

Zentralklärwerk Wadersloh

Elimination von Arzneimitteln und
organischen Spurenstoffen

Machbarkeitsstudie

Projekt-Nr.: 160321

Juli 2017

Ausfertigung Nr. 10/10

Inhaltsverzeichnis

Seite:

Abbildungsverzeichnis	III	
Tabellenverzeichnis	IV	
1	Veranlassung	1
2	Zielsetzung	2
3	Grundlagen der Studie	3
3.1	Maßgebende Stoffgruppen und Mikroschadstoffe	3
3.2	Zentralkläranlage Wadersloh	6
3.2.1	Übersicht	6
3.2.2	Behandlungskonzept	7
3.2.2.1	Mechanische Vorreinigung	7
3.2.2.2	Biologische Reinigungsstufe	7
3.2.2.3	Phosphorelimination	8
3.2.2.4	Schlammbewirtschaftung	8
3.2.3	Prognose Standortentwicklung	9
3.2.4	Einleitungsgrenzwerte	11
3.2.5	Belastungsdaten und Reinigungsleistung	11
3.2.5.1	Hydraulische Belastung	11
3.2.5.2	Stoffliche Belastung	12
3.2.5.2.1	Eigenüberwachung	12
3.2.5.2.2	Fremdüberwachung	12
3.2.5.2.3	Bromid	14
3.2.6	Bauliche Erweiterungsmöglichkeiten	15
3.3	Fließgewässer Liese	16
3.3.1	Gebietsbeschreibung	16
3.3.2	Gewässergüte	17
3.3.2.1	Ökologischer Zustand	18
3.3.2.2	Ökologisches Potential	19
3.3.2.3	Chemischer Gewässerzustand	21
3.3.2.4	Überschreitungen	22
3.3.3	Abwasser / Gewässerabflussrelation	22
3.3.4	Mikroschadstoffbelastung ober- und unterhalb der Kläranlageneinleitung	23
3.3.5	Wasserwirtschaftliche Relevanz einer 4. Reinigungsstufe	24
4	Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen	25
4.1	Allgemeines / Übersicht	25

4.2	Ozonierung	27
4.2.1	Grundlagen	27
4.2.2	Reinigungsleistung	28
4.2.3	Anlagenkomponenten	30
4.2.4	Anwendungsbeispiel	30
4.3	Adsorption an Aktivkohle	31
4.3.1	Grundlagen	31
4.3.2	Pulveraktivkohle (PAK)	32
4.3.2.1	Verfahrensbeschreibung	32
4.3.2.2	Anlagenkomponenten	32
4.3.2.3	Anwendungsbeispiel	33
4.3.3	Granulierte Aktivkohle (GAK)	34
4.3.3.1	Verfahrensbeschreibung	34
4.3.3.2	Anlagenkomponenten	35
4.3.3.3	Anwendungsbeispiel	35
4.4	Zusammenfassung und Folgerungen	35
5	Technische Konzepte zur Elimination von Mikroschadstoffen	37
5.1	Verfahrensvarianten	37
5.1.1	Variante 1 - Ozonierung	37
5.1.1.1	Technische Beschreibung	37
5.1.1.2	Erforderliche Maßnahmen	38
5.1.1.3	Grobauslegung	39
5.1.2	Variante 2-1 – Pulveraktivkohle (PAK) Teilstrom	39
5.1.2.1	Technische Beschreibung	39
5.1.2.2	Erforderliche Maßnahmen	40
5.1.2.3	Grobauslegung	41
5.1.3	Variante 2-2 – Pulveraktivkohle (PAK) Vollstrom	41
5.1.3.1	Technische Beschreibung	41
5.1.3.2	Erforderliche Maßnahmen	42
5.1.3.3	Grobauslegung	42
5.1.4	Variante 3 – Granulierte Aktivkohle (GAK)	43
5.1.4.1	Technische Beschreibung	43
5.1.4.2	Erforderliche Maßnahmen	44
5.1.4.3	Grobauslegung	44
5.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	45
5.2.1	Investitionskosten	45
5.2.2	Betriebskosten	46
5.2.3	Kostenvergleichsrechnung	48
5.2.4	Sensitivitätsanalyse	50
5.3	Bewertung Verfahrensauswahl	52
6	Zusammenfassung	54
7	Literaturverzeichnis	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: Luftbild der Kläranlage Wadersloh (<i>Google Maps, 2017</i>).....	6
Abbildung 3-2: Behandlungskonzept ZKW Wadersloh	7
Abbildung 3-3: Prognose Bevölkerungsentwicklung (<i>Bertelsmann Stift.</i>).....	9
Abbildung 3-4: Prognose der Veränderung der Altersstruktur von 2012 auf 2030 (<i>Bertelsmann Stift.</i>).....	10
Abbildung 3-5: Durchschnittliche Anzahl verordneter Packungen pro gesetzlich Krankenversichertem je Altersgruppe im Jahr 2011 (<i>Deutsches Arzneiprüfinstitut</i>)	10
Abbildung 3-6: Summenhäufigkeit der Stundenzuflüsse 2014-2016.....	12
Abbildung 3-7: Konzentration des TOC im Abl. der ZKW Wadersloh.....	13
Abbildung 3-8: Konzentration von Nitritstickstoff im Abl. der ZKW Wadersloh	14
Abbildung 3-9: Platzverhältnisse auf der ZKW Wadersloh (<i>EL-WAS, 2017</i>).....	15
Abbildung 3-10: Verlauf der Liese von der Quelle bis in die Mündung in die Glenne (angepasst von <i>ELWAS-WEB, 2016</i>)	16
Abbildung 3-11: Abschnitt 1 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015).....	17
Abbildung 3-12: Abschnitt 2 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015).....	18
Abbildung 3-13: Abschnitt 3 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015).....	19
Abbildung 3-14: Einleitungsstelle der ZKW Wadersloh in den Vorfluter Liese.....	20
Abbildung 3-15: Abschnitt 4 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015).....	21
Abbildung 3-16: Überschreitungstabelle für den 2. Und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015).....	22
Abbildung 4-1: Entfernungsraten von Mikroverunreinigungen auf kommunalen Kläranlagen (<i>BAFU, 2012</i>)	25
Abbildung 4-2: Verschiedene Verfahren zur Spurenstoffelimination (<i>Kompetenzzentrum Spurenstoffe, (http://www.koms-bw.de/, Zugriff 2017)</i>)	26
Abbildung 4-3: Eliminationsrate verschiedener Spurenstoffe bei unterschiedlicher Ozondosierung (<i>BAFU, 2012</i>)	29
Abbildung 4-4: Verfahrenschema ARA Flos Wetzikon, ohne Schlammbehandlung Referenz- und Versuchsstraße (<i>Aqua&Gas 2/2015</i>)	33
Abbildung 5-1: Ökotoxikologische Effekte der Ozonung (VSA).....	37

Abbildung 5-2: Schematische Darstellung Einbindung Ozonierung im Teilstrom	38
Abbildung 5-3: Schematische Darstellung Einbindung PAK Dosierung im Teilstrom	40
Abbildung 5-4: Schematische Darstellung Einbindung PAK Dosierung im Vollstrom	42
Abbildung 5-5: Schematische Darstellung Einbindung GAK Filtration im Teilstrom	44
Abbildung 5-6: Sensitivitätsanalyse – Abhängigkeit der jährlichen GAK-Verbrauchskosten von dem durchgesetzten Bettvolumen BVT (als Quotient aus behandeltem Wasservolumen und zur Verfügung stehendem Adsorbervolumen).....	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Kenndaten der biologischen Abwasserreinigung	8
Tabelle 3-2: Aktuelle Überwachungswerte ZKW Wadersloh	11
Tabelle 3-3: Statistische Auswertung der Ergebnisse der Eigenüberwachung vom Ablauf des Kläranlage	12
Tabelle 3-4: Konzentrationswerte für Trinkwasser aus der Aabachtalsperre (Westfälischen Wasser- und Umweltanalytik GmbH).....	15
Tabelle 3-5: Prioritäre Spurenstoffe, Kläranlagenablauf ZKW Wadersloh (04.04-07.04.17) sowie der Liese oberhalb u. unterhalb (07.04.17) der Kläranlageneinleitstelle.....	23
Tabelle 3-6: Prioritäre Spurenstoffe, Kläranlagenablauf ZKW Wadersloh (10.05-12.05.17) sowie der Liese oberhalb u. unterhalb (12.04.17) der Kläranlageneinleitstelle.....	23
Tabelle 4-1: Kenndaten Ozonierung Bad Sassendorf (<i>Lippeverband</i>)	31
Tabelle 4-2: Kenndaten Filtration über Granulierter Aktivkohle (<i>NordicWater</i>)	35
Tabelle 4-3: Bewertung der Eliminationsleistung ausgewählter Verfahren zur Spurenstoffelimination für verschiedene Stoffe.....	36
Tabelle 5-1: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – vorabgeschätzte, erforderlichen Investitionen (netto/brutto).....	46
Tabelle 5-2: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – vorabgeschätzte, jährliche Betriebskosten (brutto)	48
Tabelle 5-3: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – Jahreskapitalkosten aus Kostenvergleichsrechnung (brutto).....	49
Tabelle 5-4: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – Jahreskosten aus Kapitalkosten und Betriebskosten (brutto)	49
Tabelle 5-5: Sensitivitätsanalyse – Einfluss veränderter Energiekosten auf die Brutto - Jahreskosten der untersuchten Varianten	50

Tabelle 5-6: Sensitivitätsanalyse – Einfluss veränderter Aktivkohlekosten auf die Brutto -
Jahreskosten der untersuchten Varianten51

Tabelle 5-7: Nutzwertanalyse der unterschiedlichen Verfahrensvarianten53

Anlagenverzeichnis

Steckbrief Machbarkeitsstudie

Datenerhebung und Kostenermittlung

Variante 1: Teilstrombehandlung mit Ozonung

Variante 2_1: Teilstrombehandlung mit PAK

Variante 2_2: Vollstrombehandlung mit PAK

Variante 3: Teilstrombehandlung mit GAK

Untersuchungsberichte:

Untersuchungsbericht vom 02.06.17 (Probenahme Abl. KA 10.05-12.05.17)

Untersuchungsbericht vom 28.04.17 (Probenahme Abl. KA 04.04-07.04.17)

Pläne:

Lageplan Variante 1 – Ozonbehandlung	1:250
Bauwerke Variante 1 Ozonreaktor	1:100
Lageplan Variante 2-1 – PAK	1:250
Bauwerke Variante 2-1 PAK	1:100
Lageplan Variante 2-2 PAK	1:250
Bauwerke Variante 2-2 PAK	1:100
Lageplan Variante 3 –GAK	1:250
Bauwerke Variante3 – GAK	1:100

1 Veranlassung

Mikroverunreinigungen werden zunehmend in der aquatischen Umwelt nachgewiesen. Im Wesentlichen stammen die Schadstoffe aus Arzneimitteln, Pflegeproduktion, Pflanzenschutzmitteln, Bioziden, Waschmitteln, Kosmetika sowie Industrie- und Haushaltschemikalien. Insbesondere das Schmerzmittel Diclofenac sowie Röntgenkontrastmittel zählen zu den Problemstoffen. Zum Teil treten Konzentrationsbereiche oberhalb ökotoxikologischer Wirkschwellen auf. Eine Reihe von Wirksubstanzen, die als resistent, bioakkumulierend oder ökotoxisch einzustufen sind findet sich im Anhang der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Die bisher nachgewiesenen Belastungen von Oberflächengewässern mit Mikroverunreinigungen liegen noch in Konzentrationsbereichen, die keine akute Gefahr für den Menschen darstellen. Eine Beeinflussung verschiedener Gewässerorganismen, insbesondere durch Hormone und eine Akkumulation von Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt sind allerdings festzustellen.

Eine Begrenzung bzw. Reduzierung des Eintrags von Mikroschadstoffen in die Gewässer ist aus Gründen des vorbeugenden Gesundheits- und Umweltschutzes anzustreben.

In Siedlungsgebieten erfolgt der Eintrag von Mikroverunreinigungen meist verstreut und dezentral über die einzelnen Haushalte. Neben Industrie und Landwirtschaft stellen die kommunalen Kläranlagen daher einen bedeutenden Emittenten für Mikroverunreinigungen in die Gewässer dar („End of Pipe“) und sind folglich ein geeigneter Ansatzpunkt für technische Maßnahmen zur Eintragsbegrenzung.

Mit dem Ziel eine nachhaltige Verbesserung der Oberflächengewässerqualität zu erreichen hat die Europäische Union (EU) die Liste prioritärer Stoffe (Anhang X der EU-Wasserrahmenrichtlinie) im August 2013 um zwölf neue Stoffe erweitert (*Europäische Union, 2013*). Um zukünftige Priorisierungsverfahren ausreichend vorzubereiten wurde von der EU-Kommission zusätzliche eine Beobachtungsliste für maximal 14 Stoffe bzw. Stoffgruppen eingeführt. Für die hier aufgeführten Parameter werden unionsweit aktuell Überwachungsdaten gesammelt. Diese Beobachtungsliste enthält unter anderem drei Arzneimittelwirkstoffe (17alpha-Ethinylöstradiol, 17beta-Östradiol und Diclofenac).

