Betriebskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination von 105,3 l/s

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
	Betriebskosten netto	105.187,52 €/a	121.592,65 €/a	110.809,80 €/a	91.396,53 €/a
	+ 19 % MwSt.	19.985,63 €/a	23.102,60 €/a	21.053,86 €/a	17.365,34 €/a
	Betriebskosten brutto	125.173,15 €/a	144.695,25 €/a	131.863,66 €/a	108.761,88 €/a
	Prozente	115%	133%	121%	100%

Bei einer Behandlung eines Teilstromes von 105,3 l/s zeigt sich jedoch, dass die Betriebskosten der Variante 4 mit ca. 108.800 €/a im Vergleich zu den Varianten 1 – 3 am günstigsten sind.

Tabelle 7: Jahreskosten bei einem Teilstrom zur Spurenstoffelimination von 105,3 l/s

	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
Jahreskosten (netto)	234.718 €/a	225.560 €/a	191.519 €/a	173.167 €/a
+ 19 % MwSt.	44.596 €/a	42.856 €/a	36.389 €/a	32.902 €/a
Jahreskosten (brutto)	279.315 €/a	268.416 €/a	227.908 €/a	206.069 €/a
Prozente	136%	130%	111%	100%

Anhand der Jahreskostenberechnung wird ebenfalls deutlich, dass durch die Vergrößerung des Teilstroms die Variante 4 am Günstigsten liegt, während die Variante 4 mit 11 % höheren Jahreskosten dahinter liegt.

8 BEWERTUNG DER PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION

Abgesehen von den Kosten gibt es noch weitere Kriterien wie z.B. die Reinigungsleistung, die Entstehung und Auswirkungen von möglichen Transformationsprodukten oder den Betriebsaufwand, die die Auswahl der bevorzugten Verfahrensvariante beeinflussen. In Zusammenarbeit mit der Stadt Harsewinkel wurde daher eine Bewertungsmatrix erarbeitet (siehe Tabelle 8), in der eine Bewertung anhand dieser Kriterien für die verschiedenen Varianten durchgeführt

wurde. Die Kriterien sind prozentual gewichtet und die Varianten mit einer Punktzahl von 1 bis 5, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Bewertung darstellt, bewertet.

Die Höhe der **Jahreskosten** wird als das wichtigste Kriterium gesehen und daher mit der höchsten Gewichtung (40 %) eingestuft. Wie schon im Kapitel 7.1 erläutert, unterscheiden sich die Variante ihrer Jahreskosten deutlich. Aus diesem Grund erhalten die kostengünstigsten Varianten 3 (GAK in vorhandenen Filter) und 4 (Ozon) jeweils 5 Punkte, die jahreskostenintensivste Variante 1 erhält dagegen eine deutlich niedrigere Punktzahl mit 3 Punkten.

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die **Einhaltung der Phosphorablaufwerte** der verschiedenen Verfahren. Bezüglich der Einhaltung der Phosphorablaufwerte besteht bei der Konzeption der Variante 3 – GAK-Filter in den vorhandenen Filtern ein Restrisiko, sodass bei bestimmten Mischwasserereignissen zum jetzigen Zeitpunkt eine Überschreitung nicht ausgeschlossen werden kann. In diesem Zusammenhang wäre anhand von Stoffbilanzen bzw. einen großtechnischem Versuch zu überprüfen, sowie im Vorfeld mit den Aufsichtsbehörden abzustimmen, in wie weit das Restrisiko kalkulierbar ist und von den Projektbeteiligten als genehmigungsfähig betrachtet werden kann. Vor diesem Hintergrund wurde in dem Kriterium, das immerhin mit einer Gewichtung von 30 % bewertet wurde, die Konzeption der Variante 3 nur mit 3 Punkten (befriedigend) statt mit 4 Punkten (gut), wie bei den anderen Varianten, eingeschätzt. Es ist lediglich zu erwähnen, dass die Varianten mit Aktivkohle noch weitergehend zur Entfernung von CSB beitragen. Dieser Vorteil ist bei der Ozonung nicht gegeben.

Ein in der Literatur und der Öffentlichkeit diskutiertes Kriterium sind die Entstehung und die Auswirkungen von Transformationsprodukten bei der Ozonung. Studien z.B. auf der Kläranlage Regensdorf in der Schweiz haben gezeigt, dass bei der Ozonung **Transformationsprodukte** entstehen, diese aber in einer anschließenden Filtration mit biologischer Aktivität weitestgehend wieder abgebaut werden. Es konnten keine negativen Auswirkungen auf das Ökosystem im Vorfluter nachgewiesen werden. Nichtsdestotrotz wurde aufgrund dieser Problematik Variante 4 bei diesem Kriterium mit 3 Punkten schlechter bewertet als die Varianten 1-3 mit Aktivkohle (5 Punkte), bei denen keine Transformationsprodukte entstehen.

Im Bereich der **Planungssicherheit** bzw. der **Referenzen** der untersuchten Varianten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung schneidet die Varianten 1 (PAK) und 4 (Ozonung) am besten ab. Hierzu gibt es bereits einige Referenzanlagen in Deutschland, wie z.B. die Kläranlage Mannheim (PAK) und der Kläranlage Bad Sassendorf (Ozonung). Die beiden Varianten werden mit der höch-

ten Punktzahl bewertet. Für die Nutzung vorhandener Filter als GAK-Filter (Variante 3) gibt es erste Betriebsergebnisse der Kläranlage Gütersloh Obere Lutter. Des Weiteren wurde der Filter der Kläranlage Düren mit granulierter Aktivkohle umgerüstet. Es liegen erste Ergebnisse vor. Daher wurde Variante 3 nur mit 3 Punkten bewertet.

Der Aufwand für **Wartungsarbeiten** / **Betriebsaufwand** ist insbesondere aus betrieblicher Sicht ein weiteres wichtiges Kriterium. Der Wartungs- und Betriebsaufwand für die GAK-Varianten (Variante 2 und 3) wird als relativ gering eingeschätzt. Bei der Ozonanlage wird der Aufwand etwa gleich eingeschätzt. Es besteht zwar ein gewisser Aufwand dadurch, dass das Personal für die Handhabung von Sauerstoff speziell geschult werden muss, jedoch ist der Betriebs- und Wartungsaufwand im Anschluss gering. Deswegen wird Variante 4 mit ebenfalls mit 5 Punkten bewertet. Aufgrund der aufwändigeren Dosiertechnik für die Pulveraktivkohle wird der Wartungs- und Betriebsaufwand für Variante 1 als am höchsten eingeschätzt und mit 3 Punkten bewertet.

Tabelle 8: Bewertungsmatrix

Kriterium	Gewichtung (%)	Bewertungsmatrix									
		Wertung									
		Variante 1: PAK mit Kontakt- und Absetzbecken		Variante 2: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln ohne Halle		Variante 3: GAK im vorhandenen Filter		Variante 4: Ozonanlage			
		Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Höhe der Jahreskosten	40	3	1,20	4	1,60	5	2,00	5	2,00	5	2,00
Einhaltung P-Ablaufwerte	30	4	1,20	4	1,20	3	0,90	4	1,20	4	1,20
Transformationsprodukte	10	5	0,50	5	0,50	5	0,50	5	0,50	3	0,30
Planungssicherheit / Referenzen	5	5	0,25	3	0,15	3	0,15	5	0,25	5	0,25
Wartungsarbeiten / Betriebsaufwand	5	3	0,15	5	0,25	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Redundanzen / Betriebssicherheit	5	5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Nachhaltigkeit / CO ₂ -Emission	5	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Summe	100	29	3,75	30	4,15	29	4,20	30	4,20	30	4,40

Punktwertung:

- 1 = schlecht
- 2 = ausreichend
- 3 = befriedigend
- 4 = gut
- 5 = sehr gut

Betriebssicherheit / Redundanz ist ebenfalls ein wichtiges Kriterium. Sie wird für die Varianten 1 und 2 als am höchsten eingeschätzt. Obwohl bei Variante 1 die Spurenstoffelimination in einem 1-strassigen Verfahren erfolgt, ist aufgrund des robusten Verfahrens mit wenigen Betriebsausfällen zu rechnen. Variante 2 wird aufgrund der hohen Redundanz (4 Filter) mit der höchsten Punktzahl bewertet. Variante 3 – GAK im vorhandenen Filter wird etwas schlechter mit 4 Punkten bewertet, da nur 6 kleine Filterzellen zur Verfügung stehen und auch in das bestehende Verfahren der Flockungsfiltration eingegriffen wird. Bei der Ozonanlage (Variante 4) steht nur 1 Ozongenerator zur Verfügung, so dass die Betriebssicherheit geringer eingeschätzt und mit 4 Punkten bewertet wird.

Die **Nachhaltigkeit (CO₂-Emissionen)** der verschiedenen Verfahrenstechniken ist in letzter Zeit immer mehr in den Fokus des Interesses gerückt. Im Hinblick auf Verfahren zur Spurenstoffelimination gibt es bisher noch vergleichsweise wenige Erkenntnisse. Erste Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass der Primärenergieverbrauch bzw. der CO₂-Ausstoss bei der Aktivierung/ Reaktivierung der Aktivkohle und bei der Energiegewinnung für eine Ozonanlage in etwa gleich hoch sind. Daher werden alle 4 Varianten einheitlich mit 4 Punkten bewertet.

In **Summe** schneidet Variante 4 (Ozon) mit 4,4 Punkten in der Bewertung am besten ab. Gefolgt von Variante 3 (GAK im vorhandenen Filter) mit 4,2 Punkten und Variante 2 (GAK in nachgeschalteten Druckkesseln) mit 4,15 Punkten. Variante 1 (PAK mit Kontakt- und Absetzbecken) schneidet mit 3,75 Punkten am schlechtesten ab, was insbesondere auf die hohen Jahreskosten zurückzuführen ist.

9 WEITERE WISSENSCHAFTLICHE FRAGESTELLUNGEN

Nach der intensiven Diskussion der unterschiedlichen Lösungsansätze wird empfohlen für Varianten mit Aktivkohle weitere wissenschaftliche Fragestellungen in einem großtechnischen Versuch zu klären.

Im großtechnischen Versuch kann z.B. die Leistungsfähigkeit einer zum GAK-Filter umgerüsteten Filterzelle hinsichtlich unterschiedlicher Leitparameter bei unterschiedlichen Filtergeschwindigkeiten untersucht werden. Des Weiteren kann ein großtechnischer Versuch Aufschlüsse über die Standzeit der Kohle bzw. die durchgesetzten Bettvolumina bis zum Durchbruch geben. Der Untersuchungsumfang kann im Rahmen eines Fördermittelantrages weiter definiert werden.

In diesem Zusammenhang ist zudem zu prüfen in wie weit große Mischwasserzuflüsse zur Nachklärung bzw. zur Flockungsfiltration und den damit verbundenen reduzierten Partikelrückhalt Ablauf-Konzentration hinsichtlich AFS beeinflusst. Hierfür wäre eine Simulation der Strömungsverhältnisse im Nachklärbecken hilfreich, sowie Erfahrungswerte hinsichtlich eines Versuchsbetriebes in Anlehnung an die Verhältnisse nach einer möglichen Umrüstung der Filtrationsanlage.

10 ZUSAMMENFASSUNG

Die Stadt Harsewinkel betreibt die Kläranlage Harsewinkel mit einer Ausbaugröße von 57.000 EW. Anlässlich der aktuellen Diskussionen über die Auswirkungen von Spurenstoffen auf die Gewässerökologie und die Möglichkeiten der Elimination dieser Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen, hat die Stadt Harsewinkel die Hydro-Ingenieure GmbH beauftragt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Möglichkeiten des Baus einer Anlage zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Harsewinkel zu untersuchen.

Es wurden die folgenden Verfahrensmöglichkeiten zur Spurenstoffelimination in die Machbarkeitsstudie einbezogen:

- Variante 1 – PAK mit Kontakt- und Absetzbecken
- Variante 2 – GAK in nachgeschalteten Druckkesseln
- Variante 3 – GAK im vorhandenen Filter
- Variante 4 – Ozonanlage

Die unterschiedlichen Verfahrensvarianten wurden hinsichtlich ihrer technischen Machbarkeit untersucht, die Jahreskosten geschätzt und eine Bewertung anhand ausgewählter Kriterien vorgenommen.

Die Kriterien wie z.B. die Reinigungsleistung, die Entstehung und Auswirkungen von möglichen Transformationsprodukten oder den Betriebsaufwand sind prozentual gewichtet worden. Hieraus wurde eine Punktzahl von 1 bis 5 für die einzelnen Varianten errechnet, wobei 1 die niedrigste und 5 die höchste Bewertung darstellt.

Variante 4 (Ozonanlage) schneidet mit 4,4 Punkten bei der Gesamtbewertung am besten ab, gefolgt von Variante 3 (GAK im vorhandenen Filter, 4,2 Punkte) und Variante 2 (GAK in nachgeschalteten Druckkesseln; 4,15 Punkte). Diese 3 Varianten schneiden deutlich besser ab als Variante 1 (PAK mit Kontakt- und Absetzbecken) mit einer Bewertung von 3,75 Punkten.

Hinsichtlich der Jahreskosten liegt Variante 4 mit ca. 155.000 €/a (brutto) besser als Variante 3 mit ca. 164.000 €/a (brutto) und Variante 2 mit ca. 191.000 €/a (brutto). Variante 1 scheidet aufgrund der sehr hohen Jahreskosten von 243.000 €/a grundsätzlich aus.

Obwohl die Bewertungen der Varianten 2 – 4 sehr nahe beieinander liegen, aufgrund der geringeren Jahreskosten wird an dieser Stelle jedoch empfohlen die Varianten 3 und 4 weiter zu betrachten.

Falls die Variante 3 (GAK im vorhandenen Filter) gewählt werden sollte, wird empfohlen das Lösungskonzept in einem großtechnischen Versuch zu untersuchen, bei dem 1 Filterzelle der bestehenden Filteranlage zum GAK-Filter umgerüstet wird.

Zudem sollte im Vorfeld geklärt werden, ob Variante 3 genehmigungsfähig ist, da hierbei die Reinigungsleistung der bestehenden Filteranlage hinsichtlich der P-Elimination reduziert wird.

Anlage 1

Aktennotizen

Anlage 1.1

Telefonnotizen vom 26.04.2012 bis 14.05.2012

Besprechungsvermerk

Auftraggeber:	Stadt Harsewinkel	
Projekt:	Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination	
Thema:	Telefonnotizen	
Datum:	26.04. 2012 bis 14.05.2012	
Besprechungsteilnehmer:		
Herr Austermann	Stadt Harsewinkel	heinz.austermann@gt-net.de
Herr Roderfeld	Kläranlage Harsewinkel	abwasserbetrieb@harsewinkel.de
Herr Dr. Blank	Hydro-Ingenieure GmbH	a.blank@hydro-ingenieure.de
Verteiler:		
Alle Besprechungsteilnehmer, zusätzlich		
Herr Alt	Hydro-Ingenieure GmbH	klaus.alt@hydro-ingenieure.de
Herr Dr. Mauer	Hydro-Ingenieure GmbH	christian.mauer@hydro-ingenieure.de
Verfasser: Herr Dr. Blank	Diktatzeichen: AB/CP	Projekt-Nummer: 4119

TOP	Besprechungsergebnis	Zu erledigen durch
1	Anmerkungen zum letzten Protokoll Keine	
2	Frage nach Maße und Lage der Halle und der Fackel Fragen hinsichtlich der bestehenden Klärtechnik	
02.01	Herr Austermann sendet Katasterplan mit Halle und lässt die Lage der Fackel vermessen.	Herr Austermann 26.04.2012
02.02	Fragen hinsichtlich Klärtechnik konnte Herr Austermann nicht beantworten und hat uns an Herr Roderfeld (Klärmeister) verwiesen.	Herr Austermann 26.04.2012
3	Fragen nach Klärtechnik	
03.01	Fällmittel und Flockungsmittel sowie die betriebliche Einschätzung hinsichtlich der Filtergeschwindigkeit des bestehenden Filters <ul style="list-style-type: none"> ➔ Fällmittel ist FeCl₃, Flockungsmittel werden nicht verwendet. Herr Roderfeld hat Bedenken wegen BHKW. ➔ Filtergeschwindigkeit ist bei max. Abfluss über 16 m/h, betriebliches Problem: hydraulisch nicht gleichmäßig auf Filter verteilt. 	Herr Roderfeld 26.04.2012
03.02	Funktion des NKB, Partikel im NKB Ablauf <ul style="list-style-type: none"> ➔ Herr Roderfeld sieht Filter auch als Polizei für den ab und zu auftretenden Schlammabtrieb. ➔ Stellt daher die Frage, ob eine Integration von GAK in die Filter zielführend. 	Herr Roderfeld 26.04.2012
03.03	Energiepreis auf Anlage <ul style="list-style-type: none"> ➔ ca. 0,15 €/kWh netto 	Herr Roderfeld 26.04.2012

03.04	Schlammfall → ca. 3000 t/a mit einem TS zwischen 22,5 und 23%	Herr Roderfeld 26.04.2012
4	Fragen nach der Nachklärung → Herr Roderfeld schickt Bestimmung der AFS im Ablauf der Nachklärung. → Schlammabtrieb bei Regen, jedoch weiß er nicht ab welchem Zufluss dies passiert. → Schlammauftrieb meist nur im neuen NKB (eigentlich tiefer als das alte), dabei ist der Schlammauftrieb meist punktuell, aber immer woanders. → Versucht den maximalen Zulauf durch interne Maßnahmen unter den erlaubten 389 l/s zu halten und erreicht dabei eine maximale hydraulische Belastung der Nachklärbecken von 360 l/s.	Herr Roderfeld 30.04.2012
5	Flockungsfiltration	
05.01	Frage nach der Hydraulik Zulauf Filteranlage → Offene Quelltöpfe → Hydraulik ursprünglich für 8 Filter vorgesehen nicht für 14 Filter → Vordere beiden und die hinteren am meisten beaufschlagt, in der Mitte deutlich weniger beaufschlagt → Einstau wurde erhöht um diesen Effekt abzumindern. → Regelorgan nur im Gesamtablauf → Keine Regelung des Zulaufs zu den einzelnen Filtern → Grundsätzlich: Falls Umbau der Filteranlage müsste komplette Regelung der Zuläufe bewerkstelligt werden	Herr Roderfeld 11.05.2012
05.02	Fragen zur Luftspülung und Spülwasserregelung → Spülwasser geht ausschließlich über den „Bypass für Sanftspülung“. Dort ist ein Schieber eingebaut der von Warte aus regelbar ist → keine Veränderung der Spülwasserleitungen nötig. → Spülluft ist nicht regelbar, könnte aber über ein FU an Gebläse realisiert werden	Herr Roderfeld 11.05.2012
05.03	Herr Roderfeld schickt die Leistungsdaten der Zulaufpumpen und Spülwasserpumpen.	Herr Roderfeld 11.05.2012
6	Ausführung der Flockungsfilter	
06.01	→ Filter sind wie in der Datei „Filter.pdf“ vorliegend verbaut worden. Einzige Änderung gegenüber der Planung ist die Abführung der Abluft, die entgegen der Planung für jeden Filter getrennt erfolgt.	Herr Austermann 14.05.2012