Die EU-Mietgliedstaaten sind gegenüber der Kommission verpflichtet bis zum Jahr 2018 zusätzliche Maßnahmen- und Überwachungsprogramme vorzulegen, um einen guten chemischen Zustand der Gewässer hinsichtlich der genannten Stoffe zu erreichen. Überarbeitete Umweltqualitätsnormen sind für die bestehenden prioritären Stoffe in die jeweiligen Flusseinzugsgebiete für die Jahre 2015 bis 2021 aufzunehmen.

Dieser Ansatz spiegelt u.a. Ergebnisse von Zustandsanalysen und Stoffflussmodellierungen wider, die für Nordrhein-Westfalen (NRW) im Rahmen von F&U-Projekten durchgeführt wurden. Für verschiedene Ausbauszenarien wird ersichtlich, dass die Gesamtfracht an Mikroverunreinigungen bereits um ca. 43 % gesenkt werden kann, wenn Kläranlagen mit angeschlossenen Einwohnerwerten (EW) oberhalb von 100.000 (41 Anlagen in NRW) um eine weitergehendes Reinigungsverfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen (4. Reinigungsstufe) ergänzt werden (Götz, 2013).

Die aqua consult Ingenieur GmbH wurde am 24.11.2016 von der Stadt Wadersloh mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie über die Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen auf dem Zentralkläwerk (ZKW) Wadersloh beauftragt.

Eine entsprechende Studie wird hiermit vorgelegt.

2 **Zielsetzung**

Ziel der vorgelegten Machbarkeitsstudie ist die Erarbeitung und Bewertung verschiedener verfahrenstechnischer Konzepte zur Elimination von Mikroverunreinigungen auf der Kläranlage Wadersloh. Folgende Aspekte wurden im Rahmen der Machbarkeitsstudie bearbeitet:

1. Beschreibung des Behandlungskonzeptes der Kläranlage Wadersloh. Auswertung übermittelter Betriebsdaten zur Herleitung relevanter abwassertechnischer Kenndaten.
2. Darstellung und Bewertung der Gewässergüte des Vorfluters Liese (ökologischer Zustand, Mikroschadstoffbelastung).
3. Zusammenstellung möglicher verfahrenstechnischer Lösungsansätze zur Elimination von Mikroverunreinigungen unter Berücksichtigung der spezifischen Randbedingungen des ZKW Wadersloh.
4. Beschreibung und vergleichende Gegenüberstellung erarbeiteter Lösungskonzepte im Hinblick auf Investitions- und Betriebskosten,

Platzbedarf, Effizienz und Betriebsstabilität sowie eine Grobauslegung.

3 Grundlagen der Studie

Die Grundlagen der vorliegenden Studie umfassen eine Charakterisierung wesentlicher Stoffgruppen und Mikroschadstoffe, eine Beschreibung des ZKW Wadersloh einschließlich Betriebsdatenanalyse und der Zusammenstellung maßgebender abwassertechnischer Kennzahlen (hydraulisch / stofflich), eine Beschreibung des Fließgewässers Liese sowie rechtliche relevante Rahmenbedingungen.

3.1 Maßgebende Stoffgruppen und Mikroschadstoffe

Eine Vielzahl anthropogener Stoffen findet in unserer industrialisierten Welt täglich in verschiedensten Produkten ihren Einsatz. Die Rückstände dieser Stoffe gelangen vielfach nach Gebrauch über das kommunale Abwasser, über Mischwasserabschläge bzw. Niederschlagswassereinleitungen oder über diffuse Eintragswege in die Oberflächengewässer. So eingetragene Substanzen werden aufgrund des geringen Konzentrationsbereiches in der aquatischen Umwelt als organische Spurenstoffe oder Mikroverunreinigungen bezeichnet. Zu diesen Mikroverunreinigungen gehören u.a.:

- Synthetische organische Stoffe
- Arzneimittel/Pharmaka (z.B. Antiepileptika, Nichtopioid-Analgetika, Betablocker, Antibiotika, Phenethylamine, Lipidsenker)
- Psychopharmaka, endokrine wirksame Chemikalien (EDCs)
- Korrosionsschutzmittel (Benzotriazole)
- Diagnostika (Röntgenkontrastmittel)
- Kosmetika
- Hormone
- Moschusduftstoffe
- Pflanzenschutzmittel
- Flammenschutzmittel
- Biozide
- Wirtschaftsdünger
- Industriechemikalien (perfluorierte Tenside, Lösungsmittel, Flammschutzmittel einzelne Komplexbildner)
- Perfluorierte Tenside (PFT)
- Phosphororganische Verbindungen

Ein Großteil dieser anthropogenen Stoffe ist weit verbreitet über ein Siedlungsgebiet verteilt und wird nahezu kontinuierlich eingesetzt. Dies gilt insbesondere für Humanarzneimittel sowie Haushaltschemikalien. Rückstände dieser Stoffe gelangen folglich im häuslichen Schmutzwasser über die Kanalisation in die kommunalen Kläranlagen und über diese an punktuellen Eintragsquellen in die Vorfluter bzw. Oberflächengewässer. Mikroverunreinigungen aus landwirtschaftlich eingesetzten Stoffen, wie Pflanzenschutzmitteln, Bioziden und Wirtschaftsdüngern, in denen teilweise Rückstände von Tierarzneimitteln und natürlichen Hormonen enthalten sind, werden hingegen überwiegend durch Auswaschung und Erosion von den Landwirtschaftsflächen an diffusen Quellen in den Wasserkreislauf eingetragen.

Eine akute Gefährdung durch Mikroverunreinigungen für den Menschen liegt aufgrund der derzeit in Oberflächengewässern festgestellten Belastungen noch nicht vor. Auf Grund der biologischen Wirksamkeit vieler Ausgangs- bzw. Ursprungsstoffe führt der Eintrag allerdings in vielen Fällen zu einer negativen Beeinflussung von Wasserlebewesen des aquatischen Systems (Biozönose). Aufgrund der oftmals stetig anhaltenden Grundbelastung wirken viele Mikroverunreinigungen trotz geringer Konzentration auf Lebewesen chronisch-toxisch. Es konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, dass hormonaktive Substanzen schon in sehr geringen Konzentrationsbereichen die Fortpflanzung von Wasserlebewesen negativ beeinflussen (*Suter & Holm, 2004*)

Die Diskussion um Mikroverunreinigungen hat vor dem Hintergrund eines vorbeugenden Gesundheits- und Umweltschutzes in den letzten Jahren stark zugenommen. Grundsätzlich ist hier zu berücksichtigen, dass sich die Bandbreite von organischen Mikroverunreinigungen in der jüngsten Vergangenheit auch deswegen merklich vergrößert hat, da die Entwicklung der Analysetechnik vorangeschritten ist.

Zur Verbesserung der Wasserqualität werden in der EU derzeit Oberflächengewässer auf 45 Mikroschadstoffe hin analysiert und kontrolliert. Unter anderem zählen zu diesen Stoffen Schwermetalle (Blei, Cadmium, Quecksilber o. Nickel), Pflanzenschutzmittel (u.a. Diuron u. Isoproturon), Polycyclische aromatische Kohlenstoffverbindungen (PAKs) und weitere organische Verbindungen. Von den 45 Stoffen werden 21 als prioritär gefährlich eingestuft. Es gilt ein weitgehendes Minimierungsgebot mit dem Ziel einer Nullemission für die entsprechenden Stoffe. Im Gegensatz zu national flussgebietsspezifischen Schadstoffen sind für die prioritären Verunreinigungen europaweit einheitliche Qualitätsnormen in der EU-Richtlinie 2013/39/EU über Umweltquali-

tätsnormen im Bereich der Wasserpolitik festgelegt (*Europäische Union, 2013*).

Ergänzend zu der erweiterten Liste der prioritären Mikroschadstoffe hat die EU-Kommission sowohl vor dem Hintergrund erhöhter Nachweisbarkeit von Mikroverunreinigungen als auch zur gezielten Verbesserung der Gewässerqualität zusätzlich eine Beobachtungsliste für weitere Stoffe bzw. Stoffgruppen eingeführt, über die verstärkt Überwachungsdaten zu sammeln sind.

NRW ist durch eine hohe Siedlungsdichte, hohe Verdichtungsgrade sowie eine ausgeprägte Industrie gekennzeichnet. Aus diesem Grund hat der Themenkomplex Mikroverunreinigungen eine besondere Relevanz für das Bundesland. Dazu trägt ebenfalls bei, dass die Trinkwasserversorgung in NRW zu ca. 60 % aus Oberflächengewässern oder oberflächengewässergestützten Entnahmen (Uferfiltrat) erfolgt.

Zur Umsetzung der EG-Wasserrahmenrichtlinie wird in NRW ein sehr umfangreiches Monitoring durchgeführt. Das Messprogramm beinhaltet einen dreijährigen Monitoringzyklus an über 2000 Messstellen. Insgesamt werden bis zu 400 verschiedene Mikroverunreinigungen in wässriger Probe, 140 Stoffe im Schwebstoff / Sediment und bis zu 70 Stoffe in Fischen untersucht.

In Ergänzung zu dem Messprogramm wurden im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben umfangreiche Messkampagnen zum Vorkommen von Mikroverunreinigungen und Spurenstoffen in den Oberflächengewässern NRWs durchgeführt (z.B.: *Teichgräber, 2013*).

Im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) kann anhand der derzeit geltenden Qualitätsanforderungen gemäß Bewirtschaftungsplan 2016 bis 2021 (Dezember 2015) für ca. 74 % der Gewässerlänge NRWs ein guter chemischer Zustand festgestellt werden (ohne Berücksichtigung der ubiquitären Stoffe). Ursache für eine teilweise schlechtere Gewässereinstufung sind hohe Belastungen mit Cadmium, dem Verbrennungsrückstand PAK, dem Totalherbizid Diuron und Tributylzinn (*MKULNV, 2015*). Für die Gewässer NRWs lassen sich anhand der Monitoringergebnisse u.a. Mikroverunreinigungen der folgenden Stoffgruppen als von besonderer Relevanz herausstellen: Pharmaka (Antiepileptika, Nichtopioid-Analgetika, Betablocker, Antibiotika, Phenethylamine, Lipidsenker), Korrosionsschutzmittel (Benzotriazole), Diagnostika (Röntgenkontrastmittel), Psychopharmaka, endokrine wirksame Chemikalien (EDCs), Moschusduftstoffe, Flammschutzmittel, perfluorierte Tenside (PFT), phosphororganische Verbindungen und Komplexbildner.

3.2 Zentralklärlwerk Wadersloh

3.2.1 Übersicht

Das Zentralklärlwerk Wadersloh wurde im Jahr 1988 in Betrieb genommen. Im Jahr 2006 wurde die Anlage auf 16.000 EW durch die Errichtung einer zusätzlichen biologischen Straße wesentlich erweitert. Ein Luftbild der Anlage ist in Abbildung 3-1 dargestellt.



Abbildung 3-1: Luftbild der Kläranlage Wadersloh (Google Maps, 2017)

3.2.2 Behandlungskonzept

Das Zentralklärwerk Wadersloh besteht aus einer mechanisch-biologischen Abwasserreinigung mit einer zusätzlichen chemischen Phosphorfällung. Der Aufbau ist dem nachfolgenden Schema zu entnehmen.

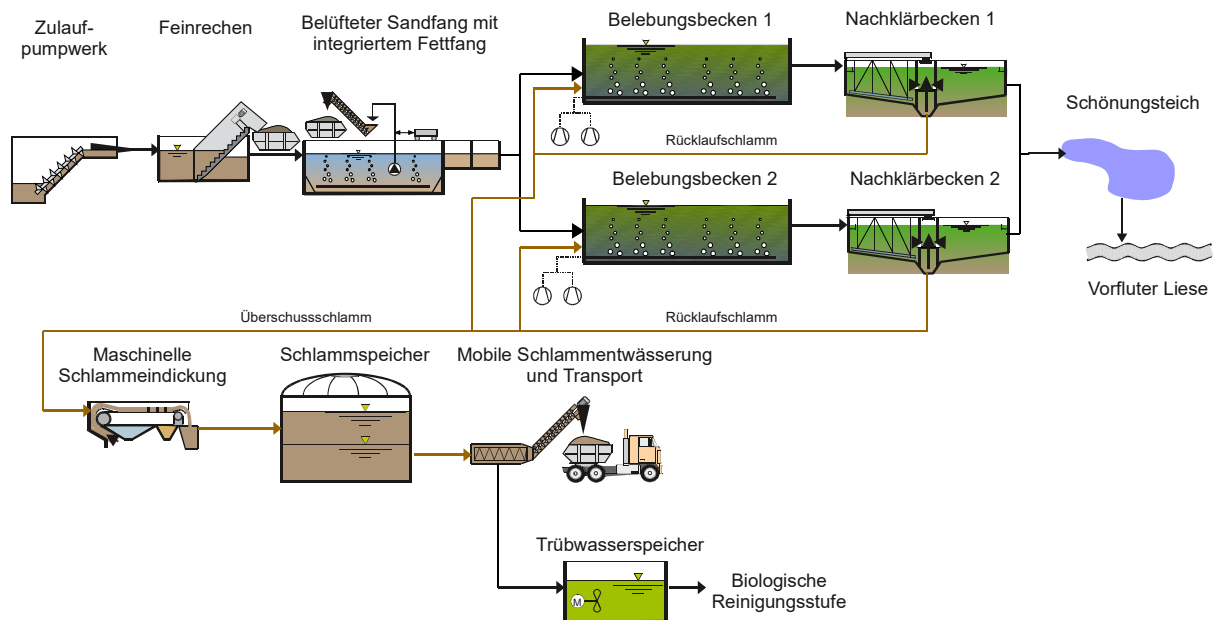


Abbildung 3-2: Behandlungskonzept ZKW Wadersloh

3.2.2.1 Mechanische Vorreinigung

Der Anlagenzulauf wird vor der Rechenanlage durch ein aus zwei Hebeschnecken bestehendes Pumpwerk um eine Höhendifferenz von ca. 6 m angehoben. Anschließend erfolgt die Entfernung grober Abwasserinhaltsstoffe mittels Feinrechen (Inbetriebnahme 01.01.2006). Anschließend wird das Abwasser mittel belüfteten Sandfang mit integriertem Fettfang behandelt.

3.2.2.2 Biologische Reinigungsstufe

Die biologische Reinigungsstufe besteht aus einer zweistraßig ausgeführten Belebtschlammanlage, die auf eine aerobe Schlammstabilisierung (Schlammalter von ca. 25 Tagen) ausgelegt ist. Zur Stickstoffelimination wird die Anlage intermittierend belüftet. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Belebungs- bzw. Nachklärbecken wird das Abwasser bzw. der Rücklaufschlamm im Verhältnis 42%:58% über ein Verteilbauwerk auf die Straßen aufgeteilt. Die Kenndaten der biologischen Reinigungsstufe sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3-1: Kenndaten der biologischen Abwasserreinigung

Wert / Parameter	Straße 1	Straße 2
Inbetriebnahme	1986	2006
Volumen Belebungsbecken	2.891 m ³	3.977 m ³
Tiefe Belebung	4,09 m	4,75 m
Oberfläche Nachklärung	314 m ²	314 m ²
Volumen Nachklärung	900 m ³	1.100 m ³
Tiefe Nachklärung	2,90 m	3,53 m

Der Schönungsteich wurde mit Errichtung der Kläranlage angelegt. Zur Reduktion der Infiltration in das Erdreich wurde der Teich mit einer verschweißten Dichtungsbahn ausgelegt. Aufgrund der langjährigen Betriebszeit ist es zur Sedimentablagerung und Laubeintrag gekommen, so dass derzeit nicht mehr das vollständige Volumen zur Verfügung steht. Bei hohen Wassertemperaturen wird der Schönungsteich umflossen.

3.2.2.3 Phosphorelimination

Zur Phosphorelimination ist die Anlage mit einer Simultanfällung ausgerüstet. Als Fällmittel wird Eisen-III-chlorid verwendet.

3.2.2.4 Schlammbewirtschaftung

In den beiden Belebungsbecken erfolgt eine aerobe Schlammstabilisierung. Der überschüssige stabilisierte Schlamm wird durch die installierte maschinelle Schlammeindickung eingedickt und in einem Schlammspeicher (Volumen ca. 1.800 m³) zwischengespeichert. Der zwischengespeicherte Schlamm wird anschließend in ca. zwei bis drei Intervallen pro Jahr durch einen externen Dienstleister über eine mobile Vorrichtung entwässert.

Das bei der Entwässerung anfallende Zentrat kann in dem Trübwasserspeicher (Volumen ca. 1.000 m³) zwischengespeichert und anschließend vergleichmäßig der Biologie zugeführt werden. Der entwässerte Schlamm wird aktuell verbrannt oder landwirtschaftlich verwertet. Bei dem Einsatz von Pulveraktivkohle müsste der Schlamm zwingend einer Verbrennungsanlage zugeführt werden.

Die Abfallgesellschaft Warendorf plant die Errichtung einer zentralen Trocknungsanlage für Ihre Gesellschaftsmitglieder, um die Transportkosten zu minimieren.

3.2.3 Prognose Standortentwicklung

Das Zentralklärwerk Wadersloh ist auf eine Anschlussgröße von 16.000 EW ausgelegt. Die mittlere aktuelle Belastung beträgt ca. 12.500 EW. Entscheidend für die Dimensionierung einer 4. Reinigungsstufe ist der Nutzungshorizont der für die Bautechnik ca. 30 bis 50 Jahre. Die Abbildung 3-3 zeigt die Bevölkerungsentwicklung in der Gemeinde Wadersloh im Vergleich mit dem Bundesland und dem Landkreis Warendorf. Im Vergleich mit dem Ausgangsjahr 2012 wird mit einer Abnahme der Bevölkerung im Jahr 2030 um 3,8 % gerechnet.

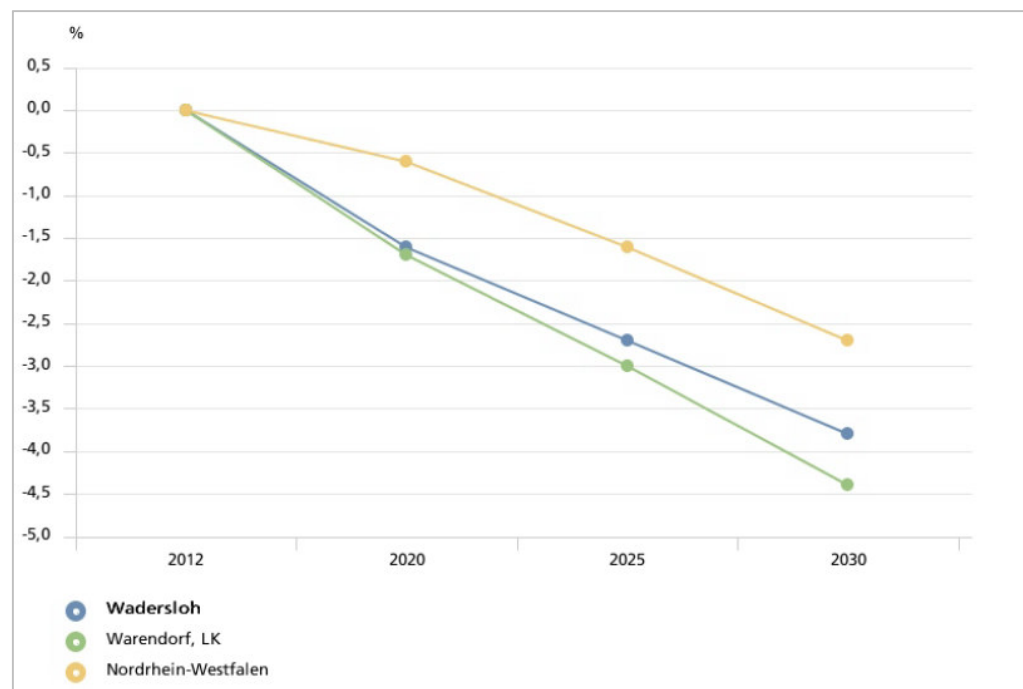


Abbildung 3-3: Prognose Bevölkerungsentwicklung (Bertelsmann Stift.)

Die Fracht an Mikroschadstoffen wird neben industriellen Faktoren im Wesentlichen durch die Altersstruktur der Bevölkerung beeinflusst. Die Abbildung 3-4 zeigt eine Prognose der Veränderung der Altersstruktur im Jahre 2030 zum Ausgangsjahr 2012. Deutlich erkennbar ist, dass alle Altersgruppen zwischen 0 bis 64 Jahren abnehmen und die Altersgruppen 65 bis >80 deutlich ansteigen werden.

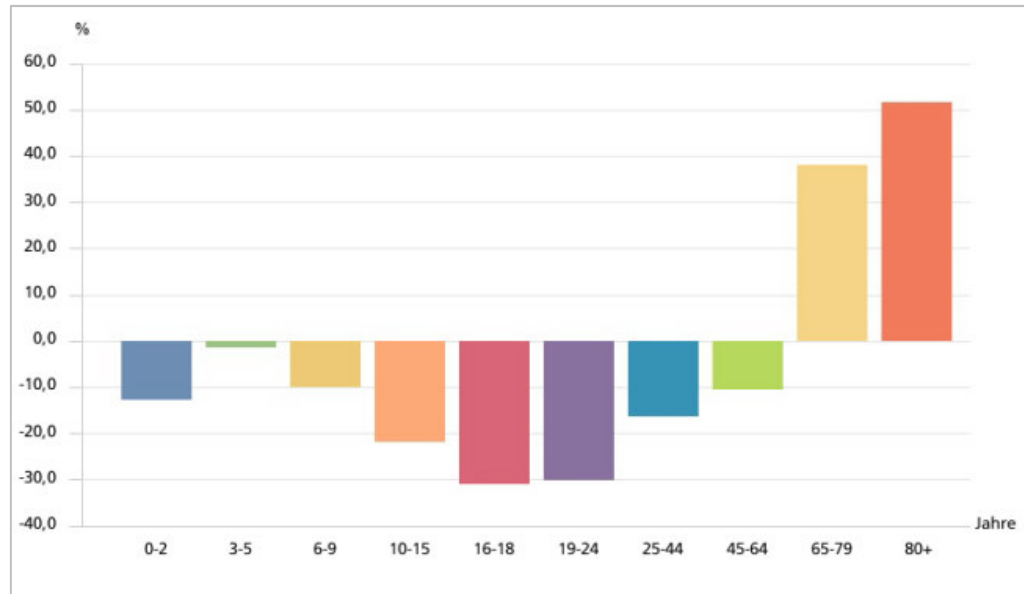


Abbildung 3-4: Prognose der Veränderung der Altersstruktur von 2012 auf 2030 (Bertelsmann Stift.)

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass der Konsum an Arzneimitteln mit dem Alter deutlich zunimmt (Abbildung 3-5). Aus den vorgenannten Gründen ist davon auszugehen, dass die Mikroschadstofffracht insbesondere arzneimittelbedingt in Zukunft deutlich ansteigen wird.

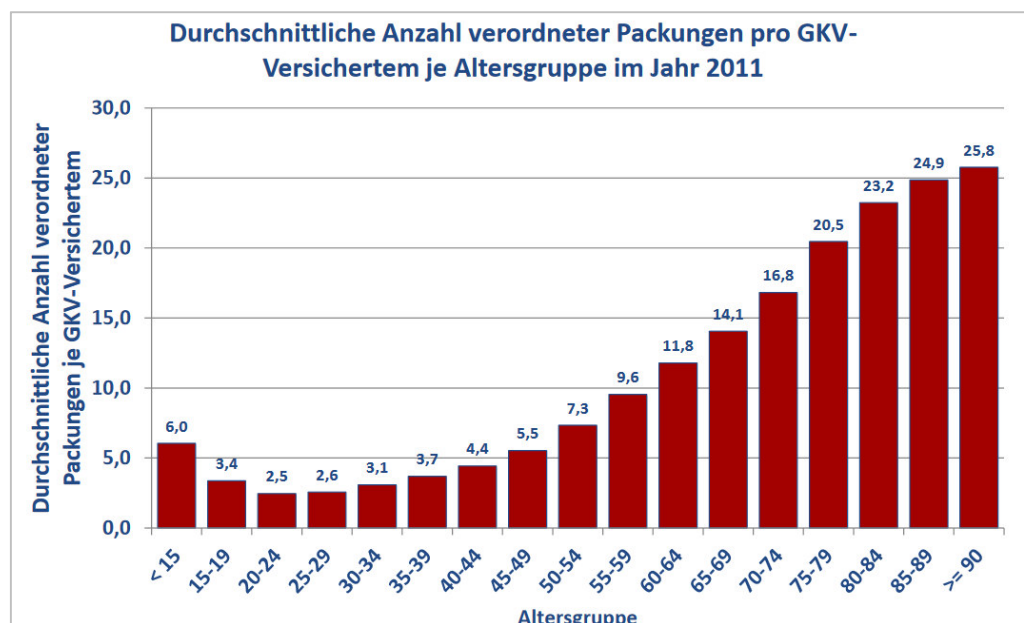


Abbildung 3-5: Durchschnittliche Anzahl verordneter Packungen pro gesetzlich Krankenversichertem je Altersgruppe im Jahr 2011 (Deutsches Arzneiprüfinstitut)

Zusammenfassend wird eingeschätzt, dass sich die Abwassermenge konstant bis leicht fallend entwickeln wird. Aufgrund der Änderung der Altersstruktur ist hingen mit einer Erhöhung der Belastung an Mikroschadstoffen, insbesondere Arzneimittelresten zu rechnen.

3.2.4 Einleitungsgrenzwerte

Die abwasserrechtlichen Anforderungen gemäß Einleiterlaubnis für das Zentralkläwerk Wadersloh sind in Tabelle 3-2 dargestellt. Die Ablaufwerte gelten nach der Nachklärung vor der Einleitung in den Schönungsteich.

Tabelle 3-2: Aktuelle Überwachungswerte ZKW Wadersloh

Parameter	Überwachungswert	Einheit
CSB	45	mg/l
BSB ₅	10	mg/l
NH ₄ -N	4	mg/l
N _{anorg.}	16	mg/l
P _{ges}	1	mg/l

Nach dem durchfließen des Schönungsteiches fließt das Wasser über das Ablaufbauwerk der Liese zu.

3.2.5 Belastungsdaten und Reinigungsleistung

3.2.5.1 Hydraulische Belastung

Das Einzugsgebiet der ZKW Wadersloh ist stark ländlich geprägt. Es muss deshalb bei allen Verfahren berücksichtigt werden, dass der Anlagenzufluss bei Trockenwetter, insbesondere im Sommer, zeitweise (bis zu ca. 3 h) vollständig ausbleibt. In Zeiten ohne Zufluss muss die Anlage vollständig herunterfahren werden, oder über eine ausreichende Pumpenvorlage zur Beschickung verfügen.