Aufgestellt:

Düsseldorf, den 23.05.2012
Hydro-Ingenieure GmbH
Gez. Dr. Andreas Blank

Anlage 1.2

Besprechungsvermerk 1. Projektbesprechung 18.09.2012

Besprechungsvermerk

Auftraggeber:	Stadt Harsewinkel	
Projekt:	Machbarkeitsstudie zur Spurenstoffelimination	
Teilprojekt:		
Thema:	1. Projektgespräch	
Datum:	18.09.2012 von 09:00 bis 12:00 Uhr	
Ort:	Kläranlage Harsewinkel	
Besprechungsteilnehmer:		
Herr Austermann	Stadt Harsewinkel	heinz.austermann@gt-net.de
Herr Roderfeld	Stadt Harsewinkel	abwasserbetrieb@harsewinkel.de
Herr Alt	Hydro-Ingenieure GmbH	klaus.alt@hydro-ingenieure.de
Herr Blank	Hydro-Ingenieure Energie & Wasser	a.blank@hydro-ingenieure.de
Verteiler:		
Alle Besprechungsteilnehmer, zusätzlich		
Verfasser: Herr Blank	Diktatzeichen: ab/XX	Projekt-Nummer: 4119_00

TOP	Besprechungsergebnis	Zu erledigen durch
1	Anmerkungen zum letzten Protokoll Keine	
2	Vorstellung der Bemessungsgrundlagen <u>Summenhäufigkeiten</u> Festlegung der maximalen Beaufschlagung der Adsorptionsstufe auf 83 l/s. Entspricht dem 72% Quantil des betrachteten Zeitraumes bis März 2012. <u>Jahresabwassermengen</u> Durch eine maximale Beaufschlagung der Adsorptionsstufe von 83 l/s werden 78 % der Jahresabwassermenge erfasst. Herr Roderfeld merkt in diesem Zusammenhang an, dass sich die Zulaufmengen seit März 2012 verändert haben. Herr Roderfeld stellt die aktuellsten Daten zur Verfügung. Einarbeiten und Überprüfen der neuen Daten in den Bemessungsgrundlagen.	Herr Roderfeld Erledigt am 24.09.2012 Herr Blank (HIEW)
3	Vorstellung der entwickelten Varianten <u>Es wurden 4 Varianten vorgestellt:</u> Variante 1: Pulveraktivkohle mit Mischbecken und Absetzbecken Variante 2: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln Variante 3: GAK in vorhandenen Druckkesseln Variante 4: Ozonanlage Zu Variante 2 merkt Herr Roderfeld an, dass eine Einhausung der nachgeschalteten GAK-Reaktoren in die bestehende Lagerhalle direkt neben der	Herr Blank (HIEW) Bis zum 08.10.2012

	<p>Filterhalle möglich wäre. Es wurde festgelegt, dass der Lageplan der Variante 2 im Hinblick auf diese Nutzung angepasst wird.</p>	
<p>4</p>	<p>Erweiterbarkeit/Betriebssicherheit der Varianten</p> <p>Herr Austermann fragte nach der Erweiterbarkeit der einzelnen Varianten, da ca. 1/3 des Zulaufes aus einem Schlachtbetrieb besteht, der möglicherweise seine Kapazitäten erhöhen könnte.</p> <p>Herr Alt und Herr Blank erwähnten, dass bei den Varianten 2-4 eine Kapazitätserhöhung aufgrund der modulartigen Bauweise bzw. Konzeption jederzeit möglich ist. Räumliche Erweiterungsmöglichkeiten sind parallel zur bestehenden Filtrationsanlage gegeben.</p> <p>Hinsichtlich der Betriebssicherheit (P_{ges}-Ablaufwerte) und Genehmigungsfähigkeit von Variante 3 sollte ein informelles Gespräch mit den Genehmigungsbehörden (Herr Sürder) gesucht werden.</p>	<p>Herr Austermann Herr Alt (HI)</p>
<p>5</p>	<p>Meß- und Regeltechnik der bestehenden Filteranlage</p> <p>Herr Roderfeld erwähnte den Bedarf nach einer Erneuerung der Meß- und Regeltechnik (SPS) der gesamten Anlage, insbesondere der Filtrationsanlage. Diese müsse aus seiner Sicht kurzfristig erneuert werden. Dies könnte insbesondere mit Variante 3 verbunden werden, da in die gesamte Anlagenkonzeption im Bestand eingegriffen wird. Die hierbei anstehenden Umbaukosten könnten in die gesamte Fördermaßnahme (70%) integriert werden, um den Zuschuss auch für die EMSR Technik zu erhalten.</p> <p>Erneuerung der Meß- und Regeltechnik der verbleibenden Filteranlage sollte aus o.g. Gründen in Kostenschätzung der Variante 3 berücksichtigt werden.</p> <p>Herr Roderfeld hat Angebot hinsichtlich Erneuerung der SPS eingeholt. (Bruttokosten von ca. 140.000 €) Eine Kopie des Angebots wurde an Herrn Blank (HIEW) übergeben.</p> <p>Die EMSR-Technik wurde in der Studie sehr grob abgeschätzt, sollte anhand des Angebotes überarbeitet und verifiziert werden.</p>	<p>Herr Blank (HIEW) Bis zum 08.10.2012</p>
<p>6</p>	<p>Kostenschätzung/Sensitivitätsanalyse</p> <p>Es wurde die Schätzung der Investitions- und Betriebskosten, sowie die Jahreskosten und der Projektkostenbarwert der einzelnen Varianten dargestellt und die Unterschiede diskutiert.</p> <p>Anmerkung seitens Herrn Austermann und Herrn Roderfeld bezüglich der Betriebskosten der Varianten 2 und 3, die nach ihrer Meinung gleich sein sollten.</p> <p>Herr Blank (HIEW) erläutert die Entstehung der Betriebskosten und die Differenz zwischen den beiden Varianten. Da die Druckkessel unter Maschinentechnik geführt werden, ergibt sich eine andere Wertung im Bereich Wartung und Versicherung, wodurch sich die Betriebskosten für Variante 2 um ca. 10.000 € höher ergeben als für Variante 3.</p> <p>Dieser Ansatz sollte nochmals überdacht werden, ob die Druckkessel in die Kosten für Maschinentechnik aufgenommen oder besser in Kosten für Bau-</p>	<p>Herr Blank (HIEW)</p>

	<p>technik werden sollten.</p> <p>Hinsichtlich der Energiekosten überprüft Herr Roderfeld die Arbeitspreise, die aktuell bezahlt werden und reicht diese an Herrn Blank (HIEW) weiter.</p> <p>Herr Blank arbeitet die genauen Energiekosten in die Kostenberechnung ein.</p> <p>Gemeinsam mit Herrn Austermann und Herrn Roderfeld wurde eine Sensitivitätsanalyse hinsichtlich der Veränderung der Betriebskosten bezüglich steigender Energiepreise bzw. einer Veränderung der Preise für GAK durchgeführt und erläutert</p>	<p>Herr Roderfeld</p> <p>Herr Blank (HIEW)</p>
7	<p>Bewertungsmatrix</p> <p>Gemeinsame Überarbeitung der Bewertungsmatrix, als Ergebnis ergaben sich die Varianten 2-4 als gleichwertig (siehe Anlage 1).</p>	
8	<p>Förderfähigkeit der Baumaßnahmen/Pilotprojekt</p> <p>Die Baumaßnahme bzw. ein mögliches Pilotprojekt ist derzeit förderfähig, jedoch ist nicht bekannt wie lange Projekte im Bereich der Spurenstoffelimination förderfähig sind.</p> <p>Daher stellt sich die Frage, ob zuerst eine Pilotanlage betrieben wird oder sofort mit einer möglichen Baumaßnahme begonnen werden sollte.</p> <p>Diese Frage einschließlich der Genehmigungsfähigkeit der Lösungskonzeption der Variante 3 wird Herr Austermann mit Herrn Sürder und den Hydro-Ingenieuren in einem Gesprächstermin vor der Vorstellung im Betriebsausschuss klären.</p>	<p>Herr Austermann</p>
9	<p>Weitere Vorgehensweise</p> <p>Herr Blank (HIEW) übermittelt die überarbeiteten Tabellen und Abbildungen inklusive der überarbeiteten Bewertungsmatrix an Herrn Austermann Herr Austermann und Herr Roderfeld bevorzugen die Varianten 3 und 4. Herr Austermann und die Hydro-Ingenieure werden diese Varianten bei der nächsten Werksausschusssitzung am 28.11.2012 vorstellen.</p>	<p>Herr Blank (HIEW)</p>

Aufgestellt:

Düsseldorf, den 20.09.2012
Hydro-Ingenieure GmbH
gez. Dr. Andreas Blank

Freigegeben:

Harsewinkel, den 08.10.2012
Stadt Harsewinkel

Anlagen:

Anlage 1: Bewertungsmatrix der Lösungskonzepte , DinA4 Blatt – 1 Seite, Stand 18.09.2012

Anlage 1.3

Bewertungsmatrix

Bewertungsmatrix

Kriterium	Gewichtung (%)	Wertung							
		Variante 1: PAK mit Kontakt- und Absetzbecken		Variante 2: GAK in nachgeschalteten Druckkesseln ohne Halle		Variante 3: GAK im vorhandenen Filter		Variante 4: Ozonanlage	
	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet	
Höhe der Jahreskosten	40	3	1,20	4	1,60	5	2,00	5	2,00
Einhaltung P-Ablaufwerte	30	4	1,20	4	1,20	3	0,90	4	1,20
Transformationsprodukte	10	5	0,50	5	0,50	5	0,50	3	0,30
Planungssicherheit / Referenzen	5	5	0,25	3	0,15	3	0,15	5	0,25
Wartungsarbeiten / Betriebsaufwand	5	3	0,15	5	0,25	5	0,25	5	0,25
Redundanzen / Betriebssicherheit	5	5	0,25	5	0,25	4	0,20	4	0,20
Nachhaltigkeit / CO ₂ -Emission	5	4	0,20	4	0,20	4	0,20	4	0,20
Summe	100	29	3,75	30	4,15	29	4,20	30	4,40

Punktwertung:

- 1 = schlecht
- 2 = ausreichend
- 3 = befriedigend
- 4 = gut
- 5 = sehr gut

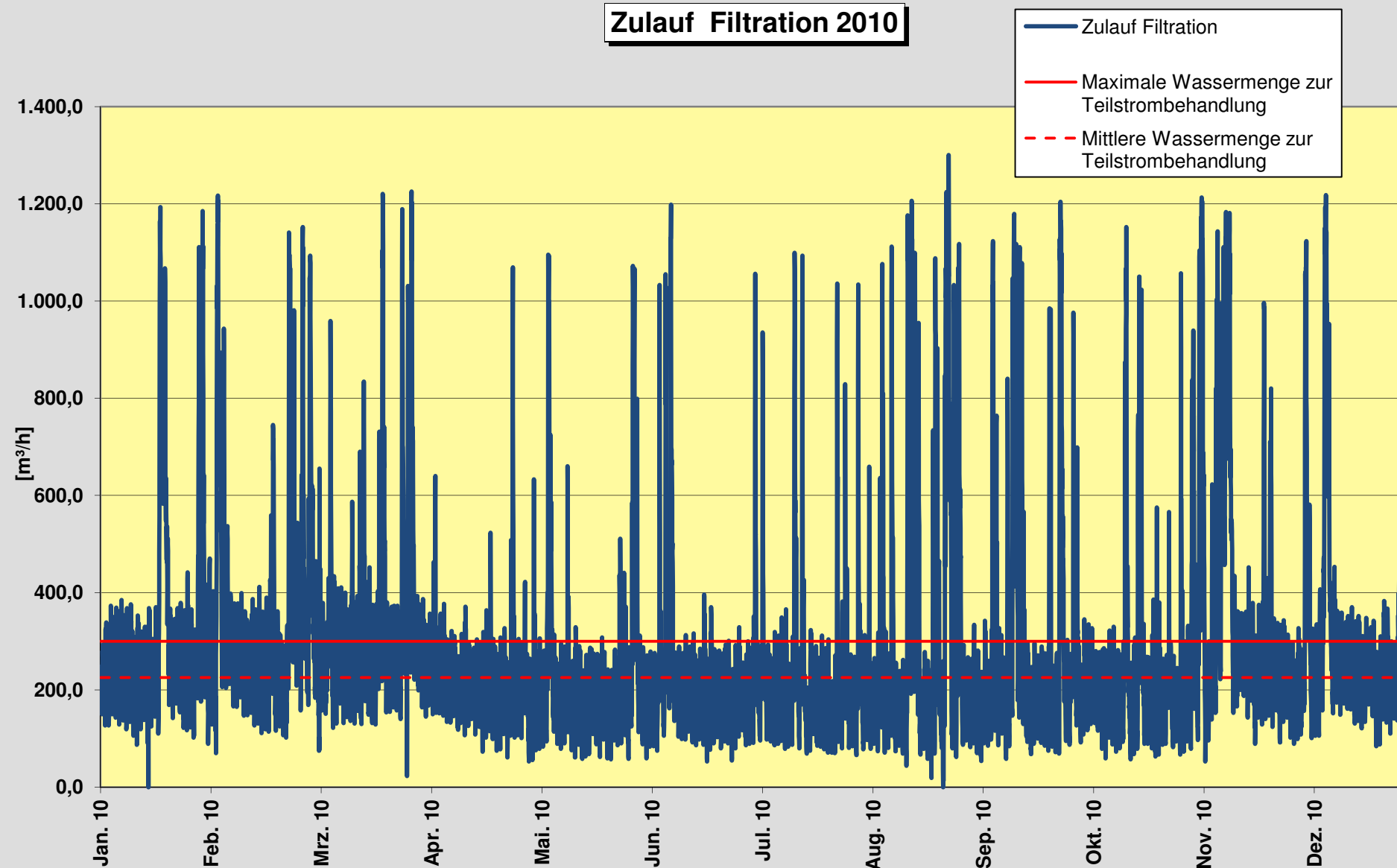
Anlage 2

Planungsgrundlagen

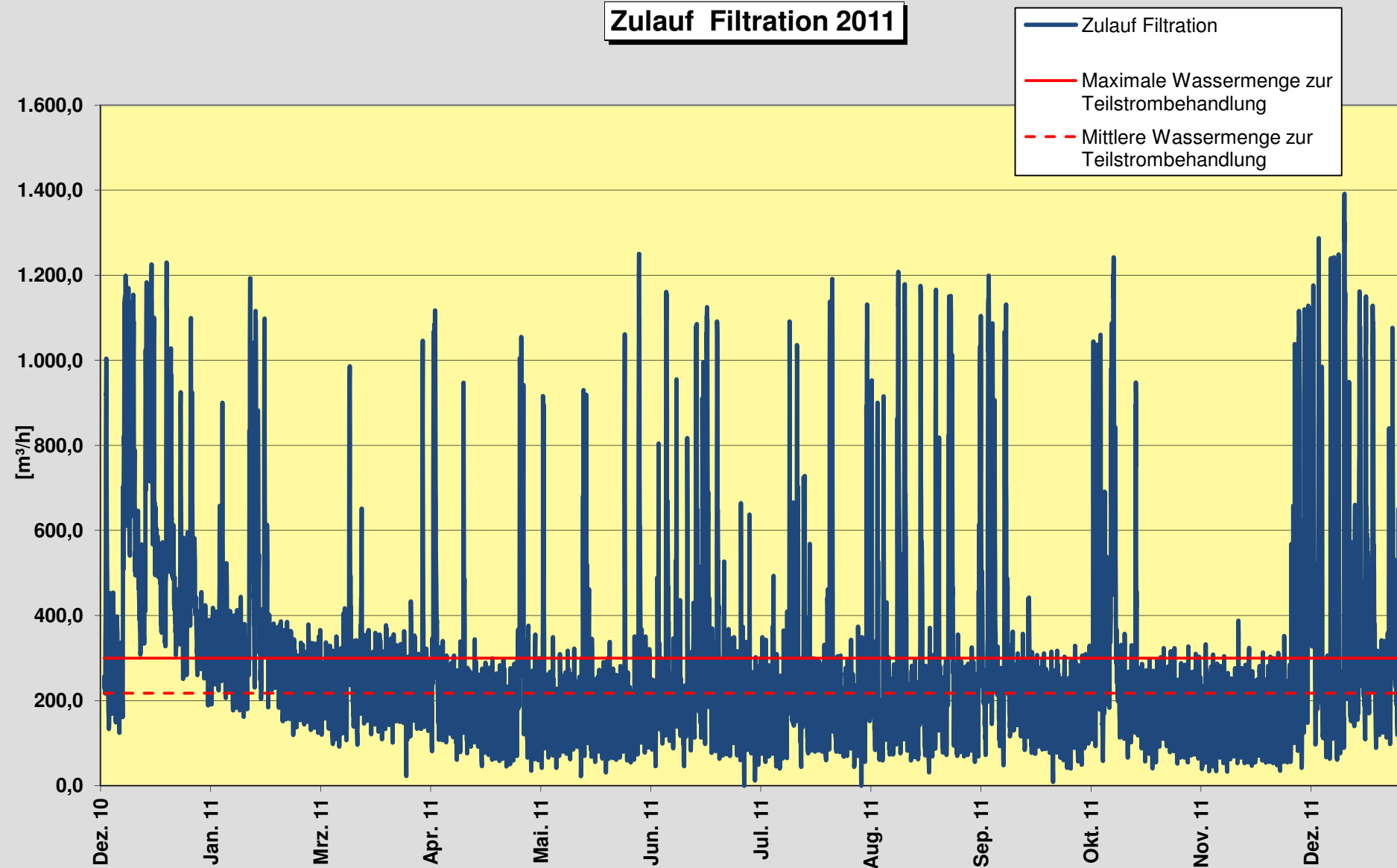
Anlage 2.1

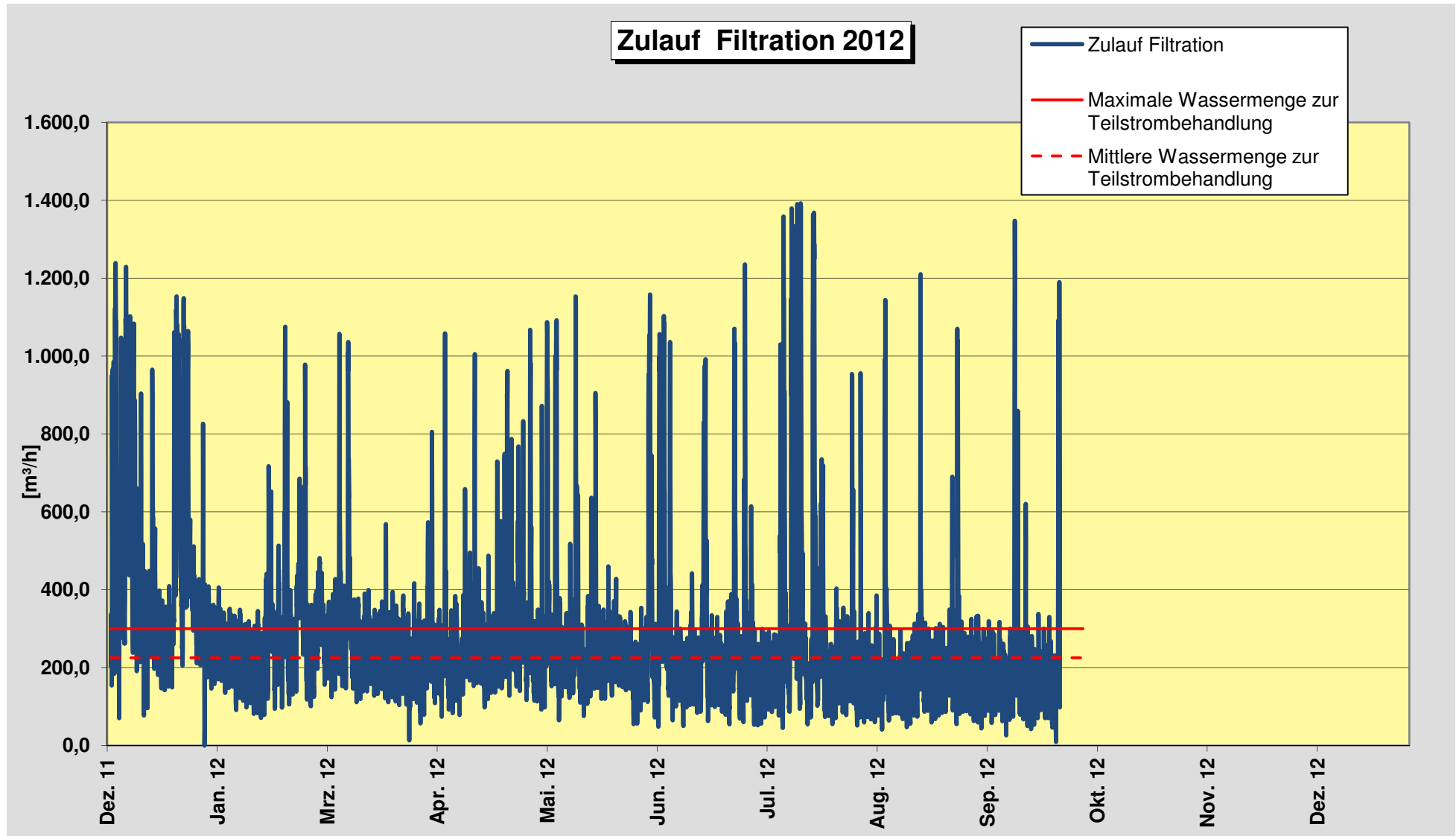
Wassermengen

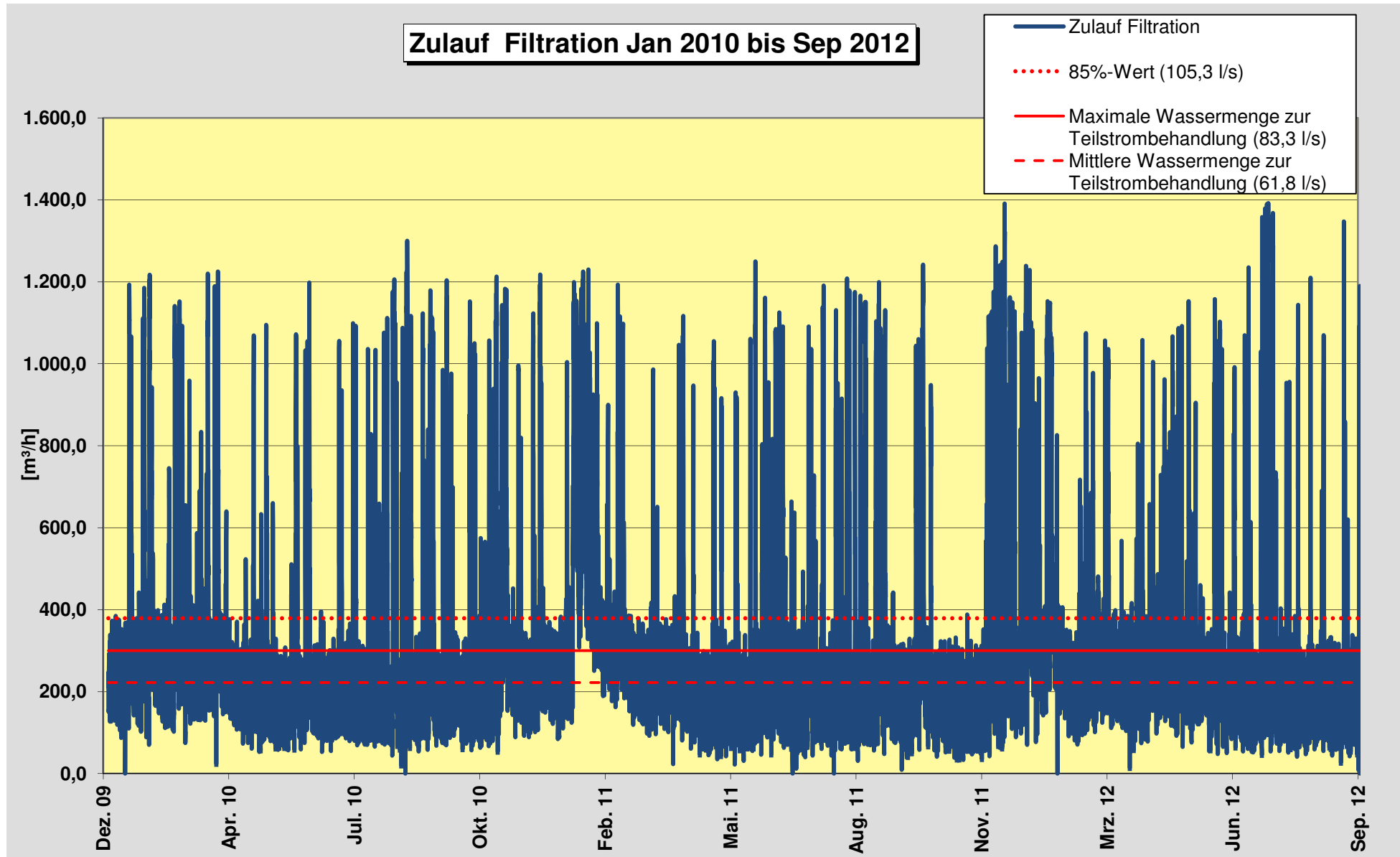
Zulauf Filtration 2010

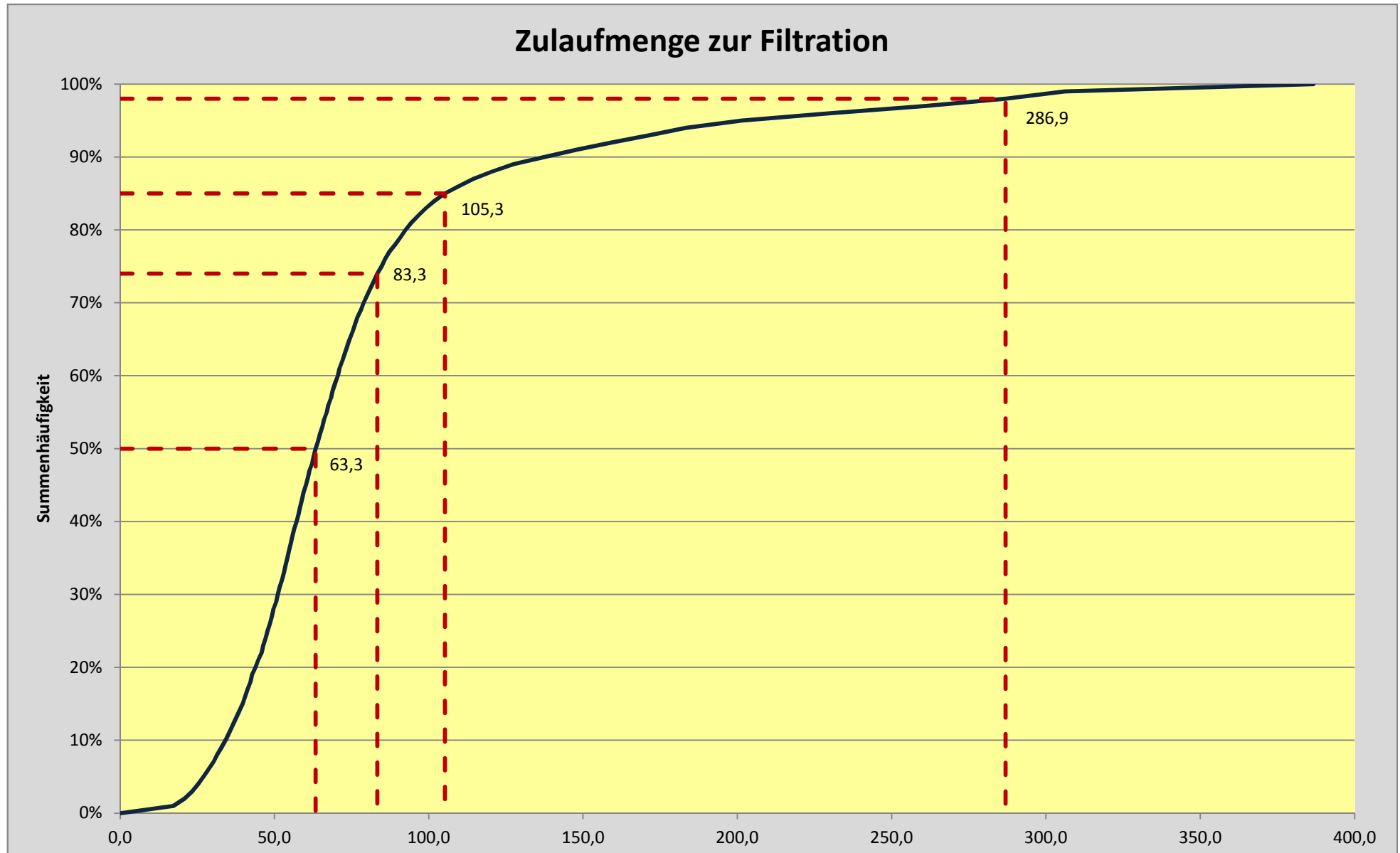


Zulauf Filtration 2011









Anlage 2.2

Reinigungsleistung der Flockungsfiltration

Abbauleistung Filtration

12 x 2h Mischproben

Vergleichsmessung Zulauf Filtration zu Ablauf Filtration

Datum : Mo 27.06.2011 - Di 28.06.2011

Nr.	Datum	Zeit	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Menge m ³ /h
			CSB mg/l	CSB mg/l	P ges. mg/l	P ges. mg/l	N03 - N mg/l	N03 - N mg/l	NH4 - N mg/l	NH4 - N mg/l	
1	27.06.2011	08.00 - 10.00	27	22	0,43	0,27	3,4	3,9	0,49	0,04	515
2		10.00 - 12.00	28	22	0,56	0,26	3,5	4,0	0,71	0,04	697
3		12.00 - 14.00	27	22	0,46	0,32	3,5	4,2	0,76	0,07	545
4		14.00 - 16.00	28	22	0,60	0,34	3,4	4,2	1,08	0,04	445
5		16.00 - 18.00	30	22	0,73	0,38	3,6	4,3	1,22	0,09	435
6		18.00 - 20.00	28	22	0,88	0,32	4,0	4,5	1,51	0,17	433
7		20.00 - 22.00	28	23	0,96	0,29	4,4	4,8	1,77	0,37	406
8		22.00 - 24.00	29	23	1,02	0,36	4,6	5,1	1,98	0,55	436
9	28.06.2011	00.00 - 02.00	29	22	1,10	0,31	4,8	5,3	2,08	0,8	319
10		02.00 - 04.00	30	23	1,09	0,26	4,8	5,2	2,14	1	240
11		04.00 - 06.00	30	23	1,06	0,32	4,7	5,1	2,11	0,73	201
12		06.00 - 08.00	31	22	0,96	0,27	4,3	5,2	1,78	0,96	162

Summe (m ³ /d)											4834
----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------

Mittelwert (mg/l)	29	22	0,82	0,31	4,08	4,65	1,47	0,41			403
--------------------------	----	----	------	------	------	------	------	------	--	--	-----

Abbaugrad (%)	22,3		62,4		-13,9		72,4				
----------------------	------	--	------	--	-------	--	------	--	--	--	--

Abbauleistung Filtration

12 x 2h Mischproben

Vergleichsmessung Zulauf und Ablauf Filtration unter Einfluss von Regenzulauf

Datum: 12.07.2011 - 13.07.2011

Nr.	Datum	Zeit	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Menge m ³ /h
			CSB mg/l	CSB mg/l	P ges. mg/l	P ges. mg/l	N03 - N mg/l	N03 - N mg/l	NH4 - N mg/l	NH4 - N mg/l	
1	12.07.2011	10.00 - 12.00	40	33	0,34	0,34	5,5	5,8	1,17	0,14	546
2		12.00 - 14.00	40	30	0,70	0,30	5,5	5,5	1,13	0,11	439
3		14.00 - 16.00	40	30	0,93	0,29	5,3	5,4	1,05	0,05	384
4		16.00 - 18.00	38	33	1,27	0,31	5,5	5,7	1,07	0,05	346
5		18.00 - 20.00	38	32	1,41	0,32	5,6	5,4	1,13	0,05	450
6		20.00 - 22.00	39	35	1,91	0,37	5,3	5,7	1,3	0,08	436
7		22.00 - 00.00	39	34	1,92	0,37	5,3	5,3	1,35	0,12	394
8	13.07.2011	00.00 - 02.00	42	33	1,97	0,40	5,1	5,5	1,4	0,23	1362
9		02.00 - 04.00	42	35	2,06	0,42	4,6	5,2	1,9	0,65	1816
10		04.00 - 06.00	41	33	1,91	0,45	5,1	5,2	1,83	0,87	859
11		06.00 - 08.00	42	33	1,44	0,35	5,1	5,4	1,76	0,68	515
12		08.00 - 10.00	40	21	1,16	0,34	5,0	5,5	1,62	0,38	695

Summe (m ³ /d)											8242
----------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	------

Mittelwert (mg/l)	40	32	1,42	0,35	5,24	5,46	1,39	0,28			687
--------------------------	----	----	------	------	------	------	------	------	--	--	-----

Abbaugrad (%)	20,0		75,0		-4,2		79,9				
----------------------	------	--	------	--	------	--	------	--	--	--	--

Abbauleistung Filtration

12 x 2h Mischproben

Vergleichsmessung Zulauf Filtration zu Ablauf Filtration

Datum : Di 09.08.2011 - Mi 10.08.2011

Nr.	Datum	Zeit	Zulauf	Ablauf	Menge m ³ /h	Menge l/s
			abf. Stoffe mg/l	abf. Stoffe mg/l		
1	09.08.2011	10.00 - 12.00	7	1	546	152
2		12.00 - 14.00	7	1	384	107
3		14.00 - 16.00	7	1	404	112
4		16.00 - 18.00	6	1	318	88
5		18.00 - 20.00	7	1	319	89
6		20.00 - 22.00	4	1	310	86
7		22.00 - 24.00	4	1	496	138
8		00.00 - 02.00	4	1	349	97
9	10.08.2011	02.00 - 04.00	6	1	252	70
10		04.00 - 06.00	6	1	194	54
11		06.00 - 08.00	6	1	162	45
12		08.00 - 10.00	5	1	367	102

Summe (m ³ /d)		4101
----------------------------------	--	------

Mittelwert	6	1	342	95
-------------------	---	---	-----	----

Abbaugrad (%)	82,6
----------------------	------

Abbauleistung Filtration

12 x 2h Mischproben

Vergleichsmessung Zulauf Filtration zu Ablauf Filtration

Datum: Di 23.08.2011 - Mi 24.08.2011

Nr.	Datum	Zeit	Zulauf	Ablauf	Menge m ³ /h	Menge l/s
			abf. Stoffe mg/l	abf. Stoffe mg/l		
1	23.08.2011	08.00 - 10.00	15	3	837	233
2		10.00 - 12.00	14	3	584	162
3		12.00 - 14.00	14	3	512	142
4		14.00 - 16.00	13	2	478	133
5		16.00 - 18.00	14	2	475	132
6		18.00 - 20.00	10	1	369	103
7		20.00 - 22.00	12	2	234	65
8		22.00 - 00.00	8	1	219	61
9	24.08.2011	00.00 - 02.00	12	1	200	56
10		02.00 - 04.00	15	2	994	276
11		04.00 - 06.00	13	4	994	276
12		06.00 - 08.00	17	2	296	82

Summe (m ³ /d)		6192
----------------------------------	--	------

Mittelwert	13	2	516	143
-------------------	----	---	-----	-----

Abbaugrad (%)	83,4
----------------------	------

Anlage 3

Klärtechnische Berechnungen

Anlage 3.1

Klärtechnische Berechnungen Spurenstoffelimination

Klärtechnische Bemessung Variante 1 Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Hydraulische Daten:

Strom zur PAK-Anlage:

$Q_{\max} =$	83,3 l/s
	300 m ³ /h
$Q_{\text{mittel}} =$	62 l/s

Zulauf Kläranlage gesamt

$Q_{\text{TW}} =$	105 l/s	85% aller Zuflüsse
$Q_{\text{RW}} =$	387 l/s	max Abfluss gemäß Bescheid

1. Bemessung des Zulaufpumpwerkes für den Teilstrom

Installation eines Pumpwerkes (FU/MID)

Gewählt	1 Pumpen, selbstansaugend + 1 Reservepumpe je 83,3 l/s Pumpen regelbar über FU
---------	---

2. Bemessung des Kontakt-/Mischbeckens

Aufenthaltszeit	$t =$	30,0 min
erf. Volumen des Beckens	$V =$	149,9 m ³
gewählte Tiefe	$h =$	4,0 m
Oberfläche	$A =$	37,5 m ²
Anzahl Mischbecken	$n =$	2,0 Stück
gewählte Länge	$L =$	4,3 m
gewählte Breite	$B =$	4,3 m

Klärtechnische Bemessung Variante 1 Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

3. Bemessung Absetzbecken

erf. Aufenthaltszeit	t =	1,5 h
erf. Volumen des Beckens	V =	449,8 m ³
erf. Oberflächenbeschickung	q _A =	3,00 m/h
erf. Oberfläche	A =	100,0 m ²
Tiefe angenommen	h =	4,5 m
gewählte Länge	L =	23,2 m
gewählte Breite	B =	4,3 m

5. Bemessung Rücklaufkohle (Rezirkulation)

Rücklaufverhältnis		70%
	Q _{RV} =	58,31 l/s

6. Rührwerke Kontaktbecken

	n =	2,0 Stück
erf. Energieeintrag		10 W/m ³
Energiebedarf		1,4994 kW/h
inst. Leistung	je Rührwerk	0,7497 kW

7. Dosierung PAK

Dosierrate	min	5,0 mg/l
Dosierrate	max	20,0 mg/l

Berechnung der maximalen Dosiermenge zum Kontaktbecken

maximaler Zulauf zur PAK-Anlage	83,3 l/s
maximale Dosierrate	20,0 mg/l
maximale Dosiermenge	1,7 g/s
	6,0 kg/h
	143,9 kg/d
	0,5 Gew. %
	28,8 m ³ /d
	1,2 m ³ /h

Klärtechnische Bemessung Variante 1 Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Berechnung der durchschnittlichen Dosiermenge zum Kontaktbecken

mittlerer Zulauf PAK-Anlage	61,8 l/s
mittlere Dosierrate	10,0 mg/l
mittlere Dosiermenge	0,6 g/s
	2,2 kg/h
	53,4 kg/d
	0,5 Gew. %
	10,7 m ³ /d
	0,4 m ³ /h

PAK Silo

durchschnittliche Dosiermenge	53,4 kg/d
geschätzte Schüttdichte	425,0 kg/m ³
durchschnittliches Volumen	0,1 m ³ /d

Nutzvolumen PAK-Silo	35,0 m ³
Füllgewicht PAK	14,9 t
Durchmesser	3,5 m ²

Notwendige Auffüllung ca. alle	278,6 d
--------------------------------	---------

8. Dosierung Flockungshilfsmittel

Dosierrate	min	0,15 mg/l
Dosierrate	max	0,30 mg/l

Berechnung der maximalen Dosiermenge zum Zulauf Absetzbecken

maximaler Zulauf zur PAK-Anlage	83,3 l/s
maximale Dosierrate	0,30 mg/l
maximale Dosiermenge	0,02 g/s
	0,09 kg/h
	2,16 kg/d

Berechnung der durchschnittlichen Dosiermenge zum Zulauf Absetzbecken

mittlerer Zulauf PAK-Anlage	61,8 l/s
mittlere Dosierrate	0,20 mg/l
mittlere Dosiermenge	0,01 g/s
	0,04 kg/h
	1,07 kg/d

Klärtechnische Bemessung Variante 1 Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

9. Dosierung Fällmittel (Eisen(III)chlorid)

Dosierrate	min	2,0 mg/l
Dosierrate	max	8,0 mg/l

Berechnung der maximalen Dosiermenge zum Zulauf Absetzbecken

maximaler Zulauf zur PAK-Anlage	83,3 l/s
maximale Dosierrate	8,0 mg/l
maximale Dosiermenge	0,7 g/s
	2,4 kg/h
	57,6 kg/d
zusätzliche TS-Bildung gemäß DWA-A 202	2,5 g/gFE
zusätzliche TS-Fracht	6,0 kg/h

Berechnung der durchschnittlichen Dosiermenge zum Zulauf Absetzbecken

mittlerer Zulauf PAK-Anlage	61,8 l/s
mittlere Dosierrate	4,0 mg/l
mittlere Dosiermenge	0,2 g/s
	0,9 kg/h
	21,4 kg/d
zusätzliche TS-Bildung gemäß DWA-A 202	2,5 g/gFE
zusätzliche TS-Fracht	2,2 kg/h

10. Bemessung Kohleentnahme

Entnahme aus Kontakt-/ Mischbecken (TS = 3,5 bis 5,0 g/l). Neben der Aktivkohle befindet sich TS aus dem Ablauf der NK und der durch Fällung gebildete TS im Becken.

Entnahmemenge = Zufuhrmenge (s. Dosierung PAK+Fällmittel)+AFS im Ablauf Absetzbecken (ca. 10 mg/l)

Berechnung der maximalen Kohleentnahme

$B_{\text{dos,PAK}} =$	6,0 kg/h
$B_{\text{dos,Fäll}} =$	6,0 kg/h
$B_{\text{AFS,ab}} =$	<u>3,0 kg/h</u>
$B_{\text{total}} =$	15,0 kg/h
	359,9 kg/d
$TS_{\text{min}} =$	3,5 g/l
$Q_{\text{ÜS}} =$	4,3 m³/h
	102,8 m³/d

Klärtechnische Bemessung Variante 1 Pulveraktivkohle mit Kontakt- und Absetzbecken

Berechnung der mittleren Kohleentnahme

$B_{\text{dos,PAK}} =$	2,2 kg/h
$B_{\text{dos,Fäll}} =$	2,2 kg/h
$B_{\text{AES,ab}} =$	<u>3,0 kg/h</u>
$B_{\text{total}} =$	7,4 kg/h
	178,8 kg/d
$TS_{\text{mittel}} =$	4,3 g/l
$Q_{\text{ÜS}} =$	1,8 m ³ /h
	42,1 m ³ /d

Klärtechnische Bemessung Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig, kont. Betrieb)

Hydraulische Daten:

Zulauf Kläranlage gesamt

$Q_{TW} =$	105,3 l/s	85% aller Zuflüsse
$Q_{RW} =$	386,7 l/s	max Abfluss gemäß Bescheid

Teilstrom zum GAK-Filter:

$Q_{max} = Q_{TW}$	83,3 l/s
	299,9 m ³ /h
$Q_{mittel} =$	61,8 l/s

1. Bemessung des Zulaufpumpwerkes für den Teilstrom

Installation eines Pumpwerkes (FU/MID)

Gewählt	1 Pumpen, selbstansaugend + 1 Reservepumpe je 83,3 l/s Pumpen regelbar über FU
---------	---

2. Bemessung der GAK-Adsorber

Filtergeschwindigkeit gewählt (bei Q_{max}):	maximal $v =$	10 m/h 8,5 m/h
Filterbetthöhe gewählt	$H =$	1 - 3 m 2,0 m
Filterhöhe gesamt	$H_{ges} =$	2,8 m
erforderliche Oberfläche	$A_{ges} =$	35 m ²
Durchmesser	$D =$	4,15 m
Oberfläche pro Adsorber	$A =$	13,5 m ²
erforderliche Anzahl Adsorber		3,0 Stck
$n + 1$: Anzahl Filter		4,0 Stck

Klärtechnische Bemessung Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig, kont. Betrieb)

Gesamtvolumen Filter

$$V_{\text{ges}} = 108 \text{ m}^3$$

Kontaktzeit

10 - 30 min

errechnet:

$$t = 21,6 \text{ min}$$

Nachweis Filtergeschwindigkeit bei $Q_{\text{max}} (n - 1)$

$$Q_{\text{max}} = \begin{array}{l} 83 \text{ l/s} \\ 300 \text{ m}^3/\text{h} \end{array}$$

Filtergeschwindigkeit

$$v = 7,4 \text{ m/h}$$

Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{\text{max}} (n - 1)$

Kontaktzeit

$$t = 16,2 \text{ min}$$

Filtergeschwindigkeit bei Q_{mittel}

$$v = 4,1 \text{ m/h}$$

3. Bemessung Spülwasserpumpen

maximale Spülgeschwindigkeit

$$v = 25 - 30 \text{ m/h}$$

gewählt

$$v = 27 \text{ m/h}$$

Spüldauer

10 min

Spülintervall

1 mal wöchentlich

$$Q = \begin{array}{l} 365 \text{ m}^3/\text{h} \\ 101 \text{ l/s} \end{array}$$

Gewählt

1 Pumpen, selbstansaugend
+ 1 Reservepumpe
je 101 l/s
Pumpen regelbar über FU

Klärtechnische Bemessung Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig, kont. Betrieb)

4. Bemessung Spülluftgebläse

maximale Spülgeschwindigkeit	$v =$	60 m/h
Spüldauer		3 min
Spülintervall		1 mal wöchentlich
	$Q =$	810 m ³ /h
Gewählt		1 Gebläse + 1 Reservegebläse
	je	810 m ³ /h

5. Filterlaufzeit/ Standzeit

1.) über Bettvolumina
Bettvolumina (Trinkwasseraufbereitung) gewählt: bis 30.000 m³ Wasser/m³ GAK
10.000 m³ Wasser/m³ GAK

Standzeit	$t_F =$	202 d 6,7 Monate
-----------	---------	---------------------

2.) über Zulaufkonzentration und maximale Beladung

Standzeit	$t_F =$	$(q_{\max} * \rho * l) / (c_o * \eta * v)$
max. Beladung	$q_{\max} =$	450 gCSB/kgGAK
Dichte	$\rho =$	300 kg/m ³
	$l =$	2,0 m
mittlere Zulaufkonzentration	$c_o =$	30,0 mg/l
mittlerer Wirkungsgrad	$\eta =$	0,30
	$t_F =$	303 d 10,1 Monate

Klärtechnische Bemessung Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkesseln (1-stufig, kont. Betrieb)

3.) über GAK-Beladung

Annahme	DOC * 3 =	CSB	
		450 mg CSB/g GAK	Beladung
ANSATZ		450 mg CSB/g GAK 150 mg DOC/g GAK 0,150 kg DOC/kg GAK	Beladung
Zulaufkonzentration		30,0 mg CSB/l 10 mg DOC/l	
Wirkungsgrad		30 %	
Elimination Ablauf CSB		3 mg DOC/l 21 mg CSB/l	
		62 l/s 222 m ³ /h 5.340 m ³ /d 16,0 kg DOC/d	
Verbrauch		107 kg GAK/d	
Dichte		300 kg/m ³ 108 m ³ 32.400 kg	
		303 Tage 10,1 Monate	
Mittlere Standzeit			9,0 Monate
Mittlerer Jahresverbrauch GAK			144 m ³ /a 43 t/a
Erstbefüllung GAK			32 t

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

Hydraulische Daten:

Teilstrom zur GAK-Anlage:

$Q_{\max} =$	83,3 l/s
	300 m ³ /h
$Q_{\text{mittel}} =$	62 l/s

Zulauf Kläranlage gesamt

$Q_{\text{TW}} =$	62 l/s	als MW aller TW-Zuflüsse
$Q_{\text{TW}} =$	105 l/s	85 % aller Zuflüsse
$Q_{\text{RW}} =$	389 l/s	max Abfluss gemäß Bescheid

Zulauf Filter

$Q_{\text{RW}} =$	389 l/s
$Q_{\text{Filterspülwasser}} =$	39 l/s
$Q_{\text{maxFilter}} =$	428 l/s

1. Nachweis Filtergeschwindigkeit Sandfilter

Teilstrom zur GAK-Anlage

$Q_{\text{mittel}} =$	62 l/s
$Q_{\max} =$	83,3 l/s

Zulauf Kläranlage gesamt

$Q_{\text{TW}} =$	62 l/s
$Q_{\max} =$	389 l/s

Filterspülabwasser bei normaler Spülhäufigkeit

Sandfilter	$Q_{\text{SPA},\text{mittel}} =$	22,2 m ³ /h	mit ca. 10% des Zulaufs angesetzt
		6,2 l/s	
	$Q_{\text{SPA},\text{max}} =$	140,0 m ³ /h	
		38,9 l/s	s. oben
GAK-Filter	$Q_{\text{SPA}} =$	1,1 m ³ /h	
		0,3 l/s	

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

Zulauf Sandfilter bei TW

$$Q_{TW} = \begin{array}{l} 68 \text{ l/s} \\ 246 \text{ m}^3/\text{h} \end{array}$$

max. Zulauf Sandfilter

$$Q_{\max} = \begin{array}{l} 428 \text{ l/s} \\ 1.542 \text{ m}^3/\text{h} \end{array}$$

Sandfilter

Anzahl	$n =$	8 Stck.
Durchmesser	$D =$	m
Breite	$B =$	m
Oberfläche	$A =$	7,10 m ²
Gesamtoberfl.	$A_{\text{ges}} =$	56,8 m ²

Filtergeschwindigkeit Sandfilter bei TW

$$v = 4,3 \text{ m/h}$$

Filtergeschwindigkeit Sandfilter bei TW (n-1)

$$v = 4,9 \text{ m/h}$$

max. Filtergeschwindigkeit Sandfilter

$$v = 27,1 \text{ m/h}$$

max. Filtergeschwindigkeit Sandfilter (n-1)

$$v = 31,0 \text{ m/h}$$

sollte nach ATV-A 203 bei Q_{TW} bei ca. 7,5 m/h und bei Q_{RW} max. 15 m/h unter Berücksichtigung der in in Spülung befindlichen Filter sein

-> die 8 verbleibenden Sandfilter muss begrenzt werden

max. Zulauf Sandfilter

$$Q_{\max} = \begin{array}{l} 220 \text{ l/s} \\ 792 \text{ m}^3/\text{h} \end{array} \quad \text{ca. 95\% -Wert}$$

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

Gesamtoberfläche $A_{ges} =$ 56,8 m²

max. Filtergeschwindigkeit Sandfilter

$v =$ 13,9 m/h

max. Filtergeschwindigkeit Sandfilter (n-1)

$v =$ 15,9 m/h

2. Phosphorbilanz und AFS

Schlechtester Fall $Q_{max} = 428$ l/s

--> Zulauf ohne Spülwasser = 389 l/s 1400,4 m³/h 100%-Wert

P-Bilanz	Zulauf l/s	Zulauf P_{ges} mg/l	Zulauf P_{ges} mg/s	Ablauf P_{ges} mg/l	Ablauf P_{ges} mg/s
	220,0	1,42	312,4	0,34	74,8
	208,0	1,42	295,36	1,42	295,36
	428				370,16

Ablaufkonz. P_{ges} 0,86 mg/l > 0,8 mg/l Überwachungswert

Grenzbed. $Q_{max} = 380$ l/s

--> Zulauf ohne Spülwasser = 342 l/s 1231,2 m³/h 99 %-Wert

P-Bilanz	Zulauf l/s	Zulauf P_{ges} mg/l	Zulauf P_{ges} mg/s	Ablauf P_{ges} mg/l	Ablauf P_{ges} mg/s
	220,0	1,42	312,4	0,34	74,8
	160,0	1,42	227,2	1,42	227,2
	380				302

Ablaufkonz. P_{ges} 0,79 mg/l < 0,8 mg/l Überwachungswert

AFS-Bilanz	Zulauf l/s	Zulauf AFS mg/l	Zulauf AFS mg/s	Ablauf AFS mg/l	Ablauf AFS mg/s
	220,0	36	7920	4	880
	208,0	36	7488	36	7488
	428				8368

Ablaufkonz. AFS 19,551402 mg/l

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

3. Bemessung des Zulaufpumpwerkes für den Teilstrom

Installation eines Pumpwerkes (FU/MID)

Gewählt 2 Pumpen, selbstansaugend
+ 1 Reservepumpe
 je 41,65 l/s
 Pumpen regelbar über FU

4. Bemessung der GAK-Adsorber als Betonfilter

Filtergeschwindigkeit 10 - 15 m/h
 gewählt (bei Q_{max}): $v =$ 8,5 m/h

Filterbetthöhe 1 - 3 m
 $H =$ 1,95 m

Filterhöhe gesamt $H_{ges} =$ 2,7 m

Länge $L =$ m
 Breite $B =$ m

vorhandene Oberfläche 1 Filter
 $A =$ 7,1 m²

erforderliche Oberfläche
 $A_{ges} =$ 35 m²

erforderliche Anzahl Filterkammern 5 Stck

n + 1: Anzahl Filter 6 Stck

Gesamtvolumen Filter $V_{ges} =$ 83 m³

Kontaktzeit 10 - 30 min
 errechnet: $t =$ 16,6 min

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

Nachweis Filtergeschwindigkeit bei $Q_{\max} (n - 1)$

$$Q_{\max} = \begin{array}{l} 83 \text{ l/s} \\ 300 \text{ m}^3/\text{h} \end{array}$$

$$\text{Filtergeschwindigkeit } v = 8,4 \text{ m/h}$$

Nachweis Kontaktzeit bei $Q_{\max} (n - 1)$

$$\text{Kontaktzeit } t = 13,9 \text{ min}$$

Filtergeschwindigkeit bei Q_{mittel}

$$v = 5,2 \text{ m/h}$$

5. Filterlaufzeit/ Standzeit

1.) über Bettvolumina

Bettvolumina 20.000 - 30.000 m³ Wasser/m³ GAK
 gewählt: 12.500 m³ Wasser/m³ GAK

$$\text{Standzeit } t_F = \begin{array}{l} 194 \text{ d} \\ 6,5 \text{ Monate} \end{array}$$

2.) über Zulaufkonzentration und maximale Beladung

$$\text{Standzeit } t_F = \frac{(q_{\max} * \rho * l)}{(c_o * \eta * v)}$$

$$\text{max. Beladung } q_{\max} = 450 \text{ gCSB/kgGAK}$$

$$\text{Dichte } \rho = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Länge = Filterbetthöhe (1-stufig)} \\ l = 1,95 \text{ m}$$

$$\text{mittlere Zulaufkonzentration} \\ c_o = 30,0 \text{ mg/l}$$

$$\text{mittlerer Wirkungsgrad} \\ \eta = 0,30$$

$$\text{Standzeit } t_F = \begin{array}{l} 233 \text{ d} \\ 7,8 \text{ Monate} \end{array}$$