Auffällig ist nach Abbildung 3-6 das untypische Ansteigen der Wassermenge in der relativen Häufigkeit zwischen 200 und 270 m³/h. Dieser atypische Verlauf in der Häufigkeitsverteilung ist durch den maximalen Betrieb einer polumschaltbaren Zulaufschnecke zu erklären. Aus verfahrenstechnischer Sicht werden dadurch zusätzliche hydraulische Spitzen erzeugt, die durch die Verwendung eines besser abgestuften Systems (mehrere Schnecken) oder einen Betrieb mit variabler Drehzahlsteuerung (Frequenzumformer) vermieden werden könnten.

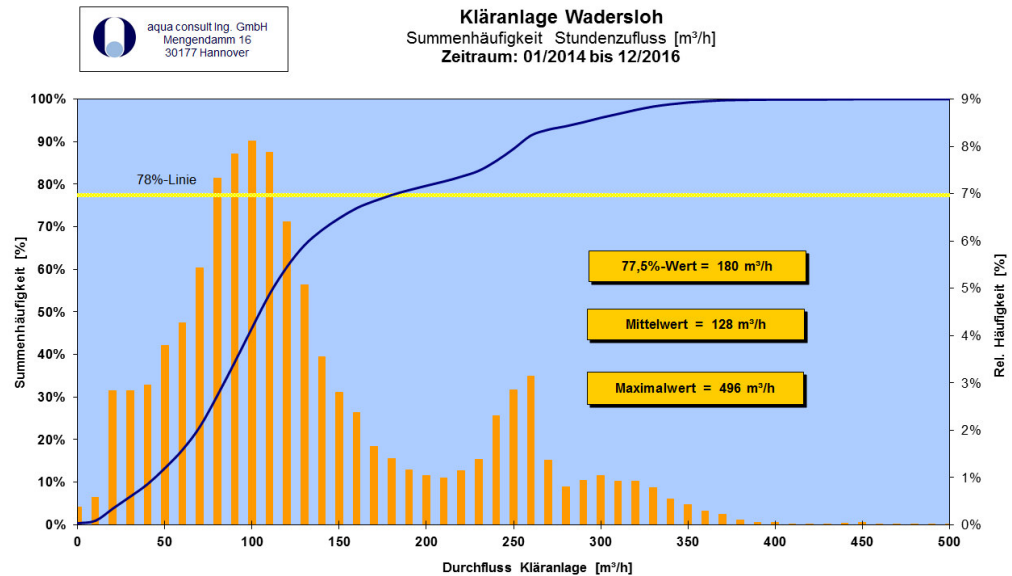


Abbildung 3-6: Summenhäufigkeit der Stundenzuflüsse 2014-2016

3.2.5.2 Stoffliche Belastung

3.2.5.2.1 Eigenüberwachung

Die Ablaufproben der Kläranlage werden zeitproportional entnommen. Um Abwasserfrachten berechnen zu können, wurde der Konzentrationswert der zeitproportional entnommenen Probe mit der Tagesabwassermenge multipliziert.

Tabelle 3-3: Statistische Auswertung der Ergebnisse der Eigenüberwachung vom Ablauf des Kläranlage

Parameter	Einheit	2016	
		Mittel.	85% - Wert
CSB	mg/l	23,6	29
	kg/d	73	106
N _{ges.}	mg/l	2,2	3,2
	kg/d	7,14	10,5
PO ₄ -P	mg/l	0,73	0,86
	kg/d	2,2	3,6

3.2.5.2.2 Fremdüberwachung

Zur Verdichtung der vorliegenden Analysenergebnisse werden nachfolgend die Ergebnisse aus der behördlichen Fremdüberwachung gemäß dem EL-WAS dargestellt. Ergebnisse unterhalb der Bestimmungsgrenze (Nitrit 0,02 mg/l) wurden als „Nullwerte“ dargestellt.

Die Abbildung 3-7 zeigt die Konzentration des organischen Kohlenstoffes im Ablauf der Nachklärung. Die Werte schwanken recht stabil um i.M. ca. 7,5 mg/l. Aufgrund der stabilen Messwerte für den Parameter organischer Kohlenstoff kann von einem stabilen Betrieb der Nachklärung mit geringem Feststoffantrieb ausgegangen werden. Für den Ablauf des ZKW Wadersloh liegen keine Messungen des gelösten organischen Kohlenstoffes (DOC) vor, deshalb wird er zur überschlägigen Bestimmung der Dosierrate für die Variante Ozonierung mit 80 % des TOC Wertes abgeschätzt. Die bisher realisierten Ozonierungsanlagen zeigen eine erforderliche Dosierrate von 0,6 g O₃/g DOC. Unter Annahme der zuvor genannten Kenngrößen ergibt sich die erforderliche spez. Ozondosierung zu aufgerundeten 4 mg O₃/l.

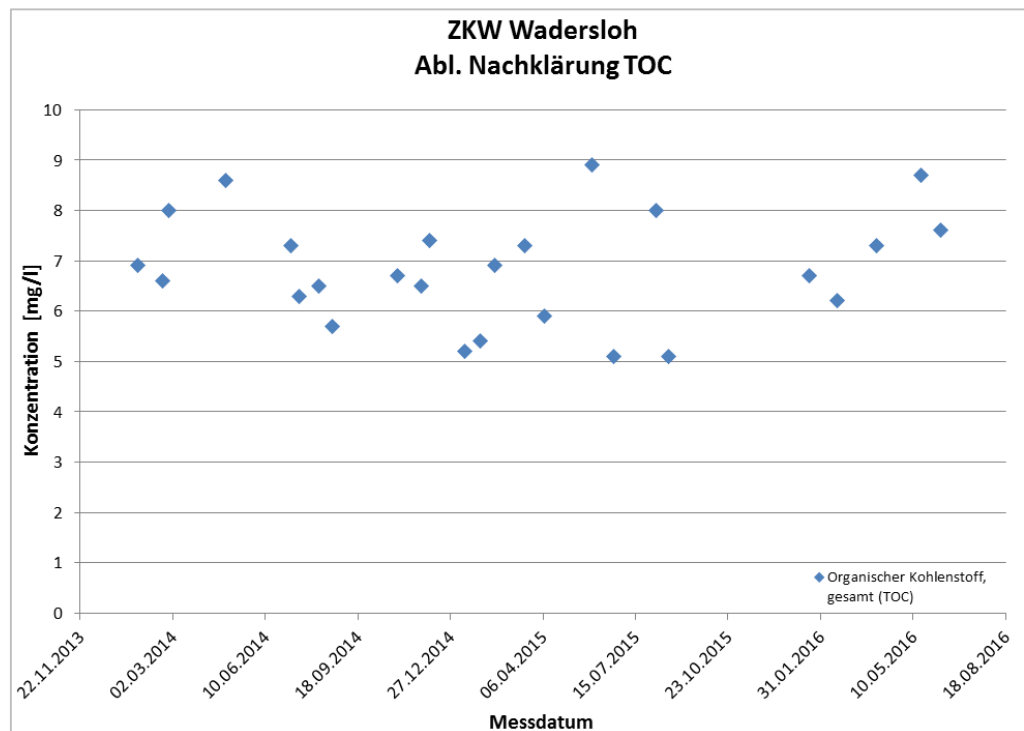


Abbildung 3-7: Konzentration des TOC im Abl. der ZKW Wadersloh

Die Abbildung 3-8 zeigt die Konzentration von Nitritstickstoff im Ablauf der Kläranlage.

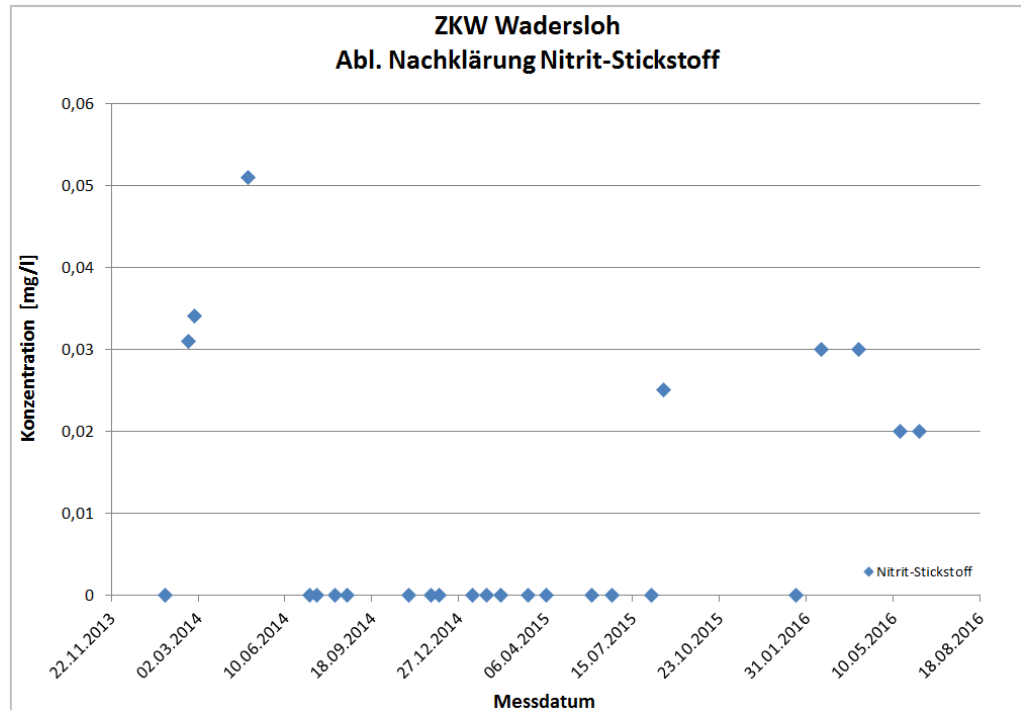


Abbildung 3-8: Konzentration von Nitritstickstoff im Abl. der ZKW Wadersloh

Die Nitritstickstoff-Konzentration wurde in der Vergangenheit in einem Bereich leicht oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen. Der Parameter Nitritstickstoff ist für die Variante Ozonierung von Belang, da erhöhte Nitritkonzentrationen mit einem erhöhten Ozonbedarf von stöchiometrisch ca. 3,4 g O₃/g NO₂-N einher gehen. Bei einer großtechnischen Realisierung ist aufgrund der niedrigen Nitritstickstoff-Konzentration deshalb nicht mit einem nennenswerten Mehrverbrauch von Ozon aufgrund der Nitritbildung in der Biologie zu rechnen.

3.2.5.2.3 Bromid

Es liegen keine Ergebnisse über die Bromidkonzentration im Ablauf des Zentralklärarwerkes vor. Aufgrund des geringen industriellen Anteils wird davon ausgegangen, dass das Bromid falls vorhanden geogenen Ursprungs sein müsste.

Der örtliche Trinkwasserversorger *Wasserversorgung Beckum* bestätigte zum einen die Trinkwasserherkunft für das Versorgungsgebiet aus der Aabachtalsperre. Zum anderen teilte er die nachfolgenden Werte bzgl. der Trinkwasserzusammensetzung mit. Es wird davon ausgegangen, dass das Wasser nicht wesentlich mit Bromid belastet ist. Bei einer weitergehenden Planung mit Ozonung als mögliche Vorzugsvariante, ist zwingend die Bromidkonzent-

ration im Ablauf der Anlage mehrfach zu bestimmen, um die Annahme fundiert bestätigen zu können.

Tabelle 3-4: Konzentrationswerte für Trinkwasser aus der Aabachtalsperre (Westfälischen Wasser- und Umweltanalytik GmbH)

Parameter	Einheit	Jahresmittel 2015	Min-Wert 2015	Max-Wert 2016	Grenzwert TrinkwV.
Bromat	mg/l	<0,0025	<0,0025	<0,0025	0,01
Bromid	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	

3.2.6 Bauliche Erweiterungsmöglichkeiten

Das Zentralklärwerk Wadersloh ist kompakt errichtet. Die Anlage wird aktuell um eine Windkraftanlage im Bereich der Nachklärung 2 ergänzt. Es sind keine nennenswerten Freiflächen für die 4. Reinigungsstufe im Bereich der Nachklärung vorhanden. Hieraus ergibt sich, dass entweder ein Teil des Schönungsteiches **[Teilfläche A]** mit der erforderlichen Anlagentechnik bebaut werden muss, oder es sind zusätzliche Flächen **[Teilfläche B]** für die Errichtung der erforderlichen Anlagenteile zu erwerben.

Neben dem Vorhandensein erforderlicher Flächen ist auch die Erreichbarkeit durch Fahrzeuge (Kohleanlieferung/Sauerstoff) zu prüfen. Diese Zugänglichkeit ist für die Teilfläche A deutlich eingeschränkt, da die Lastkraftwagen den hinteren Teil der Kläranlage (Biologie/Nachklärung) nicht befahren können. Die Teilfläche B kann hingegen über einen Wirtschaftsweg erreicht werden.



Abbildung 3-9: Platzverhältnisse auf der ZKW Wadersloh (EL-WAS, 2017)

Für die weitere Planung wird von einer Umsetzung auf der Teilfläche A ausgegangen, da die Realisierbarkeit eines möglichen Flächenerwerbes aktuell nicht abgeschätzt werden kann. Vor der Durchführung einer weiteren Planung wird aber empfohlen, Abstimmungsgespräche mit dem Grundstückseigentü-

mer über einen zusätzlichen Flächenerwerb zu führen. Durch die Nutzung der Teilfläche A ergibt sich ein Kostenrisiko, da keine Daten bzw. Analysenergebnisse über die Schlammverteilung im Schönungsteich (Mengen) und über die chemische Belastung vorliegen. Für die Kostenschätzung wird davon ausgegangen, dass nach einer entsprechenden Trocknung ein Einsatz im Landbau möglich ist.