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

3.) über GAK-Beladung

Annahme	DOC * 3 =	CSB	
			450 mg CSB/g GAK
ANSATZ			450 mg CSB/g GAK 150 mg DOC/g GAK 0,150 kg DOC/kg GAK
Zulaufkonzentration			30,0 mg CSB/l 10,0 mg DOC/l
Wirkungsgrad			30 %
Elimination			3 mg DOC/l
Ablauf CSB			21 mg CSB/l
			62 l/s 222 m ³ /h 5.340 m ³ /d 16,0 kg DOC/d
Verbrauch			107 kg GAK/d
Dichte			300 kg/m ³ 83 m ³ 24.921 kg
Standzeit	t _F =		233 Tage 7,8 Monate
Mittlere Standzeit	t _F =		7,3 Monate
Mittlerer Jahresverbrauch GAK			136 m ³ /a 41 t/a
Erstbefüllung GAK			25 t

Klärtechnische Bemessung Variante 3 GAK in vorhandenen Betonfiltern

6. Bemessung Spülwasserpumpen

maximale Spülgeschwindigkeit		
	v =	25 - 30 m/h 27 m/h
Spüldauer		10 min
Spülintervall		1 mal wöchentlich
	Q =	192 m ³ /h 53 l/s
Gewählt		2 Pumpen, selbstansaugend
	je	+ 1 Reservepumpe 27 l/s
		Pumpen regelbar über FU

7. Bemessung Spülluftgebläse

maximale Spülgeschwindigkeit		
	v =	60 m/h 60 m/h
Spüldauer		3 min
Spülintervall		1 mal wöchentlich
	Q =	426 m ³ /h
Gewählt		2 Gebläse
	je	+ 1 Reservegebläse 213 m ³ /h

Klärtechnische Bemessung Variante 4 Ozonung

Hydraulische Daten:

Teilstrom zur Ozonanlage

$Q_{\max} =$	83,3 l/s
	300 m ³ /h
$Q_{\text{mittel}} =$	62 l/s

Zulauf Kläranlage gesamt

$Q_{\text{TW}} =$	105,3 l/s	85% aller Zuflüsse
$Q_{\text{RW}} =$	389 l/s	max Abfluss gemäß Bescheid

1. Bemessung des Ozonierungsreaktors

Aufenthaltszeit bei Q_{\max}	$t =$	10,0 min
erf. Volumen des Beckens	$V =$	50,0 m ³
gewähltes Volumen des Beckens	$V =$	50,0 m ³
gewählte Tiefe	$h =$	4,5 m
Oberfläche	$A =$	11,1 m ²
gewählte Länge	$L =$	4,73 m
gewählte Breite	$B =$	2,35 m

Ozonierungsreaktor ausgebildet als einstraßige Kaskade

3. Bemessung Ozondosierung

Dosierrate	min	2,0 mgO ₃ /l
	mittel	5,0 mgO ₃ /l
Dosierrate	max	10,0 mgO ₃ /l

Berechnung der maximalen Dosiermenge

maximaler Zulauf zur Ozon-Anlage	83,3 l/s
maximale Dosierrate	10,0 mgO ₃ /l
maximale Dosiermenge	0,8 gO ₃ /s
	3,0 kg/h
	72,0 kg/d
	26.269,5 kg/a

Klärtechnische Bemessung Variante 4 Ozonung

Berechnung der durchschnittlichen Dosiermenge

mittlerer Abwasserzulauf zur Ozon-Anlage	61,8 l/s
mittlere Dosierrate	5,0 mgO ₃ /l
mittlere Dosiermenge	0,3 g/s
	1,1 kg/h
	26,7 kg/d
	9.744,6 kg/a

4. Bemessung Sauerstoffbedarf

Zur Herstellung eines Kilogramms Ozon wird ca. die 10-fache Menge Sauerstoff benötigt.

Berechnung der maximalen Menge

30,0 kg/h
719,7 kg/d
262.694,9 kg/a

Berechnung der durchschnittlichen Menge

11,1 kg/h
267,0 kg/d
97.446,2 kg/a

Energiebedarf	7 - 15 kWh/kgO ₃
---------------	-----------------------------

Anlage 4

Kostenschätzung

Anlage 4.1

Kostenschätzung Spurenstoffelimination

Investitionskosten

Variante 1:

Pulveraktivkohlemit Kontakt- und Absetzbecken

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Becken und Schächte				
1.1.1	Verbindungsleitung DN 350 (Pumpenvorlage --> Mischbecken)	30	m	250,00	7.500,00
1.1.2	Anschluss Pumpenvorlage	psch			2.500,00
1.1.3	Verbindungsleitung DN 350	30	m	250,00	7.500,00
1.1.4	PAK-Rückführleitung zur BB DN 50	140	m	125,00	17.500,00
1.1.5	Neubau Kontaktbecken	150	m ³	280,00	42.000,00
1.1.6	Neubau Absetzbecken	450	m ³	275,00	123.750,00
1.1.7	Neubau RK-Pumpwerk	50	m ³	400,00	20.000,00
1.1.8	Neubau Zulauf-Pumpwerk	50	m ³	400,00	20.000,00
1.1.9	Dichtigkeitsprüfung	200	m	20,00	4.000,00
1.1.10	Ablaufrinne	5	m	800,00	3.600,00
1.1.11	Kabelschächte	2	Stck.	3.000,00	6.000,00
	Summe 1.1 Becken und Schächte:				491.200,00
1.2	Container				
1.2.1	Container FHM-Station	1	Stck.	9.200,00	9.200,00
1.2.2	Container NS-Raum	1	Stck.	15.000,00	15.000,00
1.2.3	Fundamente Container	13	m ³	1.300,00	16.900,00
	Summe 1.2 Container:				41.100,00
1.3	PAK-Silo				
1.3.1	Fundament PAK-Silo	6	m ³	1.300,00	7.800,00
	Summe 1.3 PAK-Silo:				7.800,00
1.4	FM-Station				
1.4.1	Fundament FM-Station	5	m ³	1.300,00	6.500,00
	Summe 1.4 FM-Station:				6.500,00
1.5	Erdarbeiten für Rohrleitungen				
1.5.1	PAK-Entnahme-Ltg. zur BB DN 50	140	m	100,00	14.000,00
1.5.2	Verbindungsleitungen DN 350	30	m	100,00	3.000,00
	Summe 1.5 Erdarbeiten für Rohrleitungen:				17.000,00
1.6	Sonstiges				
1.6.1	Straßen, Brauchwasser, Versetzen der Gasfackel etc.		psch		25.000,00
1.6.2	Erstbefüllung PAK-Silo	30	t	1.400,00	42.000,00
	Summe 1.6 Sonstiges:				67.000,00
1.7	Baustelleneinrichtung				
1.7.1	Baustelleneinrichtung (10 %)		psch		63.060,00
	Summe 1.7 Baustelleneinrichtung:				63.060,00
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				693.660,00
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen				
2.1.1	Dosierleitung PAK DN 100	10	m	160,00	1.600,00
2.1.2	Dosierleitung Fällmittel	2	m	120,00	240,00
2.1.3	Dosierleitung FHM	2	m	120,00	240,00
2.1.4	Rezirkulationsleitung PAK DN 300	30	m	250,00	7.500,00
2.1.5	Dichtigkeitsprüfung	44	m	20,00	880,00
2.1.6	Halterungen		psch		6.000,00
	Summe 2.1 Rohrleitungen:				16.460,00

Investitionskosten

Variante 1:

Pulveraktivkohlemit Kontakt- und Absetzbecken

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
2.2	Rührwerke				
2.2.1	Rührwerke Kontaktbecken	2	Stck	14.000,00	28.000,00
2.2.2	Rührwerke Dosierung	2	Stck	5.000,00	10.000,00
	Summe 2.2 Rührwerke:				38.000,00
2.3	Pumpen				
2.3.1	PAK-Entnahme-Pumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	7.000,00	14.000,00
2.3.2	PAK-Rezirkulations-Pumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	13.300,00	26.600,00
2.3.3	Zulaufpumpen (Entnahme aus Pumpenvorlage Filter)	2	Stck	15.000,00	30.000,00
	Summe 2.3 Pumpen:				70.600,00
2.4	Räumer				
2.4.1	Räumer Absetzbecken m. Skimmrinne	1	Stck	50.000,00	50.000,00
	Summe 2.4 Räumer:				50.000,00
2.5	Chemikalienstationen				
2.5.1	FHM- Lager und Dosierstation		psch		36.000,00
2.5.2	Dosierstation Fällmittel		psch		60.000,00
	Summe 2.5 Chemikalienstation:				96.000,00
2.6	PAK-Silo				
2.6.1	PAK-Silo	1	Stck	100.000,00	100.000,00
	Summe 2.6 PAK-Silo:				100.000,00
2.7	Mess- und Regeleinrichtung				
2.7.1	Regelschieber DN 350	1	Stck	6.000,00	6.000,00
2.7.2	MID DN 350	1	Stck	4.800,00	4.800,00
2.7.3	Rohrleitung mit Ausbaustück, Flanschen etc.		psch		25.000,00
	Summe 2.7 Mess- und Regeleinrichtung:				35.800,00
2.8	Sonstiges				
2.8.1	Inbetriebnahme, Doku, Probetrieb (5 %)		psch		20.343,00
	Summe 2.8 Sonstiges				20.343,00
	Zwischensumme				427.203,00
2.9	Baustelleneinrichtung				
2.9.1	Baustelleneinrichtung (ca. 6 %)		psch		25.632,00
	Summe 2.9 Baustelleneinrichtung:				25.632,00
	Gesamtsumme 2 Kosten Maschinentechnik:				452.835,00
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	Schaltanlage		psch		77.000,00
3.2	Messtechnik		psch		22.000,00
3.3	SPS		psch		32.000,00
3.4	Kabel/Leitungen		psch		25.000,00
3.5	Verlegung/Installation		psch		33.000,00
3.6	SPS Filter		psch		100.000,00
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				289.000,00
1	Gesamtsumme Baukosten				693.660,00
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				452.835,00
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				289.000,00
	Summe Investkosten netto				1.435.495,00
	+ 19 % MwSt.				272.744,05
	Summe Investkosten brutto				1.708.239,05

Investitionskosten

Variante 2:

Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (kont. Betrieb; 1-stufig; mit Halle)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Neubau Bauwerke				
1.1.1	Erweiterungshalle für GAK Adsorber		psch		180.000,00
1.1.2	Bodenplatte Halle	192	m³	325,00	62.400,00
1.1.3	Abschlagbauwerk	1	psch		15.000,00
	Summe 1.1 Neubau Bauwerke:				257.400,00
1.2	Umbauarbeiten				
1.2.1	Umbau Schächte	1	psch		5.000,00
	Summe 1.2 Umbauarbeiten				5.000,00
1.3	Erdverlegte Rohrleitungen				
1.3.1	Ablaufleitung	10	m	500,00	5.000,00
1.3.2	Spülabwasserleitung	35	m	250,00	8.750,00
	Summe 1.3 Erdverlegte Rohrleitungen:				13.750,00
1.4	Sonstiges				
1.4.1	Straßen, Brauchwasser, etc.		psch		12.500,00
1.4.2	Montage, Krangestellung		psch		8.000,00
1.4.3	Erstbefüllung Adsorber	32	t	1.650,00	52.800,00
1.4.4	Inbetriebnahme, Dokumentation		psch		8.000,00
	Summe 1.4 Sonstiges:				81.300,00
1.5	GAK Adsorber				
1.5.1	Druckkessel	4	Stck	70.000,00	280.000,00
	Summe 1.5 GAK Adsorber:				280.000,00
1.6	Baustelleneinrichtung				
1.6.1	Baustelleneinrichtung 12 %		psch		76.494,00
	Summe 1.6 Baustelleneinrichtung:				76.494,00
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				713.944,00
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen				
2.1.1	Rohrleitungen		psch		45.000,00
	Summe 2.1 Rohrleitungen:				45.000,00
2.2	GAK Adsorber				
2.2.1	Druckkessel	0	Stck	70.000,00	0,00
	Summe 2.2 GAK Adsorber:				0,00
2.3	Pumpen				
2.3.1	Klarwasserpumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	27.000,00	54.000,00
2.3.2	Spülwasserpumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	21.000,00	42.000,00
	Summe 2.3 Pumpen:				96.000,00
2.4	Gebläse				
2.4.1	Gebläse	2	Stck	7.500,00	15.000,00
	Summe 2.4 Gebläse:				15.000,00
2.5	Armaturen				
2.5.1	Armaturen		psch		35.000,00
	Summe 2.5 Armaturen:				35.000,00
	Zwischensumme				191.000,00

Investitionskosten

Variante 2:

Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (kont. Betrieb; 1-stufig; mit Halle)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
2.6	Baustelleneinrichtung				
2.6.1	Baustelleneinrichtung 6 %		psch		11.460,00
	Summe 2.6 Baustelleneinrichtung:				11.460,00
	Gesamtsumme 2 Maschinentechnik Kosten:				202.460,00
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	Schaltanlage		psch		73.000,00
3.2	Messtechnik		psch		37.000,00
3.3	SPS		psch		41.000,00
3.4	Kabel/Leitungen		psch		30.000,00
3.5	Verlegung/Installation		psch		32.000,00
3.6	SPS Filter		psch		100.000,00
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				313.000,00
1	Gesamtsumme Baukosten				713.944,00
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				202.460,00
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				313.000,00
	Summe Investkosten netto				1.229.404,00
	+ 19 % MwSt.				233.586,76
	Summe Investkosten brutto				1.462.990,76

Investitionskosten

Variante 2:

Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (kont. Betrieb; 1-stufig; ohne Halle)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Neubau Bauwerke				
1.1.1	Erweiterungshalle für GAK Adsorber		psch		
1.1.2	Bodenplatte Halle	192	m³	325,00	62.400,00
1.1.3	Abschlagbauwerk	1	psch		15.000,00
	Summe 1.1 Neubau Bauwerke:				77.400,00
1.2	Umbauarbeiten				
1.2.1	Umbau Schächte	1	psch		5.000,00
	Summe 1.2 Umbauarbeiten				5.000,00
1.3	Erdverlegte Rohrleitungen				
1.3.1	Ablaufleitung	10	m	500,00	5.000,00
1.3.2	Spülabwasserleitung	35	m	250,00	8.750,00
	Summe 1.3 Erdverlegte Rohrleitungen:				13.750,00
1.4	Sonstiges				
1.4.1	Straßen, Brauchwasser, etc.		psch		12.500,00
1.4.2	Montage, Krangestellung		psch		8.000,00
1.4.3	Erstbefüllung Adsorber	32	t	1.650,00	52.800,00
1.4.4	Inbetriebnahme, Dokumentation		psch		8.000,00
	Summe 1.4 Sonstiges:				81.300,00
1.6	GAK Adsorber				
1.6.1	Druckkessel	4	Stck	70.000,00	280.000,00
	Summe 2.2 GAK Adsorber:				280.000,00
1.5	Baustelleneinrichtung				
1.5.1	Baustelleneinrichtung 12 %		psch		54.894,00
	Summe 1.5 Baustelleneinrichtung:				54.894,00
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				512.344,00
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen				
2.1.1	Rohrleitungen		psch		45.000,00
	Summe 2.1 Rohrleitungen:				45.000,00
2.2	GAK Adsorber				
2.2.1	Druckkessel	0	Stck	70.000,00	0,00
	Summe 2.2 GAK Adsorber:				0,00
2.3	Pumpen				
2.3.1	Klarwasserpumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	27.000,00	54.000,00
2.3.2	Spülwasserpumpen, einschl. maschinentechnischer Ausrüstung	2	Stck	21.000,00	42.000,00
	Summe 2.3 Pumpen:				96.000,00
2.4	Gebläse				
2.4.1	Gebläse	2	Stck	7.500,00	15.000,00
	Summe 2.4 Gebläse:				15.000,00
2.5	Armaturen				
2.5.1	Armaturen		psch		35.000,00
	Summe 2.5 Armaturen:				35.000,00
	Zwischensumme				191.000,00

Investitionskosten

Variante 2:

Granulierte Aktivkohle in nachgeschalteten Druckkesseln (kont. Betrieb; 1-stufig; ohne Halle)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
2.6	Baustelleneinrichtung				
2.6.1	Baustelleneinrichtung 6 %		psch		11.460,00
	Summe 2.6 Baustelleneinrichtung:				11.460,00
	Gesamtsumme 2 Maschinentechnik Kosten:				202.460,00
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	Schaltanlage		psch		73.000,00
3.2	Messtechnik		psch		37.000,00
3.3	SPS		psch		41.000,00
3.4	Kabel/Leitungen		psch		30.000,00
3.5	Verlegung/Installation		psch		32.000,00
3.6	SPS Filter		psch		100.000,00
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				313.000,00
1	Gesamtsumme Baukosten				512.344,00
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				202.460,00
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				313.000,00
	Summe Investkosten netto				1.027.804,00
	+ 19 % MwSt.				195.282,76
	Summe Investkosten brutto				1.223.086,76

Investitionskosten

Variante 3:

Granulierte Aktivkohle in vorhandenen Filtern (kont. Betrieb)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Umbau Filtration				
1.1.1	Umbau Klar-/Rohwasserzulauf	1	psch		18.000,00
1.1.2	Umbau für Ablaufleitung/Bypass incl. Schacht	1	psch		50.000,00
1.1.4	Umbau für Klarwasserpumpe und -leitung	1	psch		20.000,00
	Summe 1.1 Neubau Bauwerke:				88.000,00
1.2	Erdverlegte Rohre				
1.2.1	Ablaufleitung GAK-Filter	60	m	500,00	30.000,00
	Summe 1.2 Erdverlegte Rohre:				30.000,00
1.3	Sonstiges				
1.3.1	Erstbefüllung Adsorber	25	t	1.650,00	41.250,00
1.3.2	Inbetriebnahme, Dokumentation		psch		20.000,00
	Summe 1.3 Sonstiges:				61.250,00
1.4	Baustelleneinrichtung				
1.4.1	Baustelleneinrichtung 12 %		psch		21.510,00
	Summe 1.4 Baustelleneinrichtung:				21.510,00
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				200.760,00
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Rohrleitungen				
2.1.1	Rohrleitungen		psch		45.000,00
2.1.2	Demontage von bestehenden Leitungen		psch		10.000,00
	Summe 2.1 Rohrleitungen:				55.000,00
2.2	Pumpen				
2.2.1	Klarwasserpumpen, einschl. Armaturen	2	Stck	18.000,00	36.000,00
	Summe 2.2 Pumpen:				36.000,00
2.3	Gebläse				
2.3.1	Gebläse Umrüstung FU	1	Stck	5.000,00	5.000,00
	Summe 2.3 Gebläse:				5.000,00
2.4	Armaturen GAK				
2.4.1	Armaturen Kessel (GAK)	6	Stck	10.000,00	60.000,00
	Summe 2.4 Armaturen:				60.000,00
2.4	Armaturen (Eneuerung bestehende Filter)				
2.4.1	Armaturen Filter	8	Stck	10.000,00	80.000,00
	Summe 2.4 Armaturen:				80.000,00
	Zwischensumme				236.000,00
2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung 6 %		psch		14.160,00
	Summe 2.4 Baustelleneinrichtung:				14.160,00
	Gesamtsumme 2 Maschinentechnik Kosten:				250.160,00

Investitionskosten

Variante 3:

Granulierte Aktivkohle in vorhandenen Filtern (kont. Betrieb)

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	Schaltanlage		psch		77.000,00
3.2	Messtechnik		psch		45.000,00
3.3	SPS		psch		41.000,00
3.4	Kabel/Leitungen		psch		28.000,00
3.5	Verlegung/Installation		psch		33.000,00
3.6	SPS Filter		psch		50.000,00
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				274.000,00
1	Gesamtsumme Baukosten				200.760,00
2	Gesamtsumme Maschinenteknik Kosten				250.160,00
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				274.000,00
	Summe Investkosten netto				724.920,00
	+ 19 % MwSt.				137.734,80
	Summe Investkosten brutto				862.654,80

Investitionskosten

Variante 4:
Ozonanlage

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
1	Baukosten				
1.1	Reaktionsbecken und verbindende Leitungen				
1.1.1	Anschlussleitungen DN 700 (Zu- und Ablauf Ozonanlage)	50	m	1.100,00	55.000,00
1.1.2	Mauerflansche DN 700	2	Stck.	1.600,00	3.200,00
1.1.3	Bögen DN 700	4	Stck.	3.500,00	14.000,00
1.1.4	Verbindungsleitung DN 400 (Zu- und Ablauf Ozonanlage)	10	m	300,00	3.000,00
1.1.5	Bögen DN 400	0	Stck.	600,00	0,00
1.1.6	Mauerflansche DN 400	4	Stck.	900,00	3.600,00
1.1.7	Erdarbeiten		psch		25.000,00
1.1.8	Neubau Ozonbecken (2 Kammern, gasdichte Decke etc.)	100	m³	600,00	60.000,00
1.1.9	Gewindeschieber DN 700, Wst.-Nr. 1.4571	2	Stck	5.000,00	10.000,00
1.1.10	Gewindeschieber DN 400, Wst.-Nr. 1.4571	4	Stck	2.800,00	11.200,00
1.1.11	Ablaurinnen	5	m	800,00	4.000,00
	Summe 1.1 Reaktionsbecken und verbindende Leitungen:				189.000,00
1.2	Sauerstofftank, Kühlung und Einhausung Ozonerzeuger				
1.2.1	Befestigung Sauerstofftank	50	m²	120,00	6.000,00
1.2.2	Fundament Sauerstofftank und Verdampfer	10	m³	350,00	3.500,00
1.2.3	Fundament Kühlung	4	m³	350,00	1.400,00
1.2.4	Fundament Einhausung Ozonerzeuger (Fertigcontainer)	8	m³	350,00	2.800,00
1.2.5	Fertigcontainer	1	Stck	7.550,00	7.550,00
1.2.6	baul. Ausrüstung		psch		2.000,00
	Summe 1.2 Sauerstofftank, Kühlung und Einhausung Ozonerzeuger:				23.250,00
1.3	Sonstiges				
1.3.1	Brauchwasser, Kabeltrasse, Bauwerksanschlüsse etc.		psch		20.000,00
	Summe 1.3 Sonstiges:				20.000,00
	Zwischensumme Baukosten				232.250,00
1.4	Baustelleneinrichtung				
1.4.1	Baustelleneinrichtung (10 %)		psch		23.225,00
	Summe 1.4 Baustelleneinrichtung:				23.225,00
	Gesamtsumme 1 Baukosten:				255.475,00
2	Maschinentechnik Kosten				
2.1	Ozonerzeugungsanlage				
2.1.1	Ozonanlage bestehend aus		psch		220.800,00
	Ozongenerator (7,2 kg/h)		inkl.		
	Kühlwassersystem inkl. Pumpe		inkl.		
	Restozon-Entfernungsanlage		inkl.		
	Raumluftüberwachung		inkl.		
	Ozommessung Produktgas		inkl.		
	Instrumente und Instrumentenluftversorgung		inkl.		
	Montageüberwachung, Inbetriebsetzung und Dokumentation		inkl.		
2.1.2	Pumpe und Injektor		psch		11.000,00
2.1.3	Leitungsanbindung Injektor		psch		7.500,00
2.1.4	Kühlaggregat		psch		8.500,00
2.1.5	Anbindung Kühlaggregat		psch		5.000,00
2.1.6	Rohrleitungssystem Abluft		psch		5.000,00
2.1.7	Rohrleitungssystem Sauerstoff		psch		10.000,00
2.1.8	Be- und Entlüftungsventil Ozonbecken	2	Stck	2.500,00	5.000,00
	Ozommessung im Ablauf	2	Stck	5.000,00	10.000,00
	Summe 2.1 Ozonerzeugungsanlage:				282.800,00
2.2	Mess- und Regeleinrichtung				
2.2.1	Regelschieber DN 400	2	Stck	9.000,00	18.000,00
2.2.2	MID DN 400	2	Stck	6.500,00	13.000,00
2.2.3	Rohrleitung mit Ausbaustück, Flanschen etc.		psch		10.000,00
	Summe 2.2 Mess- und Regeleinrichtung:				41.000,00

Investitionskosten

Variante 4:
Ozonanlage

Pos.	Kurztext	Menge	Einheit	Spez. Preis in €/Einheit	Gesamtpreis in €
2.3	Sonstiges				
2.3.1	Lieferung, Montage, Probetrieb		psch		50.000,00
	Summe 2.3 Sonstiges:				50.000,00
	Zwischensumme				373.800,00
2.4	Baustelleneinrichtung				
2.4.1	Baustelleneinrichtung		psch		5.000,00
	Summe 2.5 Baustelleneinrichtung:				5.000,00
	Gesamtsumme 2 Maschinentechnik Kosten:				378.800,00
3	EMSR-Technik Kosten				
3.1	Schaltanlage		psch		44.200,00
3.2	Messtechnik		psch		
3.3	SPS		psch		36.400,00
3.4	Kabel/Leitungen		psch		11.700,00
3.5	Verlegung/Installation		psch		19.500,00
3.6	SPS Filter		psch		100.000,00
	Gesamtsumme 3 EMSR-Technik Kosten:				211.800,00
1	Gesamtsumme Baukosten				255.475,00
2	Gesamtsumme Maschinentechnik Kosten				378.800,00
3	Gesamtsumme EMSR-Technik Kosten				211.800,00
	Summe Investkosten netto				846.075,00
	+ 19 % MwSt.				160.754,25
	Summe Investkosten brutto				1.006.829,25

Investitionskosten

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel mit Halle	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel ohne Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
1	Bau	693.660,00 €	713.944,00 €	512.344,00 €	200.760,00 €	255.475,00 €
2	Maschinenteknik	452.835,00 €	202.460,00 €	202.460,00 €	250.160,00 €	378.800,00 €
3	EMSR-Technik	289.000,00 €	313.000,00 €	313.000,00 €	274.000,00 €	211.800,00 €
	Investkosten netto	1.435.495,00 €	1.229.404,00 €	1.027.804,00 €	724.920,00 €	846.075,00 €
	+ 19 % MwSt.	<u>272.744,05 €</u>	<u>233.586,76 €</u>	<u>195.282,76 €</u>	<u>137.734,80 €</u>	<u>160.754,25 €</u>
	Investkosten brutto	1.708.239,05 €	1.462.990,76 €	1.223.086,76 €	862.654,80 €	1.006.829,25 €
	Prozente	198%	170%	142%	100%	117%

Energiebedarf

Pos.	Kurztext		Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel	Variante 3 GAK im vorh. Filter	Variante 4 Ozon
1	Pumpen					
1.1	Zulauf-/ Beschickungspumpen					
	Fördermenge	l/s	83	83	83	83
		m³/h	300	300	300	300
	geodätische Höhe	m	2,0	5,0	5,0	
	Verluste	m	1,0	1,0	1,0	
	manometrische Förderhöhe	m	3,0	6,0	6,0	0,5
	Laufzeit	h/d	24	24	24	24
	Energiebedarf	kWh/a	39.404	78.808	78.808	6.567
1.2	PAK-Rezirkulationspumpen					
	Fördermenge	l/s	83			
		m³/h	300			
	geodätische Höhe	m	1,0			
	Verluste	m	0,5			
	manometrische Förderhöhe	m	1,5			
	Laufzeit	h/d	24			
	Energiebedarf	kWh/a	19.702			
1.3	PAK-Entnahmepumpen					
	Fördermenge	l/s	0,5			
		m³/h	1,9			
	geodätische Höhe	m	1,0			
	Verluste	m	2,0			
	manometrische Förderhöhe	m	3,0			
	Laufzeit	h/d	24			
	Energiebedarf	kWh/a	250			
1.4	Dosierpumpen					
	PAK	kW	2,4			
	FHM	kW	0,4			
	Laufzeit	h/d	24			
	Energiebedarf	kWh/a	24.178			
1.5	Spülwasserpumpen					
	Fördermenge	l/s		101	53	
		m³/h		365	192	
	Druckhöhe	m		6,0	6,0	
	Anzahl Filter zu spülen	Stck		4	6	
	Spüldauer pro Filter	min		10	10	
	Laufzeit	h/d		0,667	1,000	
	Energiebedarf	kWh/a		2.661	2.099	
1.7	Spülabwasserpumpen					
	Fördermenge	l/s		101		
		m³/h		365		
	geodätische Höhe	m		5,0		
	Verluste	m		0,5		
	manometrische Förderhöhe	m		5,5		
	Laufzeit	h/d		0,667		
	Energiebedarf	kWh/a		2.217		
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	83.534	83.687	80.908	6.567
2	Gebläse					
2.1	Spülluftgebläse					
	Anzahl Gebläse	Stck		1		
	Leistung pro Gebläse	kW		16		
	Anzahl Filter zu spülen	Stck		6		
	Spüldauer pro Filter	min		3		
	Laufzeit	h/d		0,002		
	Energiebedarf	kWh/a		10		
	Summe 2: Gebläse	kWh/a		10		

Energiebedarf

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel	Variante 3 GAK im vorh. Filter	Variante 4 Ozon
3	Räumer				
3.1	Räumer				
	Anzahl Räumer	Stck	1		
	Leistung pro Räumer	kW	0,2		
	Laufzeit	h/d	24		
	Energiebedarf	kWh/a	1.752		
	Summe 3: Räumer	kWh/a	1.752		
4	Rührwerke				
4.1	Rührwerke Kontaktbecken				
	Volumen Kontaktbecken	m ³	150		
	Leistung	W/m ³	10		
	Laufzeit	h/d	24		
	Energiebedarf	kWh/a	13.135		
4.2	Rührwerke Dosierung				
	Anzahl	Stck	2		
	Volumen pro Dosierstelle	m ³	3		
	Leistung	W/m ³	3		
	Laufzeit	h/d	24		
	Energiebedarf	kWh/a	79		
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	13.214		
5.	Ozonanlage				
5.1	Ozonerzeugung				
	Energiebedarf	kWh/a			
5.2	Ozonvernichtung				
	mit 900 W/2h täglich				
	Energiebedarf	kWh/a			
	Summe 5: Ozonanlage	kWh/a			250.278
6.	Messtechnik				
	0,005	kW/m ³			
	Energiebedarf	kWh/a	8.500	8.500	8.500
	Summe 6: Messtechnik	kWh/a	8.500	8.500	8.500
	Summe 1: Pumpen	kWh/a	83.534	83.687	80.908
	Summe 2: Gebläse	kWh/a	0	10	0
	Summe 3: Räumer	kWh/a	1.752	0	0
	Summe 4: Rührwerke	kWh/a	13.214	0	0
	Summe 5: Ozonanlage	kWh/a	0	0	250.278
	Summe 6: Messtechnik	kWh/a	8.500	8.500	8.500
	Gesamtsumme Energiebedarf	kWh/a	106.999	92.197	89.408
					265.345

Betriebskosten

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit	Variante 2	Variante 3 GAK im Filter	Variante 4 Ozon
		Kontakt- und Absetzbecken €/a	Nachgeschaltete Druckkessel €/a	€/a	€/a
1	Personalkosten				
	Menge	0,25 1/a	0,25 1/a	0,25 1/a	0,19 1/a
	spez. Preis	40.000 €/1	40.000 €/1	40.000 €/1	40.000 €/1
		10.000,00	10.000,00	10.000,00	7.500,00
	Gesamtsumme 1 Personalkosten:	10.000,00	10.000,00	10.000,00	7.500,00
2	Energiekosten				
	Menge	106.999 kWh/a	92.197 kWh/a	89.408 kWh/a	265.345 kWh/a
	spez. Preis	0,14597 €/kWh	0,14597 €/kWh	0,14597 €/kWh	0,14597 €/kWh
		15.618,29	13.457,68	13.050,50	38.731,44
	Gesamtsumme 2 Energiekosten:	15.618,29	13.457,68	13.050,50	38.731,44
3	Chemikalienkosten				
3.1	PAK / GAK	Menge	19 t/a	43 t/a	41 t/a
		spez. Preis	1.400 €/t	1.260 €/t	1.260 €/t
			27.284,95	54.495,14	51.289,54
3.2	Flockungshilfsmittel	Menge	0,4 t/a		
		spez. Preis	1.300 €/t		
			506,72		
3.3	Fällmittel		wird nicht angesetzt, da sich dadurch die Fällmittelmenge Simultan- und Nachfällung reduziert		
3.4	Sauerstoff				
	Sauerstoffanlieferung einschl. Tankmiete	Menge			94608 kg/a
		spez. Preis			0,20 €/kg
					18.921,60
	Gesamtsumme 3 Chemikalienkosten:		27.791,67	54.495,14	51.289,54

Betriebskosten

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken €/a	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel €/a	Variante 3 GAK im Filter €/a	Variante 4 Ozon €/a
4	Schlammverbrennungs-/ Entsorgungskosten				
4.1	Zusätzlicher Schlamm durch PAK zur Verbrennung Menge	19 t/a			
	spez. Preis (Verbrennung)	50 €/t			
		974,46			
4.2	Zusatzkosten Verbrennung Menge	690 t/a			
	spez. Preis (Differenz Landwirtschaft - Verbrennung)	15 €/t			
		10.350,00			
	Gesamtsumme 5 Schlammverbrennungs-/ Entsorgungskosten:	11.324,46			
5	Kosten Wartung/Versicherungen				
	Bautechnik 1% Invest	6.936,60	5.123,44	2.007,60	2.554,75
	Maschinenteknik 2,5% Invest	11.320,88	5.061,50	6.254,00	9.470,00
	EMSR-Technik 2,5% Invest	7.225,00	7.825,00	6.850,00	5.295,00
	Gesamtsumme 5 Wartung/Versicherungen:	25.482,48	18.009,94	15.111,60	17.319,75
6	Abwasserabgabe				
		0,00	0,00	0,00	0,00
	Gesamtsumme 6 Abwasserabgabe:	0,00	0,00	0,00	0,00
1	Gesamtsumme Personalkosten	10.000,00	10.000,00	10.000,00	7.500,00
2	Gesamtsumme Energiekosten	15.618,29	13.457,68	13.050,50	38.731,44
3	Gesamtsumme Chemikalienkosten	27.791,67	54.495,14	51.289,54	18.921,60
4	Gesamtsumme Schlammverbrennungs-/ Entsorgungskosten	11.324,46			
5	Gesamtsumme Kosten Wartung/Versicherungen	25.482,48	18.009,94	15.111,60	17.319,75
6	Gesamtsumme Abwasserabgabe	0,00	0,00	0,00	0,00
	Summe Betriebskosten netto	90.216,89	95.962,76	89.451,65	82.472,79
	+ 19 % MwSt.	17.141,21	18.232,92	16.995,81	15.669,83
	Summe Betriebskosten brutto	107.358,10	114.195,69	106.447,46	98.142,62
	Summe Prozente	109%	116%	108%	100%

Betriebskosten

Pos.	Kurztext	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel in vorhandener Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
1	Personal	10.000,00 €/a	10.000,00 €/a	10.000,00 €/a	7.500,00 €/a
2	Energie	15.618,29 €/a	13.457,68 €/a	13.050,5 €/a	38.731,44 €/a
3	Chemikalien	27.791,67 €/a	54.495,14 €/a	51.289,54 €/a	18.921,6 €/a
4	Schlamm Entsorgung	11.324,46 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
5	Wartung/ Versicherungen	25.482,48 €/a	18.009,94 €/a	15.111,6 €/a	17.319,75 €/a
6	Abwasserabgabe	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
	Betriebskosten netto	90.216,89 €/a	95.962,76 €/a	89.451,65 €/a	82.472,79 €/a
	+ 19 % MwSt.	<u>17.141,21 €/a</u>	<u>18.232,92 €/a</u>	<u>16.995,81 €/a</u>	<u>15.669,83 €/a</u>
	Betriebskosten brutto	107.358,1 €/a	114.195,69 €/a	106.447,46 €/a	98.142,62 €/a
	Prozente	109%	116%	108%	100%

ERMITTLUNG DES JAHRESKOSTENBARWERTES NACH LAW (AUSGABE 1998)

Betrachtungszeitraum:
 Zinssatz:

40 Jahre
 5,00 %

Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken							
Teilleistung:	1.435.495 €	Investitionskosten Bau IKB Jahre	Investitionskosten E-MSR IKM 10	Investitionskosten E-MSR IKM 20	Investitionskosten E-MSR IKM 30	Investitionskosten Maschinen IKM 20	Laufende Kosten LK (4% / 40 a)
Bauleistungen	48%	693.660					
Verfahrens- und Maschinentechn. Ausrüstung	32%	452.835				452.835	
Elektrische Leistung und MSR-Technik	20%	289.000	289.000	289.000	289.000		
Betriebskosten (gemäß Betriebskostenberechnung)							90.217
Summe (netto) €		1.435.495	289.000	289.000	289.000	452.835	90.217
DFAKE (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten)		1,00000	0,61391	0,37689	0,23138	0,37689	
DFAKR (Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen)							17,15909
Projektkostenbarwert € netto		1.435.495	177.421	108.921	66.868	170.669	1.548.039
Summe Projektkostenbarwert: €			3.507.413				
Prozent			132%				

Variante 2 GAK in nachgeschaltete Druckkessel							
Teilleistung:	1.229.404 €	Investitionskosten Bau IKB Jahre	Investitionskosten E-MSR IKM 10	Investitionskosten E-MSR IKM 20	Investitionskosten E-MSR IKM 30	Investitionskosten Maschinen IKM 20	Laufende Kosten LK (4% / 40 a)
Bauleistungen	58%	713.944					
Verfahrens- und Maschinentechn. Ausrüstung	16%	202.460				202.460	
Elektrische Leistung und MSR-Technik	25%	313.000	313.000	313.000	313.000		
Betriebskosten (gemäß Betriebskostenberechnung)							95.963
Summe (netto) €		1.229.404	313.000	313.000	313.000	202.460	95.963
DFAKE (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten)		1,00000	0,61391	0,37689	0,23138	0,37689	
DFAKR (Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen)							17,15909
Projektkostenbarwert € netto		1.229.404	192.155	117.966	72.421	76.305	1.646.633
Summe Projektkostenbarwert: €			3.334.885				
Prozent			125%				

ERMITTLUNG DES JAHRESKOSTENBARWERTES NACH LAW (AUSGABE 1998)

Betrachtungszeitraum:
Zinssatz:

40 Jahre
5,00 %

Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel ohne Halle							
Teilleistung:		Investitionskosten Bau IKB Jahre	Investitionskosten E-MSR IKM 10	Investitionskosten E-MSR IKM 20	Investitionskosten E-MSR IKM 30	Investitionskosten Maschinen IKM 20	Laufende Kosten LK (4% / 40 a)
	1.027.804 €						
Bauleistungen	50%	512.344					
Verfahrens- und Maschinentechn. Ausrüstung	20%	202.460				202.460	
Elektrische Leistung und MSR-Technik	30%	313.000	313.000	313.000	313.000		
Betriebskosten (gemäß Betriebskostenberechnung)							95.963
Summe (netto) €		1.027.804	313.000	313.000	313.000	202.460	95.963
DFAKE (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten)		1,00000	0,61391	0,37689	0,23138	0,37689	
DFAKR (Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen)							17,15909
Projektkostenbarwert € netto		1.027.804	192.155	117.966	72.421	76.305	1.646.633
Summe Projektkostenbarwert: €			3.133.285				
Prozent			118%				
Variante 3 GAK im vorhandenen Filter							
Teilleistung:		Investitionskosten Bau IKB Jahre	Investitionskosten E-MSR IKM 10	Investitionskosten E-MSR IKM 20	Investitionskosten E-MSR IKM 30	Investitionskosten Maschinen IKM 20	Laufende Kosten LK (4% / 40 a)
	724.920 €						
Bauleistungen	28%	200.760					
Verfahrens- und Maschinentechn. Ausrüstung	35%	250.160				250.160	
Elektrische Leistung und MSR-Technik	38%	274.000	274.000	274.000	274.000		
Betriebskosten (gemäß Betriebskostenberechnung)							89.452
Summe (netto) €		724.920	274.000	274.000	274.000	250.160	89.452
DFAKE (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten)		1,00000	0,61391	0,37689	0,23138	0,37689	
DFAKR (Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen)							17,15909
Projektkostenbarwert € netto		724.920	168.212	103.268	63.397	94.283	1.534.909
Summe Projektkostenbarwert: €			2.688.989				
Prozent			101%				

ERMITTLUNG DES JAHRESKOSTENBARWERTES NACH LAW (AUSGABE 1998)

Betrachtungszeitraum:
Zinssatz:

40 Jahre
5,00 %

Teilleistung:	846.075 €	Variante 4 Ozon					Laufende Kosten LK (4% / 40 a)
		Investitionskosten Bau IKB Jahre	Investitionskosten E-MSR IKM 10	Investitionskosten E-MSR IKM 20	Investitionskosten E-MSR IKM 30	Investitionskosten Maschinen IKM 20	
Bauleistungen	30%	255.475					
Verfahrens.- und Maschinentechn. Ausrüstung	45%	378.800				378.800	
Elektrische Leistung und MSR-Technik	25%	211.800	211.800	211.800	211.800		
Betriebskosten (gemäß Betriebskostenberechnung)							82.473
Summe (netto) €		846.075	211.800	211.800	211.800	378.800	82.473
DFAKE (Diskontierungsfaktor für einmalige Kosten)		1,00000	0,61391	0,37689	0,23138	0,37689	
DFAKR (Diskontierungsfaktor für gleichförmige Kostenreihen)							17,15909
Projektkostenbarwert € netto		846.075	130.027	79.825	49.006	142.766	1.415.158
Summe Projektkostenbarwert: €			2.662.856				
Prozent			100%				

ERMITTLUNG DES JAHRESKOSTENBARWERTES NACH LAWA (AUSGABE 1998)

Betrachtungszeitraum: 40 Jahre

Zinssatz: 5,00 %

	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken	Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkessel	Variante 2 GAK in nachgeschalteten Druckkessel ohne Halle	Variante 3 GAK im vorhandenen Filter	Variante 4 Ozon
Projektkostenbarwert netto (€)	3.507.413	3.334.885	3.133.285	2.688.989	2.662.856
+ 19 % MwSt. (€)	666.409	633.628	595.324	510.908	505.943
Projektkostenbarwert brutto (€)	4.173.822	3.968.513	3.728.609	3.199.896	3.168.799
Prozent	132%	125%	118%	101%	100%

Jahreskosten

Zinssatz: 5,00 %

	Variante 1 PAK mit Kontakt- und Absetzbecken		Variante 2 Nachgeschaltete Druckkessel ohne Halle		Variante 3 GAK im vorhandenen Filter		Variante 4 Ozon	
	€/a		€/a		€/a		€/a	
Kapitalkosten								
1. Anteil Bau								
Investitionskosten (€)	693.660 €	40.425 €	512.344 €	29.858 €	200.760 €	11.700 €	255.475 €	14.889 €
Abschreibungsdauer (Jahre)	40		40		40		40	
Verzinsung (%)	5,0		5		5,0		5,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,0583		0,0583		0,0583		0,0583	
2. Anteil Maschinentechnik								
Investitionskosten (€)	452.835 €	36.337 €	202.460 €	16.246 €	250.160 €	20.073 €	378.800 €	30.396 €
Abschreibungsdauer (Jahre)	20		20		20		20	
Verzinsung (%)	5,0		5,0		5,0		5,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,0802		0,0802		0,0802		0,0802	
3. Anteil EMSR-Technik								
Investitionskosten (€)	289.000 €	37.427 €	313.000 €	40.535 €	274.000 €	35.484 €	211.800 €	27.429 €
Abschreibungsdauer	10		10		10		10	
Verzinsung (%)	5,0		5,0		5,0		5,0	
Kapitalwiedergew.-fakt.	0,1295		0,1295		0,1295		0,1295	
Summe Investitionskosten (€)	1.435.495 €		1.027.804 €		724.920 €		846.075 €	
Summe Kapitalkosten		114.189 €/a		86.639 €/a		67.258 €/a		72.714 €/a
Betriebskosten Gesamt		90.217 €/a		95.963 €/a		89.452 €/a		82.473 €/a
Jahreskosten (netto)		204.406 €/a		182.602 €/a		156.709 €/a		155.186 €/a
+ 19 % MwSt.		38.837 €/a		34.694 €/a		29.775 €/a		29.485 €/a
Jahreskosten (brutto)		243.243 €/a		217.296 €/a		186.484 €/a		184.672 €/a
		132%		118%		101%		100%

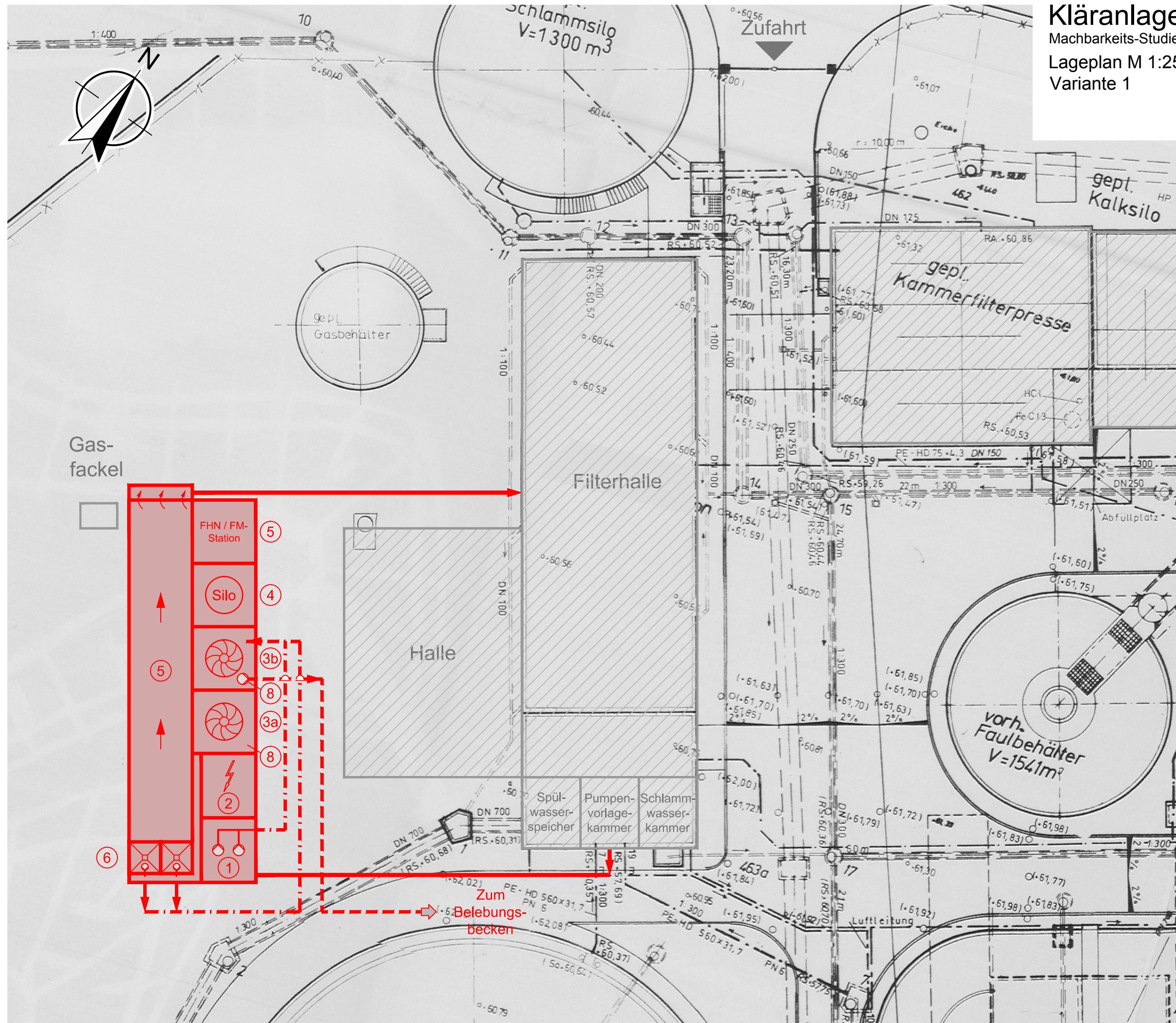
Planunterlagen

Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeits-Studie zur Spurenstoffelimination

Lageplan M 1:250

Variante 1



Legende

- Bestand
- Planung
- Abbruch

- ① Zulaufpumpen
- ② Niederspannungsanlage
- ③ Kontaktbecken
- ④ PAK-Silo
- ⑤ FHN / FM-Silo
- ⑥ Rücklauf Kohlepumpe
- ⑦ Absetzbecken
- ⑧ Kohleentnahmepumpe

P:\2012\1205 ZKA Harsewinkel Studie Spurenstoffelimination\Plaene\Studie\1205_Studie_Lageplan.dwg Layout: 001_V1

Plan-Nr.: 4119_00_001

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

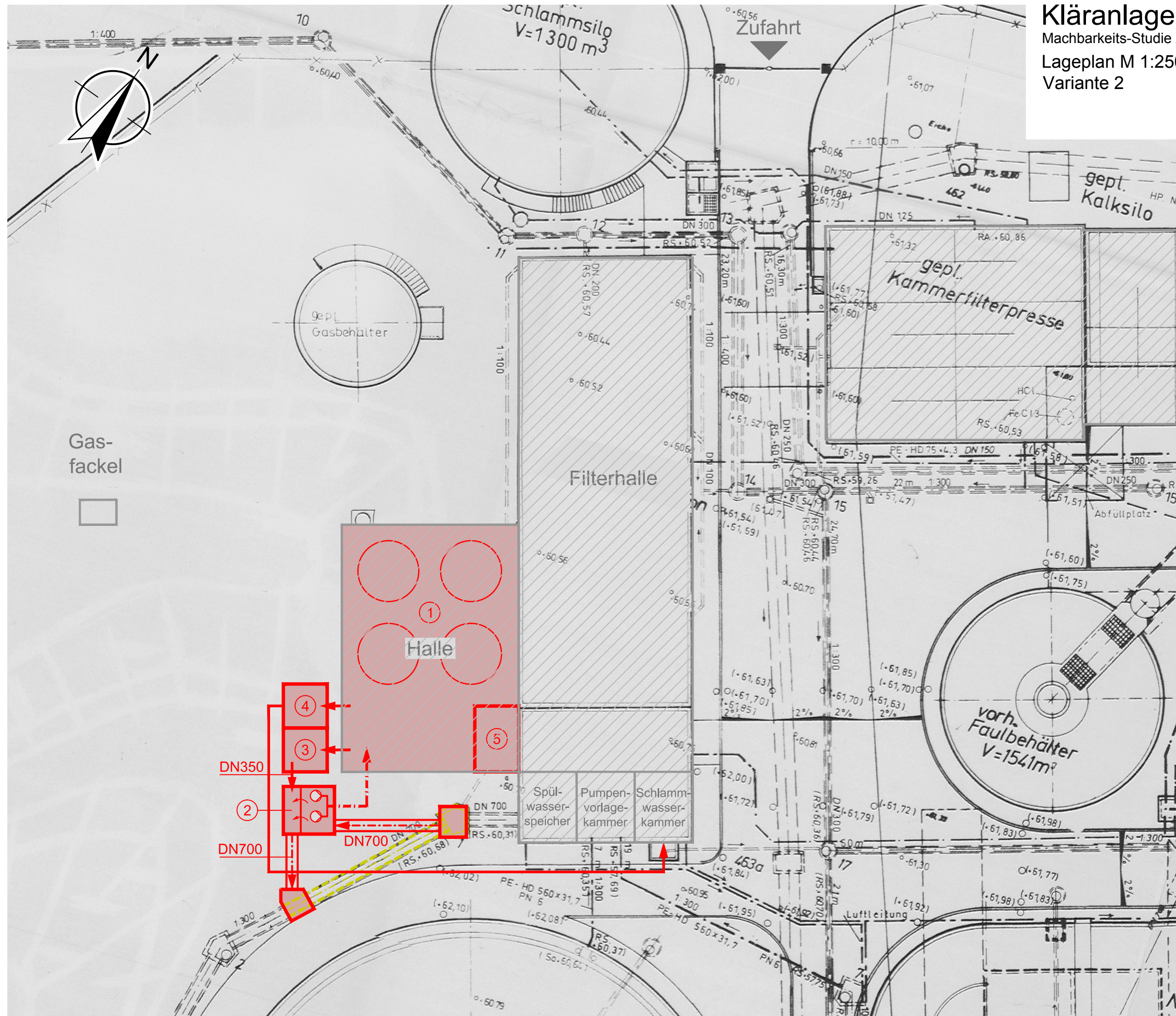
Stand: 18.06.2012

Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeits-Studie zur Spurenstoffelimination

Lageplan M 1:250

Variante 2



Legende

-  Bestand
-  Planung
-  Abbruch
-  1 GAK - Druckbehälter
-  2 Zulaufpumpwerk
GAK-Adsorber -
Abschlagbauwerk
-  3 Filtratspeicher und
Spülwasserpumpen
-  4 Rückspülwasser-Speicher
-  5 Gebläse EMSR...

Gas-
fackel



Plan-Nr.: 4119_00_002

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

Stand: 08.10.2012

Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeits-Studie zur Spurenstoffelimination



Filtrationshalle

Grundrisse und Schnitt o.M.