3.3 Fließgewässer Liese

3.3.1 Gebietsbeschreibung

Das Fließgewässer Liese gehört im Teileinzugsgebiet Rhein/Lippe zur Planungseinheit Haustenbach (PE_LIP_1800), entspringt nord-östlich von Beckum und mündet schließlich nach ca. 18,9 km Fließstrecke in die Glenne. Das Einzugsgebiet mit einer Größe von ca. 90,5 km² ist überwiegend durch Ackerbau (70%) sowie Bewaldung (20%) gekennzeichnet (*Bezirksregierung Münster, 2013*). Weitere Namen des Fließgewässers sind je nach Abschnitt Rottbach, Mühlenbach und Liesenbach. Der Verlauf der Liese von der Quelle bis zur Mündung ist in Abbildung 3-10 dargestellt.



Abbildung 3-10: Verlauf der Liese von der Quelle bis in die Mündung in die Glenne (angepasst von *ELWAS-WEB, 2016*)

Im Rahmen der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wurde Ende 2015 ein Bewirtschaftungsplan 2016 bis 2021 für Oberflächengewässer und Grundwasser im Teileinzugsgebiet Rhein/Lippe mit dem Ziel lebendiger und sauberer Gewässer und sauberes Grundwasser angefertigt. Die Steckbriefe der Planungseinheiten, im Dezember 2015 vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) herausgegeben, beinhalten eine Zustandsbewertung entsprechender Oberflächenwasserkörper für

den zweiten (2009-2011) und dritten (2012-2014) Monitoringzyklus. Der Zustand der Liese wurde zwischen Bad Waldliesborn und Sünninghausen (Wasserkörper-ID 27846_0) sowie zwischen Sünninghausen und Beckum (Wasserkörper-ID: 27846_13937) erfasst.

3.3.2 Gewässergüte

Folgende Bewertungskriterien werden bei den Untersuchungen berücksichtigt:

- Ökologischer Zustand
- Ökologisches Potential
- Chemischer Gewässerzustand

Gemäß den Fließgewässertypen nach der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ist die Liese quellnah ein kiesgeprägter und im unteren Abschnitt (WK-ID: 27846_0) ein sandgeprägter Tieflandbach.

Das Fließgewässer wird im Abschnitt zwischen Bad Waldliesborn und Sünninghausen als veränderter bis erheblich veränderter Wasserkörper ausgewiesen (Heavily Modified Water Body – HMWB). Der obere Gewässerabschnitt (Sünninghausen bis Beckum) hingegen wird als „natürlich“ bewertet.

Erheblich veränderte Gewässern werden zusammen mit den jeweiligen Gewässertypen einer Fallgruppe zugewiesen. Diese dient als Grundlage zur Berechnung und Bewertung des ökologischen Potentials. Die Liese wird entsprechend zur Landentwässerung und als Hochwasserschutz genutzt (LuH-TLB).

Planungseinheit	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800
Wasserkörper-ID	278454_10300 ¹	27846_0 ¹	27846_13937 ^{1,2}	278464_0 ¹
Gewässername	Landgraben	Liese	Liese	Biesterbach
Wasserkörperbezeichnung	nördlich v. Wadersloh. bis Quelle	Bad Waldliesborn bis Sünninghausen	Sünninghausen bis Beckum	Steinbeck bis Siedlung Priestertum bis Diestedde
LAWA-Fließgewässertyp	16	14	16	14
Trinkwassergewinnung	nein	nein	nein	nein
Wasserkörperausweisung	verändert - HMWB	verändert - HMWB	natürlich - NWB	verändert - HMWB
HMWB-Fallgruppe	LuH-TLB	LuH-TLB		LuH-TLB

Abbildung 3-11: Abschnitt 1 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015)

3.3.2.1 Ökologischer Zustand

„Beschreibung des Qualitätszustands der natürlichen Oberflächenwasserkörper anhand verschiedener biologischer Qualitätskomponenten. Die Unterteilung erfolgt in fünf Klassen (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend und schlecht)“ (MKULNV NRW, 2015).

In Abbildung 3-12 sind die Ergebnisse der Bewertung des ökologischen Zustands beider Gewässerabschnitte für die Monitoringzyklen zwei und drei dargestellt.

Monitoringzyklus	2	3	2	3	2	3	2	3
Ökologischer Zustand			unbefr.	schlecht			schlecht	schlecht
MZB Saprobie			gut	mäßig			mäßig	mäßig
MZB Allgemeine Degradation			unbefr.	schlecht			schlecht	schlecht
MZB Versauerung	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.
MZB Gesamt			unbefr.	schlecht			schlecht	schlecht
Fische			mäßig	mäßig			unbefr.	unbefr.
Makrophyten (PHYLIB)			mäßig	mäßig			mäßig	mäßig
Makrophyten (NRW)			unbefr.	unbefr.			mäßig	unbefr.
Phytobenthos (Diatomeen)			mäßig	mäßig			mäßig	mäßig
Phytobenthos o. Diatomeen			gut	gut				gut
Phytoplankton	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.	nicht rel.

Abbildung 3-12: Abschnitt 2 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015)

Unter Saprobie wird die Intensität der Abbauprozesse in einem Fließgewässer bezeichnet. Anhand der Bestimmung des Saprobienindex kann die Gewässerbelastung mit abbaubaren organischen Substanzen abgeschätzt werden. Hierzu wird die Häufigkeit verschiedener Indikatororganismen (Schnecken, Krebse, Insektenlarven) dokumentiert. Diese Leitorganismen haben unterschiedlich hohe Ansprüche an ihre Umwelt. Das Vorhandensein bzw. die Häufigkeit (Abundanz) lässt Rückschlüsse auf den ökologischen Zustand des Gewässers zu. Im Fall einer „sehr guten“ oder „guten“ saprobiellen Qualitätsklasse gilt das sogenannte „Worst-Case-Prinzip“ und das Modul mit der schlechtesten Einstufung bestimmt das Bewertungsergebnis für den ökologischen Zustand bzw. das entsprechende Potenzial. Die Saprobie hat sich von „gut“ (Zyklus 1) auf „mäßig“ (Zyklus 2) verschlechtert.

Die allgemeine Degradation ist ein Maß für Veränderung der natürlichen Gewässerstruktur. Je größer die Degradation, desto weiter weicht das Erscheinungsbild des Fließgewässers vom ursprünglichen Gewässertyp ab. Auch bei diesem Parameter lässt sich eine Verschlechterung von „unbefriedigend“ auf „schlecht“ feststellen. Eine unveränderte Bewertung liegt bei den Parametern, Makrophyten (PHYLIB), Makrophyten (NRW), Phytobenthos (Diatomeen), Phytobenthos o. Diatomeen) und Phytoplankton vor.

Insgesamt wird der ökologische Zustand des Fließgewässers im zweiten Monitoringzyklus als unbefriedigend eingestuft. Auf Grund einer Verschlechterung der Makrozoobenthos Vorkommen wurde im darauffolgenden Zyklus ein schlechter ökologischer Zustand festgestellt.

3.3.2.2 Ökologisches Potential

„Beschreibung des Qualitätspotenzials der künstlichen oder erheblich veränderten Oberflächenwasserkörper. Die Unterteilung erfolgt in vier Klassen (gut oder besser, mäßig, unbefriedigend und schlecht).“ (MKULNV NRW, 2015).

In Abbildung 3-13 sind die Ergebnisse der Bewertung des ökologischen Potentials beider Gewässerabschnitte für die Monitoringzyklen zwei und drei dargestellt.

Ökologisches Potenzial			unbefr.	unbefr.	nicht rel.	nicht rel.	schlecht	unbefr.
MZB Allgemeine Degradation			unbefr.	unbefr.	nicht rel.	nicht rel.	schlecht	unbefr.
MZB Gesamt			unbefr.	unbefr.	nicht rel.	nicht rel.	schlecht	unbefr.
Fische			mäßig	mäßig	nicht rel.	nicht rel.	unbefr.	unbefr.
Metalle (Anl. 5 OGWV)	gut		gut	gut	gut		gut	mäßig
PBSM (Anl. 5 OGWV)			gut				sehr gut	
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGWV)			sehr gut				sehr gut	
ACP Gesamt (OW)	nicht eing.		eing. gut	nicht eing.	eing. gut		nicht eing.	nicht eing.
Gewässerstruktur								
Metalle n. ges. verb. (OW)	eing. gut		eing. gut	eing. gut	nicht eing.		eing. gut	eing. gut
PBSM n. ges. verb. (OW)			eing. s. gut				eing. s. gut	
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)			eing. s. gut	eing. s. gut			eing. s. gut	eing. s. gut

Abbildung 3-13: Abschnitt 3 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015)

Die Parameter MZB (Makrozoobentos) Allgemeine Degradation und MZB Gesamt wurden als unbefriedigend eingestuft. Die Bewertung des Fischbestands ergab insgesamt die Einstufung „mäßig“.

Hervorzuheben ist die Bewertung der allgemeinen chemischen und physikalischen Parameter (ACP). Diese beinhalten Temperaturverhältnisse, Sauerstoffhaushalt, Salzgehalt, Versauerungszustand sowie Nährstoffverhältnisse und werden zur Beurteilung des biologischen Zustandes unterstützend herangezogen. Hier ist eine Verschlechterung von „eingehalten gut“ auf „nicht eingehalten“ festzustellen.

Die Gewässerstruktur im oberen Abschnitt der Liese ist überwiegend unverändert bis gering verändert. Im weiteren Verlauf des Fließgewässers ist eine zunehmende Begradigung (Laufentwicklung) und Uferbefestigung (Uferstruktur) festzustellen, sodass eine starke bis sehr starke Veränderung der Struktur verzeichnet werden kann. Weitere Faktoren der Gewässerstruktur sind das Quer- und Längsprofil, Sohlenstruktur und Gewässerumfeld. In der nachfolgenden Abbildung ist die Einleitungsstelle des ZKW Wadersloh in die Liese dargestellt. Deutlich zu erkennen ist die, im Vergleich zum natürlichen Zustand, veränderte Gewässerstruktur.



Abbildung 3-14: Einleitungsstelle der ZKW Wadersloh in den Vorfluter Liese

Für den Abschnitt mit der Wasserkörper-ID 27846_0 wurde das ökologische Potential (PHYLIB-Verfahren), also der Zustand der Makrophyten, welche sowohl als Indikator für die Gewässerstruktur, als auch für die Nährstoff- und hydraulischen Verhältnisse herangezogen werden, für beide Monitoringzyklen als unbefriedigend eingestuft.

3.3.2.3 Chemischer Gewässerzustand

Der chemische Gewässerzustand wird im Rahmen des Bewirtschaftungsplans 2016 – 2012 wie folgt definiert:

„Grundsätzliche Anforderung der EG-WRRL an alle Wasserkörper. Definiert durch die Stoffe der EU-Richtlinie über Umweltqualitätsnormen, die nicht überschritten werden dürfen. Einstufung bei Oberflächenwasserkörpern in „gut“ oder „nicht gut“ und bei Grundwasserkörpern in „gut“ und „schlecht.“ (MKULNV NRW, 2015).

Chemischer Zustand ¹	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut	nicht gut
Ch. Zust. ohne ubiq. Stoffe	gut		gut	gut	gut			gut	gut
Metalle (Anl. 7 OGEWV ²)	gut		gut	gut	gut			gut	gut
PBSM (Anl. 7 OGEWV)			gut					gut	
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGEWV)			gut						
Nitrat (Anl. 7 OGEWV)	gut		gut		gut			gut	

¹ siehe Kapitel 3.5 ² ohne Quecksilber in Biota ³ temporär trockenfallend ⁴ Geometrie des Wasserkörpers verändert

Abbildung 3-15: Abschnitt 4 Wasserkörpertabelle für den 2. und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015)

Abbildung 3-15 zeigt die Ergebnisse der Bewertung des chemischen Zustands beider Gewässerabschnitte für die Monitoringzyklen zwei und drei.

- Ubiquitäre Stoffe (Anhang X der RL 2000/60/EG)
- Metalle: Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber (Anlage 7 OGEWV.)
- Pflanzenbehandlungs- und Schädlingsbekämpfungsmittel (PBSM)
- Sonstige Stoffe: Halogenorganische Verbindungen, ein- und mehrker- nige Aromaten (Anlage 7 OGEWV.)
- Nitrat

Grundsätzlich gilt, dass bei Überschreitung einer oder mehrerer Umweltqualitätsnormen nach Anlage 5 OGEWV der ökologische Zustand bzw. das ökologische Potenzial maximal als „mäßig“ eingestuft wird. Weiterhin richtet sich die Gesamtwertung des chemischen Zustands nach der schlechtesten Einzelbewertung („worst-case“-Ansatz)

Der chemische Zustand der Liese wurde für beide Monitoringzyklen als „nicht gut“ bewertet.

3.3.2.4 Überschreitungen

Bei den allgemeinen chemischen Parametern (ACP) wurden die Parameter Gesamtphosphat-Phosphor, Sauerstoff und Wassertemperatur im dritten Monitoringzyklus überschritten

Planungseinheit	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800	PE_LIP_1800
Wasserkörper-ID	278454_10300 ¹	27846_0 ²	27846_13937 ^{3,4}	278464_0 ⁴
Gewässername	Landgraben	Liese	Liese	Biesterbach
Wasserkörperbezeichnung	nördlich v. Wadersloh. bis Quelle	Bad Waldliesborn bis Sünninghausen	Sünninghausen bis Beckum	Steinbeck bis Siedlung Priestertum bis Diestedde
ACP Gesamt (OW)	Gesamtposphat- Phosphor; Organischer Kohlen- stoff,gesamt (TOC)	Gesamtposphat- Phosphor; Sauerstoff; Wassertemperatur		Sauerstoff
Stoffgruppen des ökologischen Zustands / Potenzials				
Metalle (Anl. 5 OGWV)				Arsen
PBSM (Anl. 5 OGWV)				
Sonst. Stoffe (Anl. 5 OGWV)				
Gesetzlich nicht verbindlich				
Metalle n. ges. verb. (OW)			Barium	
PBSM n. ges. verb. (OW)				
Sonst. St. n. ges. verb. (OW)				
Stoffgruppen des chemischen Zustands				
Metalle (Anl. 7 OGWV) ¹				
PBSM (Anl. 7 OGWV)				
Sonst. Stoffe (Anl. 7 OGWV)				

Anm.: Zuordnung zu den Monitoringzyklen, siehe Legende F im Kapitel 3.6.3
¹ ohne Quecksilber in Biota ² temporär trockenfallend ³ Geometrie des Wasserkörpers verändert

Abbildung 3-16: Überschreitungstabelle für den 2. Und 3. Monitoringzyklus (MKULNV NRW, 2015)

3.3.3 Abwasser / Gewässerabflussrelation

Derzeit sind bei einer Ausbaugröße von ca. 16.000 EW rund 12.500 EW an das ZWK Wadersloh angeschlossen. Die Jahresabwassermenge für 2016 beträgt ca. 1,065 Mio m³/a.

Der nächste Pegel oberhalb der Einleitungsstelle befindet sich bei Liesborn (Pegel Nr. 2784650000100). Der mittlere Abfluss MQ beträgt 641 l/s. Der mittlere Niedrigwasserabfluss wird mit 43 l/s angegeben (ELWAS-WEB, 2016).

Bei mittlerem Abfluss der Liese entspricht die Abflussmenge der Kläranlage Wadersloh etwa 5,1 % der Abflussmenge des Fließgewässers. Bei mittlerem Niedrigwasserabfluss steigt der Abwasseranteil auf etwa 61%.

3.3.4 Mikroschadstoffbelastung ober- und unterhalb der Kläranlagen-einleitung

Seit April 2017 werden ergänzende Messungen dieser prioritären Spurenstoffe im Kläranlagenablauf sowie oberhalb und unterhalb der Kläranlageneinleitstelle durchgeführt.

Für die Proben im Ablauf der Kläranlage wurde eine mehrtägige Mischprobe entnommen. Die Ergebnisse der Vorfluteruntersuchung basieren auf eine qualifizierte Mischprobe.

Tabelle 3-5: Prioritäre Spurenstoffe, Kläranlagenablauf ZKW Wadersloh (04.04-07.04.17) sowie der Liese oberhalb u. unterhalb (07.04.17) der Kläranlageneinleitstelle

Parameter	Einheit	ZKW	Liese		Bewertungsmaßstab**	
		Wadersloh Ablauf KA	oberhalb KA	unterhalb KA	Wert	Typ
Diclofenac	µg/l	2,200	<0,05	0,088	0,10	OW
Carbamazepin	µg/l	0,860	<0,05	<0,05	0,50	OW
Metoprolol	µg/l	2,400	<0,05	0,120	7,30	OW
Sotalol	µg/l	0,620	<0,05	<0,05	0,10	PV
Clarithromycin	µg/l	0,280	<0,05	<0,05	0,02	OW
Sulfamethoxazol	µg/l	0,260	<0,05	<0,05	0,15	OW
Benzotriazol	µg/l	8,200	<0,05	0,310	10,00	PV

Tabelle 3-6: Prioritäre Spurenstoffe, Kläranlagenablauf ZKW Wadersloh (10.05-12.05.17) sowie der Liese oberhalb u. unterhalb (12.04.17) der Kläranlageneinleitstelle

Parameter	Einheit	ZKW	Liese		Bewertungsmaßstab**	
		Wadersloh Ablauf KA	oberhalb KA	unterhalb KA	Wert	Typ
Diclofenac	µg/l	2,000	<0,05	0,120	0,10	OW
Carbamazepin	µg/l	0,770	<0,05	0,060	0,50	OW
Metoprolol	µg/l	2,100	<0,05	0,210	7,30	OW
Sotalol	µg/l	0,680	<0,05	<0,05	0,10	PV
Clarithromycin	µg/l	0,140	<0,05	0,050	0,02	OW
Sulfamethoxazol	µg/l	1,000	<0,05	0,066	0,15	OW
Benzotriazol	µg/l	3,700	<0,05	0,390	10,00	PV

Gemäß Anlage D4 des „Monitoringleitfadens NRW Umwelt“ wurde in der Liese bei der 2. Probenahme der Orientierungswert Dichlofenac festgestellt. Die Überschreitung ist auf die Einleitung aus der Kläranlage zurückzuführen. Ferner wurde der Orientierungswert für Estradiol (17beta-) mit 1,6 ng/l in der Liese unterhalb festgestellt, dies ist aber anscheinend auf die hohe Vorbelastung bei der Liese oberhalb mit 1,2 ng/l zurückzuführen. Insgesamt bleibt festzustellen, dass die Werte typisch für kommunal geprägte Kläranlagen sind.

3.3.5 Wasserwirtschaftliche Relevanz einer 4. Reinigungsstufe

Basierend auf der vorab beschriebenen, erweiterten Sachstandsdarstellung ist festzustellen, dass die Errichtung einer 4. Reinigungsstufe grundsätzlich zur Verbesserung des Gewässerzustands beitragen würde. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die als prioritär bewerteten Spurenstoffe, bei denen Überschreitungen der vom Land NRW formulierten Orientierungswerte festgestellt wurden (u.a. Diclofenac).

Für den Parameter Gesamtphosphat-Phosphor ist festzuhalten, dass die auf der Kläranlage Wadersloh betrieblich erreichte Ablaufkonzentration von 0,8 mg/l bereits als sehr gering einzustufen ist. Die Errichtung einer 4. Reinigungsstufe kann hier – soweit Filtrationstechniken integriert sind, die auch zum gesteigerten Feststoffrückhalt bei einer verstärkten chemisch-physikalischen P-Elimination (Fällung / Flockung) genutzt werden können – zu einer Stabilisierung der P-Ablaufwerte beitragen. Grundsätzlich sind hier allerdings deutlich gesteigerte Investitions- und Betriebskosten (größere Dimensionierung der Filtrationseinheit, gesteigerte Fällmittelverbräuche und erhöhter Schlammanfall) zu erwarten.

Die erheblichen hydromorphologischen Defizite der Liese (u.a. hervorgerufen durch Gewässerausbau u. -begradigung) und die stofflichen Belastungen infolge diffuser Einträge aus der Landwirtschaft (z.B. Nährstoffe u. PBSMs) lassen sich durch die Errichtung einer 4. Reinigungsstufe auf der Kläranlage nicht verbessern. Daher ist davon auszugehen, dass die alleinige Errichtung für die Erreichung eines guten ökologischen Gewässerzustands bzw. des guten ökologischen Potenzials nicht ausreichend ist.

Die Implementierung einer vierten Reinigungsstufe auf dem ZWK Wadersloh hat, unabhängig von der gewählten Verfahrenstechnik, keine Auswirkung auf die Temperatur im Ablauf bzw. die Temperatur des Vorfluters Liese.

Die Inbetriebnahme einer Aktivkohlestufe und/oder einer Filtrationseinheit könnte zu einer Reduktion der CSB-Konzentration im Ablauf führen (Adsorptionsvorgänge, Rückhalt abfiltrierbarer Stoffe), wodurch das Sauerstoffzehnungspotential in der Vorflut reduziert würde.

4 Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen

4.1 Allgemeines / Übersicht

Arzneimittelrückstände und Mikroschadstoffe werden bereits in der klassischen kommunalen Abwasserbehandlung (mechanische und biologische Reinigungsstufe) in einem gewissen Umfang reduziert. In Untersuchungen wurde für verschiedene Schadstoffe gezeigt, dass eine Konzentrationsabnahme entlang eines herkömmlichen kommunalen Reinigungsprozesses (ohne spezielle weitergehende Reinigungsstufen) stattfindet.

Die wesentlichen Wirkmechanismen zur Teilelimination entsprechender Stoffgruppen sind hierbei zum einen die Adsorption an Biomasse und zum anderen ein biologischer Abbau bestimmter Stoffgruppen. Dabei variiert grundsätzlich je nach Substanz die tatsächliche Eliminationsleistung in einem weiten Rahmen von nicht vorhanden bis nahezu vollständig. Abbildung 4-1 zeigt die unterschiedlichen Eliminationsraten für verschiedene Spurenstoffe auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) in der Schweiz.

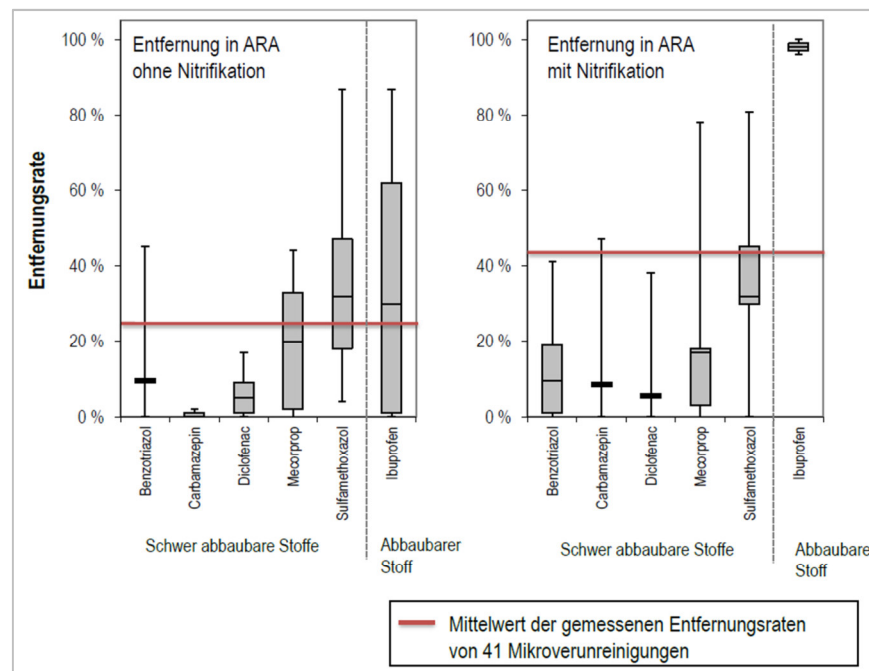


Abbildung 4-1: Entfernungsraten von Mikroverunreinigungen auf kommunalen Kläranlagen (BAFU, 2012)

Generell werden Mikroverunreinigungen in kommunalen Kläranlagen mit mechanischer u. biologischer Reinigung aber ohne weitergehende Reinigungsstufen nicht ausreichend reduziert, um gesteigerte Anforderungen an die Elimination von Mikroschadstoffen zu erfüllen.

In der nachfolgenden Abbildung sind verschiedene Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen sowie benötigte Betriebsmittel und Anwendungsformen dargestellt. Mit der Adsorption, der Oxidation und in gewissem Umfang der Membranfiltration sind drei Verfahrenstechniken bekannt, deren unterschiedliche Wirkmechanismen für die weitgehende Spurenstoffelimination einsetzbar sind.