Variante 3

Legende

Bestand

Planung

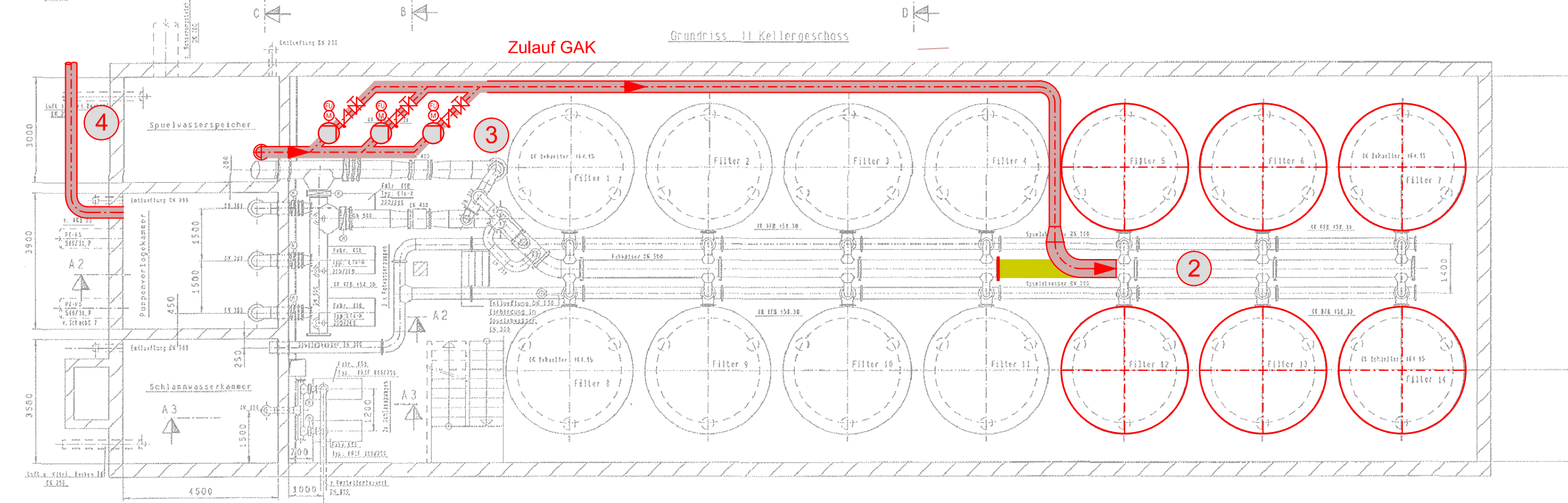
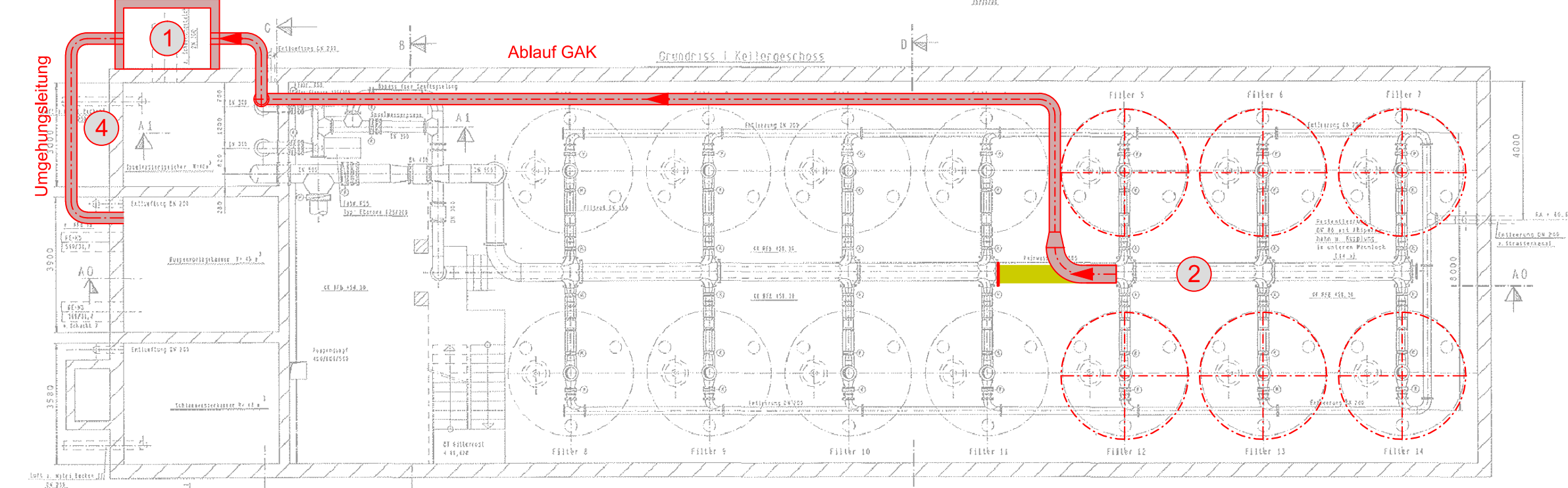
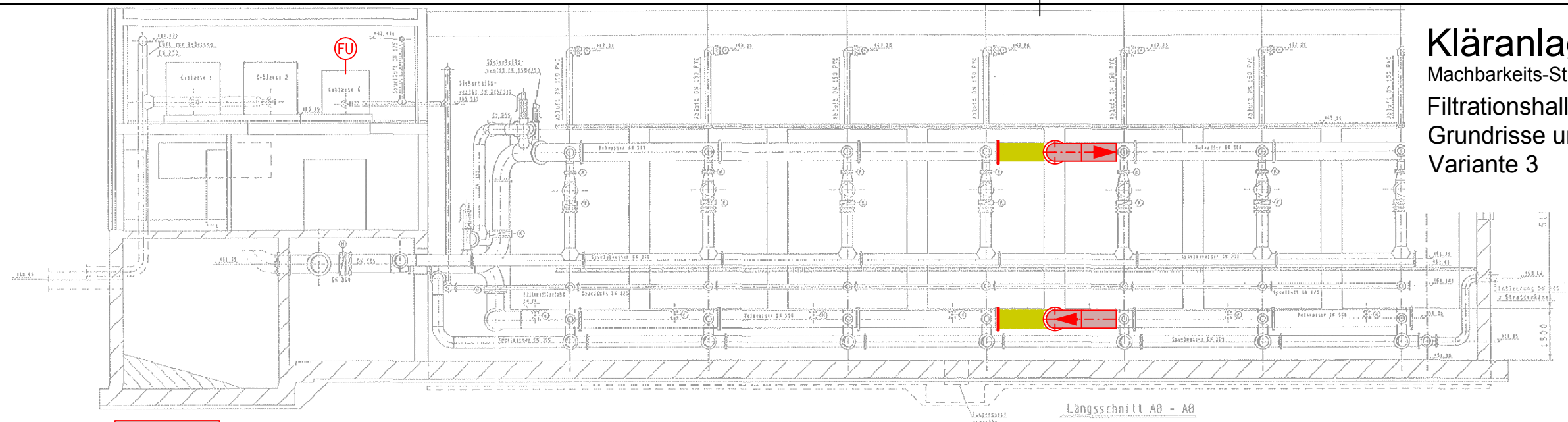
Abbruch

① Auslaufbauwerk

② GAK-Filter

③ Zulaufpumpwerk GAK

④ Umgehungsleitung



Plan-Nr.: 4119_00_003

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

Stand: 18.06.2012

Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeits-Studie zur Spurenstoffelimination

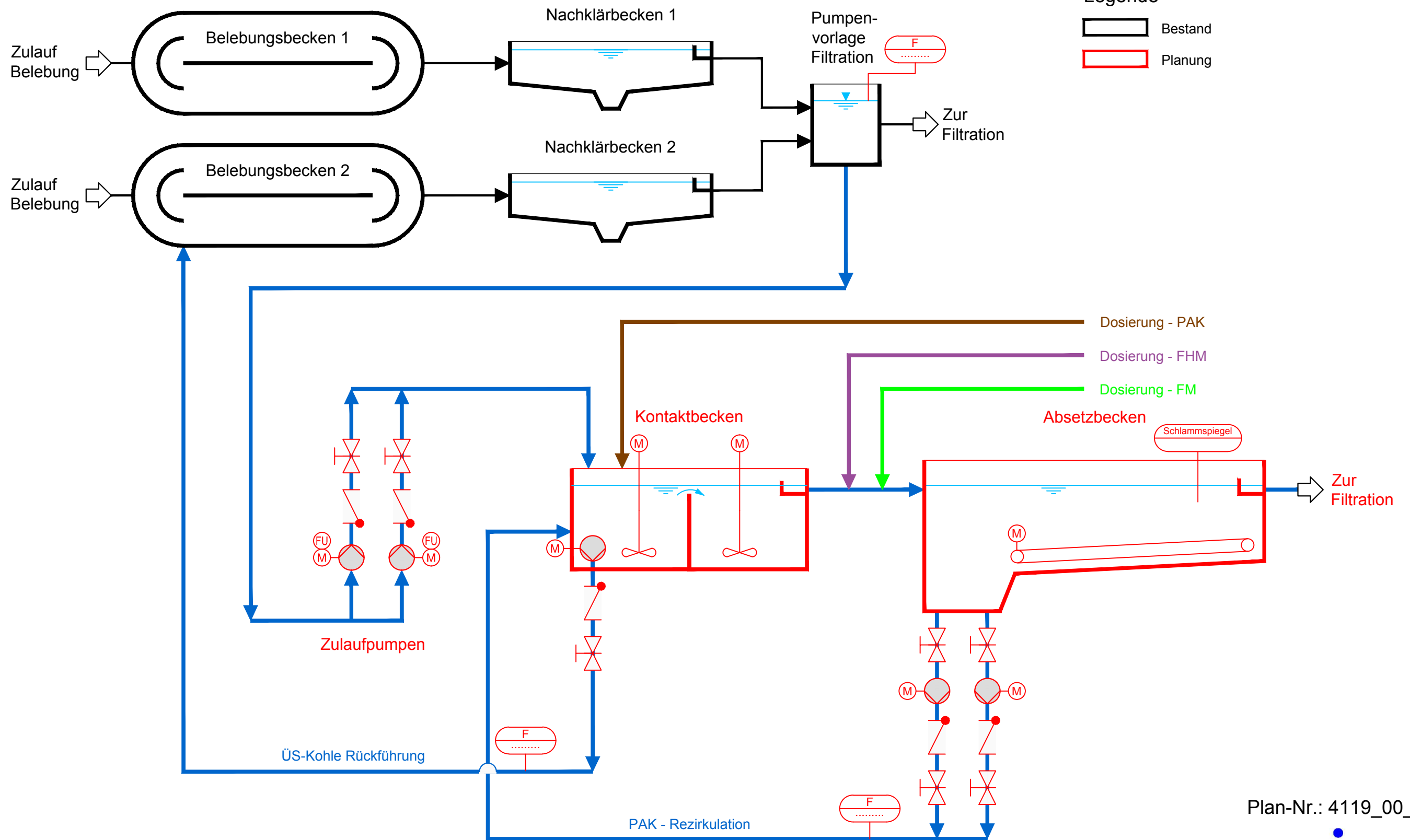
Verfahrensschema o.M.

Variante 1



Legende

- Bestand
- Planung



P:\2012\1205 ZKA Harsewinkel Studie Spurenstoffelimination\Plaene\Studie\1205_Studie_Schema.dwg Layout: 004_V1

Plan-Nr.: 4119_00_004

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

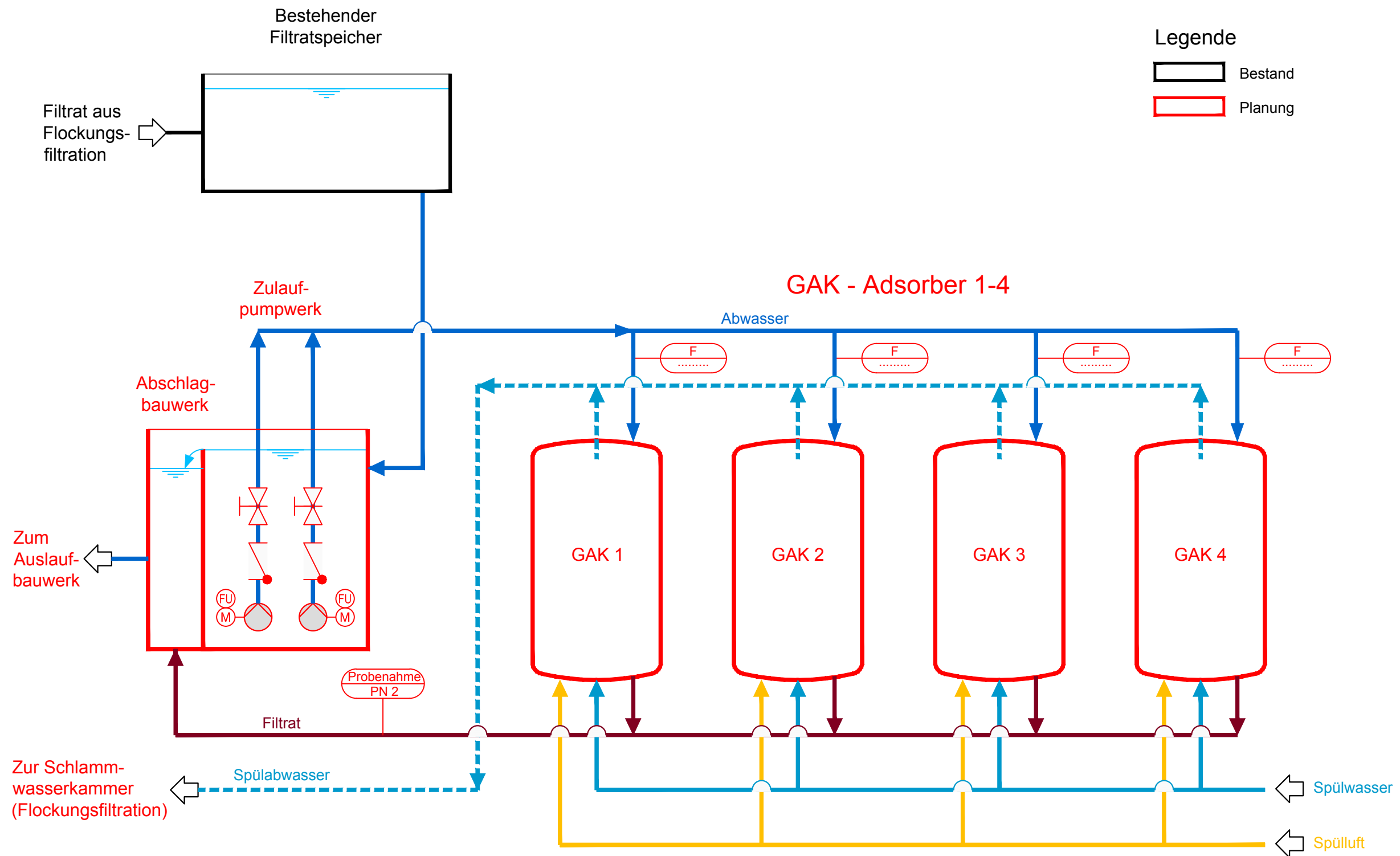
Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

Stand: 18.06.2012

Legende

 Bestand

 Planung



Plan-Nr.: 4119_00_005

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

Stand: 18.06.2012

Legende

- Bestand
- Planung
- Abbruch

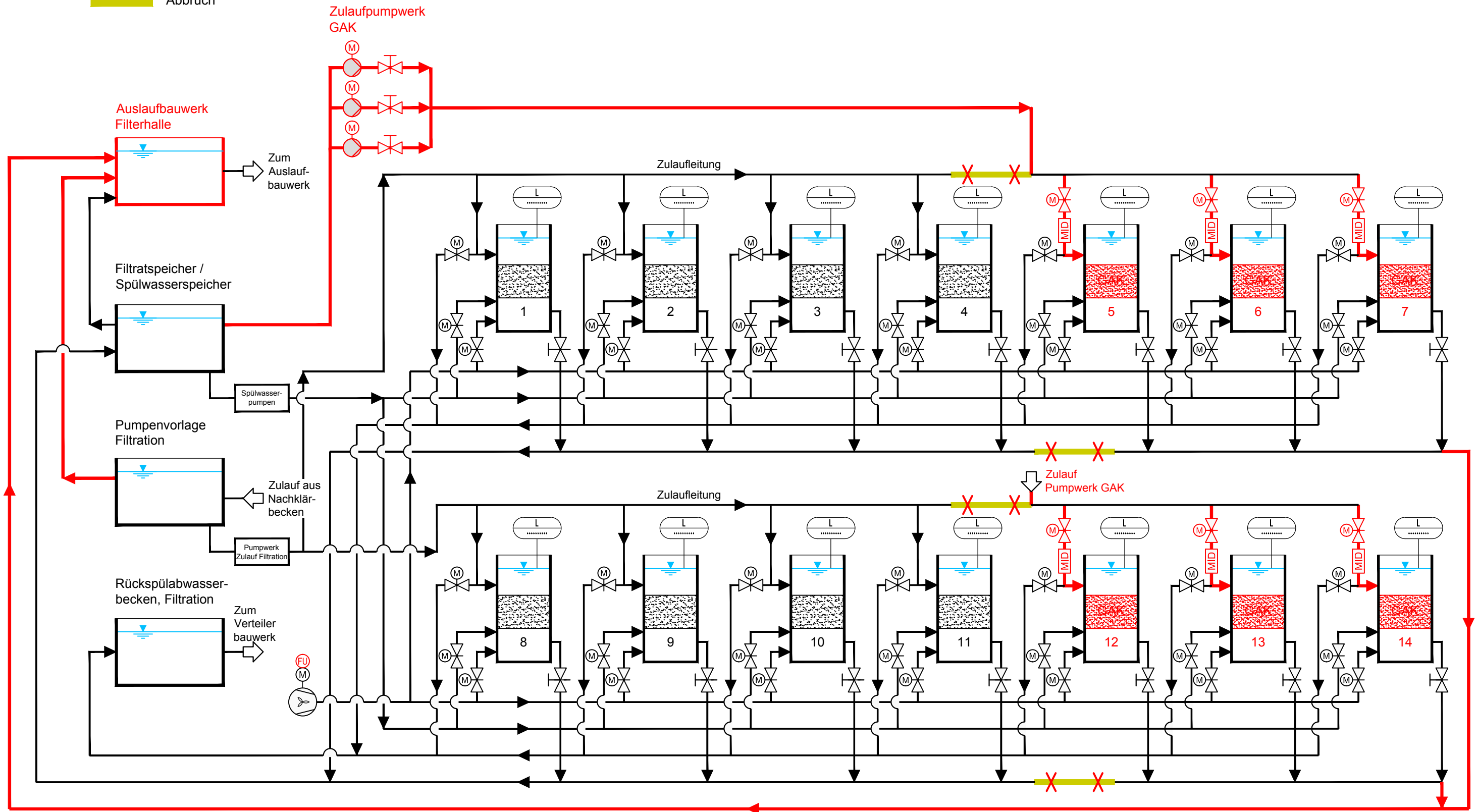
Kläranlage Harsewinkel

Machbarkeits-Studie zur Spurenstoffelimination



Verfahrensschema o.M.

Variante 3



P:\2012\1205 ZKA Harsewinkel Studie Spurenstoffelimination\Plaene\Studie\1205_Studie_Schema.dwg Layout: 006_V3

Plan-Nr.: 4119_00_006

Hydro Ingenieure

Stockkampstraße 10
40477 Düsseldorf
Telefon 0211/44 99 1-0
Telefax 0211/44 99 1-40

Planungsgesellschaft für
Siedlungswasserwirtschaft mbH
Beratende Ingenieure

Stand: 18.06.2012