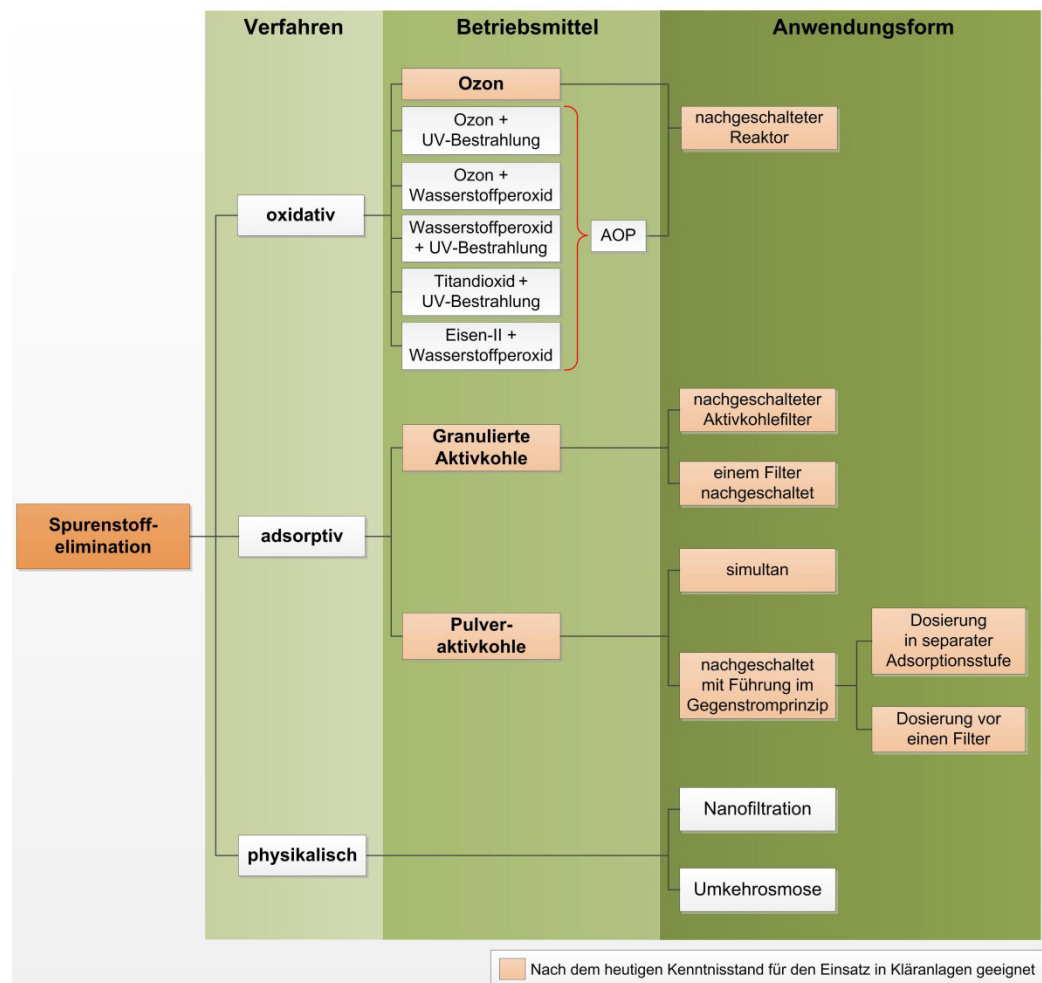


Abbildung 4-2: Verschiedene Verfahren zur Spurenstoffelimination (*Kompetenzzentrum Spurenstoffe*, (<http://www.koms-bw.de/>, Zugriff 2017))

Die Oxidation (z.B. mittels Wasserstoffperoxid) beschreibt einen rein chemischen Reaktionsprozess, bei dem eine Elimination der Mikroschadstoffe nicht durch eine physikalische Entnahme der Stoffe sondern durch Abbau, Aufspaltung / Umwandlung in entsprechende Reaktionsprodukte erfolgt. Auf (kommunalen) Kläranlagen hat sich bei den Oxidationsverfahren eine nachgeschaltete Ozonierung als geeignetes Verfahren erwiesen.

Die Adsorption beschreibt ein physikalisch / chemisches Trennverfahren bei dem die zu eliminierenden Stoffe an ein hochreaktives Adsorbens (große

Adsorptionskräfte aufgrund großer, fein-poröser Oberflächen) im Wesentlichen durch elektrostatische Wechselwirkungen angelagert und gebunden werden. Die Elimination der angelagerten Stoffe aus dem Abwasservolumenstrom erfolgt über die anschließende Entnahme und Weiterbehandlung bzw. Regeneration des beladenen Adsorbens (Aktivkohle). Grundsätzlich kann die Aktivkohle (AK) pulverförmig (PAK) oder granuliert (GAK) verwendet werden.

Bei der Membranfiltration hingegen handelt es sich um ein rein physikalisches Trennverfahren. Der Einsatz von selektiven, permeablen Membranen zeigt im Bereich der Mikro- bzw. Ultrafiltration allerdings nur geringe bzw. nicht ausreichende Eliminationsleistungen für Mikroverunreinigungen wie Arzneimittelrückstände. Aus diesem Grund wird die Membranfiltration vollständigshalber an dieser Stelle erwähnt, in der vorliegenden Machbarkeitsstudie aber nicht weiter betrachtet.

4.2 Ozonierung

4.2.1 Grundlagen

Bei der Desinfektion und zur Elimination von organischen Restverschmutzungen stellt die Ozonierung in der Trink- und Badewasseraufbereitung sowie in der Industrieabwasserbehandlung seit Jahrzehnten ein bewährtes Verfahren dar.

Ozon besteht aus drei Sauerstoffatomen und ist ein sehr reaktives, technisch herstellbares Gas. Es wirkt auf eine Vielzahl von chemischen Verbindungen als starkes Oxidationsmittel. Bei einer Ozonung kommt es daher nicht zu einer Entnahme oder einem Rückhalt von Mikroverunreinigung, sondern zu einer Zerstörung und/oder Umwandlung sowie Inaktivierung von Mikroschadstoffen durch eine oxidative Reaktion. Mit der „direkten“ und „indirekten Oxidation“ werden grundsätzlich zwei verschiedene Wirkmechanismen der Ozonung unterschieden.

Im Wasser reagiert Ozon direkt mit zahlreichen organischen und anorganischen Verbindungen, wodurch viele Substanzen sehr schnell von Ozon oxidiert oder aufgebrochen werden. Allerdings sind die direkten Ozonreaktionen sehr selektiv. Bevorzugt werden dabei bestimmte chemische Bindungen (z.B. Kohlenstoff-Doppelbindungen, phenolische Verbindungen oder Aminogruppen) angegriffen. Andere Substanzen sind gegenüber Ozon und den Wirkmechanismus einer direkten Oxidation hingegen deutlich persistenter (BAFU, 2012).

Bei der indirekten Oxidation hingegen findet eine starke, sehr schnell und tendenziell unspezifisch wirkende oxidative Reaktion von Hydroxyl-Radikalen ($\text{OH}\cdot$) mit verschiedensten Substanzen statt.

Diese Radikale entstehen in Anwesenheit von organischem Kohlenstoff und Hydroxid-Ionen (OH^-) beim Zerfall von Ozon im Wasser. Die Effizienz der indirekten Oxidation mittels Hydroxyl-Radikale im Hinblick auf die Elimination von speziellen Spurenstoffen wird allerdings aufgrund der indifferenten Reaktionen mit „harmlosen“, organischen Hintergrundmaterial deutlich vermindert (BAFU, 2012).

Grundsätzlich lässt sich durch eine Ozonung für eine Vielzahl von Mikroverunreinigungen eine weitgehende Elimination aus dem kommunalen Abwasser erzielen. Die tatsächliche Wirksamkeit der Ozonung ist dabei zum einen substanzspezifisch, hängt zum anderen aber auch wesentlich von der OH-Radikal-Exposition ab. Hierbei entscheidend sind die Reaktionszeit sowie die Konzentration an Oxidationsmittel (Ozon, OH-Radikale).

Beim Einsatz einer Ozonung zur Elimination von Mikroverunreinigung auf kommunalen Kläranlagen ist besonders zu beachten, dass sich in dieser Prozessstufe reaktive Umwandlungsprodukte bilden, die nicht alle vollständig bekannt sind. In der Regel sind diese Stoffe allerdings unkritischer als die Ausgangsverunreinigungen. Die Notwendigkeit einer biologischen Nachbehandlung ist je nach Anwendungsfall zu prüfen. Nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand wird eine solche Stufe als zusätzliche Barriere empfohlen.

4.2.2 Reinigungsleistung

Die Eliminationsleistung von Spurenstoffen durch eine Ozonierung ist im Wesentlichen von den folgenden Aspekten abhängig:

- Ozondosis: Je mehr Ozon eingetragen wird, desto mehr Oxidationsreaktionen können stattfinden
- DOC: Neben Spurenstoffen reagieren die Radikale auch mit der Hintergrund-Abwassermatrix. Das hat einen zusätzlichen Ozonverbrauch zur Folge. Daher ist eine geringe DOC – Konzentration anzustreben
- Nitrit: Reagiert mit Ozon und wird zu Nitrat oxidiert. Erhöhung des Ozonbedarfs bzw. Energieverbrauch bzw. Kosten. Daher ist eine möglichst vollständige Nitrifikation für einen wirtschaftlichen Betrieb vorauszusetzen

- pH-Wert: Bei hohen pH-Werten ist Ozon weniger stabil. Das muss ggf. bei der Dimensionierung vom Reaktor berücksichtigt werden
- Alkalinität: Hohe Alkalinität erhöht die Ozonstabilität. Meist jedoch vernachlässigbar
- Temperatur: Tiefe Temperaturen erhöhen Ozonstabilität. I.d.R. vernachlässigbar
- Bromid: Durch den Oxidationsprozess können kanzerogene Bromate gebildet werden (Grenzwert aus Trinkwasserverordnung 0,01 mg/l)

In Abbildung 4-3 sind Eliminationsraten für ausgewählte Spurenstoffe bei unterschiedlicher Ozondosierung (g O₃/g DOC) aufgeführt. Je nach Stoff unterscheiden sich die maximal möglichen sowie von der Ozondosis abhängigen Eliminationsraten erheblich.

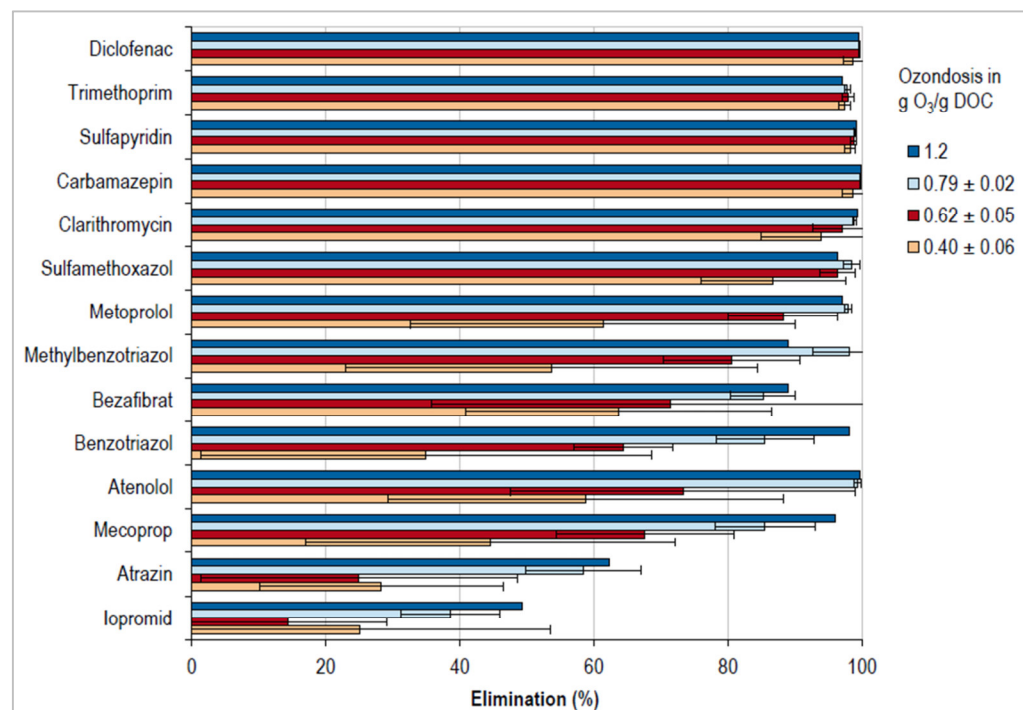


Abbildung 4-3: Eliminationsrate verschiedener Spurenstoffe bei unterschiedlicher Ozondosierung (BAFU, 2012)

Grundsätzlich stellt der Einsatz von Ozon eine geeignete Verfahrenstechnik dar, um eine Vielzahl von persistenten Stoffen und Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu entfernen. Die Wirksamkeit und Effizienz der Verfahrenstechnik sind im Wesentlichen stoffspezifisch. Der vorherrschende pH-Wert und die Hintergrund-Konzentration an gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen (DOC) bilden wichtige, zusätzliche Einflussfaktoren, die in jedem Anwendungsfall anlagenspezifisch bewertet werden müssen.

4.2.3 Anlagenkomponenten

In der Regel wird Ozon als Gas je nach Bedarf vor Ort technisch aus Reinsauerstoff oder getrockneter Luft hergestellt. Da bei hohen Konzentrationen und Drücken Explosionsgefahr besteht kann Ozon nicht in Druckflaschen abgefüllt und gelagert werden. Die Erzeugung von Ozon mittels elektrischer Entladung über ein entsprechendes elektrisches Feld ist ein vergleichsweise energieintensiver technischer Prozess. Folgende Komponenten bilden das grundsätzliche Gerüst einer Ozonung zur Elimination vom Arzneimittelrückständen bzw. Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser:

- Sauerstofftank, Verdampfungsstation inkl. Druckreduktion und Ozongenerator zur Erzeugung von Ozon aus Sauerstoff mittels elektrischer Entladung.
- Ozoneintragssystem und gasdicht ausgeführter Ozonungsreaktor inkl. zugehöriger MSR-Technik zum bedarfsgenauen Eintrag von Ozon in den Abwasserstrom, zur Vermischung und zur Gewährleistung einer ausreichenden Kontaktzeit.
- Abluffassung im Kopfbereich des Ozonungsreaktors und Restozonvernichtung zur Vermeidung eines Austrags von nicht verbrauchtem Ozon in die Umgebungsluft. Ein Gesundheitsrisiko für das Betriebspersonal (Ozon ist ein stark reizendes Gas) ist durch entsprechende Schutzmaßnahmen und Sicherheitsmaßnahmen zu minimieren.
- Biologische Nachbehandlungsstufe (meist Schönungsteich).

Für die Regelung der Ozondosierung werden in der Praxis drei verschiedene Varianten beschrieben:

- Regelung der Ozondosierung in Abhängigkeit der Wassermenge
- Frachtproportionale Regelung der Ozondosierung in Abhängigkeit der gelösten Konzentration des organischen Kohlenstoffes (DOC)
- Frachtproportionale Regelung der Ozondosierung in Abhängigkeit des spektralen Absorptionskoeffizienten bei 254 nm

4.2.4 Anwendungsbeispiel

Ein Anwendungsbeispiel für eine Ozonierung in dieser Baugröße ist auf der Kläranlage Bad Sassendorf errichtet. Die Anlage ist für eine Kapazität von 12.000 EW ausgelegt. Die nachgeschaltete Mikroschadstoffelimination ist auf eine Wassermenge von maximal 650 m³/h dimensioniert worden. Die wesentlichen Eckdaten sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4-1: Kenndaten Ozonierung Bad Sassendorf (*Lippeverband*)

Parameter	Einheit	Wert
Straßen Wasserweg	-	2
Volumen Reaktor	m ³	64
Min. Verweilzeit	min	13
Straßen Ozonerzeuger	-	1
Leistung Ozonerzeuger	kg O ₃ /h	4,6

4.3 Adsorption an Aktivkohle

4.3.1 Grundlagen

Bei der Elimination von Mikroschadstoffen in der Abwasserreinigung durch Aktivkohle werden aus einer flüssigen oder gasförmigen Phase gelöste Substanzen und Spurenstoffe (Adsorbat) an der Oberfläche von Festkörpern (Adsorbens) gebunden und über diesen Weg aus der Abwassermatrix entfernt. Bei diesem Verfahren kann grundsätzlich zwischen chemischer (i.d.R. irreversibel) und physikalischer (Rücklösung möglich) Sorption als Bindungsformen unterschieden werden. In Abhängigkeit von der Dosiermenge an Aktivkohle stellt sich bei ausreichender Kontaktzeit ein substanzspezifisches Sorptionsgleichgewicht ein. Die Lage dieser Gleichgewichtszustände wird durch Reaktionsisotherme beschrieben, die angeben, wie groß die Beladung des Adsorbens bei einer bestimmten Restkonzentration des Adsorbats in Lösung ist.

Für die mathematische Beschreibung dieser Isothermen für wässrige Lösungen wird häufig der Ansatz nach *Freundlich* verwendet, der unter anderem im DVGW-Merkblatt W 240 beschrieben ist. Die jeweils maßgebenden Parameter und Reaktionskonstanten sind dabei stoffspezifisch und in Laborversuchen entsprechend zu ermitteln. Diese gelten nur für die untersuchten Randbedingungen (Abwasserhintergrundmatrix, Aktivkohle-Typ) und sind nicht direkt auf großtechnische Anlagen zu übertragen.

Die wesentlichen Einflussfaktoren auf die Wirksamkeit einer Aktivkohle-Adsorption in der Abwasserbehandlung zur Spurenstoffelimination sind neben der Abwasser-Hintergrundmatrix und dem Gehalt an gelösten organischen Kohlenstoffverbindungen (DOC), Art, Typ und Struktur der verwendeten Aktivkohle. Zudem relevant ist eine ggf. vorhandene Vorbeladung der Kohle, die jeweils gewählte Dosiermenge und Kontaktzeit sowie der ggf. erforderliche Einsatz von Fäll- und/ oder Flockungshilfsmitteln.

Zur Elimination von Mikroschadstoffen in der Abwasserreinigung wird derzeit zwischen zwei Anwendungsformen einer Aktivkohle-Adsorption unterschieden.

- Suspensierte Pulveraktivkohle (PAK)
- Granulierte Aktivkohle (GAK)

Die maßgebenden Parameter zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Aktivkohleadsorptionsstufen beim Einsatz in der Abwasserreinigung sind die dosierte Aktivkohlemenge je Abwasservolumen in mg PAK/l Abwasser (PAK) sowie das durchgesetzte Bettvolumina BVT als Quotient aus behandeltem Wasservolumen und zugehörigem Filtervolumen sowie der spezifische Durchsatz v_{sp} als Quotient aus behandeltem Wasservolumen und der eingelegenen Aktivkohlemenge (GAK Filter)

4.3.2 Pulveraktivkohle (PAK)

4.3.2.1 **Verfahrensbeschreibung**

Insgesamt stellt der Einsatz von PAK zur Elimination von Mikroverunreinigungen eine betriebsstabile Verfahrenstechnik dar, die sich häufig gut in den vorhandenen Anlagenbestand integrieren lässt. Hierbei sind verschiedene Ausführungsformen denkbar. Für eine möglichst effiziente Nutzung von Pulveraktivkohle ist es grundsätzlich vorteilhaft, die Aufenthaltszeit der Kohle von der hydraulischen Aufenthaltszeit zu entkoppeln. Die Abtrennung der suspendierten Aktivkohle aus dem behandelten Abwasservolumenstrom ist auf unterschiedliche Weise möglich. Bei einer einfachen Sedimentation sind, insbesondere bei Kläranlagen mit einem durch Mischkanalisation geprägten Einzugsgebiet, Auswirkungen von Regenwetter- bzw. Starkniederschlagsereignissen besonders zu berücksichtigen. Aufgrund der mit der Aktivkohle eingebrachten Feinfraktion, sollte der Anlage zwingend eine Filtrationsstufe nachgeschaltet werden.

4.3.2.2 **Anlagenkomponenten**

Eine Pulveraktivkohlestufe zur weitergehenden Abwasserreinigung besteht im Wesentlichen aus folgenden Anlagenkomponenten:

- PAK-Lagerung (*Big-Bags* oder Silo) sowie Einmisch- und Dosiersystem
- Kontaktreaktor zum Eintrag der Pulveraktivkohle in den Abwasserstrom, zur Vermischung und zur Sicherstellung einer ausreichenden Kontaktzeit

- PAK-Abtrennung über Sedimentation, Filtration oder eine Kombination der Verfahren
- PAK-Rezirkulation zur Entkopplung der hydraulischen Aufenthaltszeit des Abwassers von der Aufenthaltszeit der Kohle. Durch die Rezirkulation von abgetrennter Pulveraktivkohle in den Kontaktreaktor findet dort zusätzlich eine entsprechende Aufkonzentrierung statt.

Die Lagerung und der Einsatz von Pulveraktivkohle bedürfen nur geringer sicherheitstechnischer Maßnahmen. Der zusätzliche Aufwand für Elektro- und MSR-Technik ist ebenfalls überschaubar. In der Regel erfolgt die PAK-Dosierung entweder mengenproportional oder bezogen auf die Rest-DOC-Fracht.

4.3.2.3 Anwendungsbeispiel

Im Regelfall wird die Pulveraktivkohle über die Anlagenteile Kontaktbecken, Absetzbecken und Filtrationsanlage in eine Anlage zur Mikroschadstoffelimination integriert. Aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse wurden alternative Einsatzmöglichkeiten in Betracht gezogen. In einem großtechnischen Versuch (Anlagenteil mit ca. 15.000 EW) wurde auf der Abwasserreinigungsanlage Flos Wetzikon Pulveraktivkohle direkt in die Belebung dosiert und auf die Bauwerke Kontaktreaktor und Absetzbecken verzichtet.

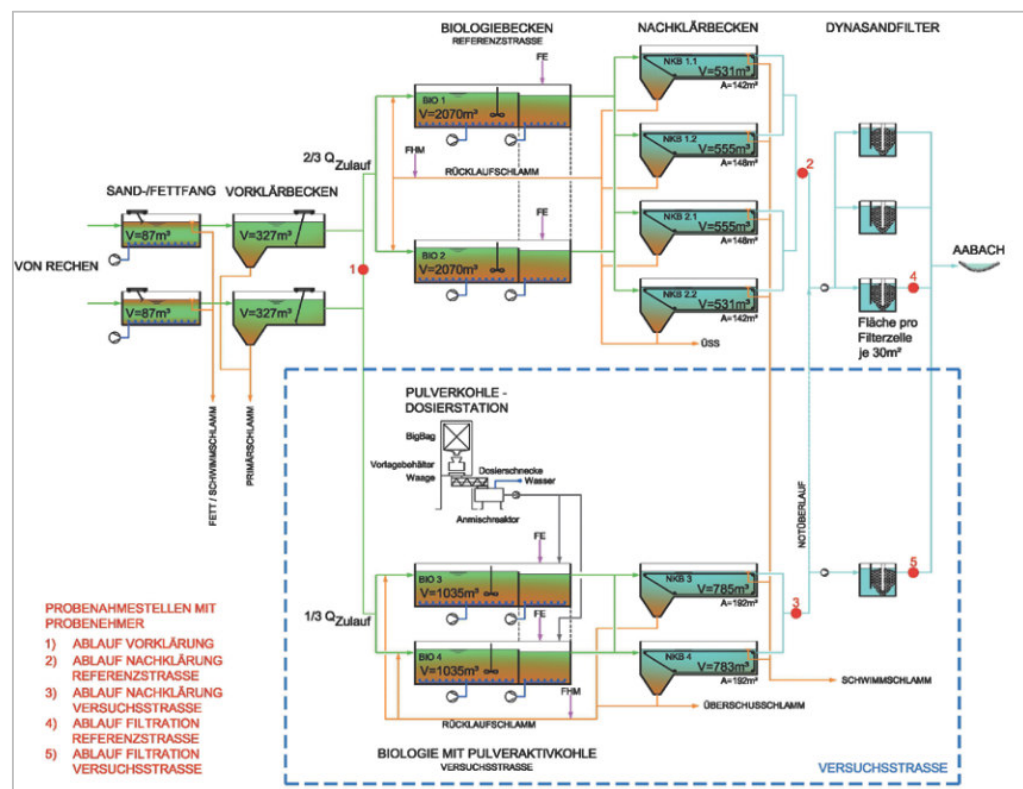


Abbildung 4-4: Verfahrensschema ARA Flos Wetzikon, ohne Schlammbehandlung Referenz- und Versuchsstraße (Aqua&Gas 2/2015)

Die publizierten Ergebnisse zeigen eine stabile Eliminationsrate von mindestens 80% bei fünf untersuchten Mikroschadstoffen. Die mittlere Dosierung beträgt ca. 18 mg/l an Pulveraktivkohle. Durch die Dosierung von PAK konnte zudem eine Stabilisierung des Schlammvolumenindex auf niedrigerem Niveau festgestellt werden.

4.3.3 Granulierte Aktivkohle (GAK)

4.3.3.1 **Verfahrensbeschreibung**

Auch der Einsatz von granulierter Aktivkohle (GAK) stellt eine betriebssichere und insbesondere in der Trinkwasseraufbereitung erprobte Verfahrenstechnik dar. Granulierte Aktivkohle besitzt im Vergleich zur Pulveraktivkohle bei geringerer spezifischer Oberfläche eine deutlich größere Kornstruktur.

In der Regel wird GAK zur Elimination von Mikroschadstoffen als Filtermaterial in Raumfiltern (Festbettadsorbern) und somit normalerweise der biologischen Reinigungsstufe nachgeschaltet eingesetzt. Nach vollständiger Beladung (Erschöpfung der Adsorptionskapazität) muss die Kohle ausgewechselt werden. Verbrauchtes Material kann regeneriert und anschließend neu eingesetzt werden.

Die Ausführung von GAK-Filtern ist vielfältig (vergleichbar zu Schnellsandfiltern). Solange die Filtration nicht rückgespült wird, nimmt die Stoffkonzentration im granulierten Aktivkohlebett in Fließrichtung ab. Für eine Bewertung der Wirksamkeit einer GAK-Filtrationsstufe ist entscheidend, dass die sich über das Filterbett einstellenden Konzentrationsprofile stoffspezifisch sind.

Bei Filtern mit Rückspülung wird die GAK am Ende jedes Spülvorgangs neu eingeschichtet, sodass sich die Beladung mehr oder weniger gleichmäßig über die Filtration verteilt.

Für die Bewertung der Effizienz einer GAK-Filtration und der entstehenden Betriebskosten für die erforderliche Menge an granulierter Aktivkohle ist die Filterstandzeit ausschlaggebend. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die absolute Filterlaufzeit eine ungeeignete Kenngröße darstellt, da sie von der anlagenspezifischen Ausgestaltung der Filtration (Filterbettvolumen, Abwasserdurchfluss, etc.) abhängt. Tatsächlich ist entscheidend, wieviel Abwasser pro Filtervolumen und somit mit welcher Menge Aktivkohle behandelt werden kann (BAFU, 2012).

4.3.3.2 Anlagenkomponenten

Bei Anlagen mit granulierter Aktivkohle sind folgende Anlagenteile vorhanden:

- Filtereinheit gefüllt mit granulierter Aktivkohle
- Rückspüleinheit bestehend aus Pumpen und/oder einer Verdichterstation zur Auflockerung des Filterbettes und lösen von partikulären Stoffen
- Pumpwerk für belastetes Rückspülwasser

4.3.3.3 Anwendungsbeispiel

Auf der Kläranlage Rietberg (46.500 EW) wurde vor der Umrüstung eine nachgeschaltete kontinuierliche Sandfiltration betrieben. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde der Austausch des Filtermaterials von Sand auf granulierter Aktivkohle getestet. Die Versuchsergebnisse waren positiv und die Anlage wurde mittlerweile vollständig auf granuliert Aktivkohle umgerüstet.

Tabelle 4-2: Kenndaten Filtration über Granulierter Aktivkohle (*NordicWater*)

Parameter	Dimension	Wert
Straßen Wasserweg	-	2
Oberfläche	m ²	60
Filterbetthöhe	m	3
Filtervolumen	m ³	210
Prognostizierte Standzeit	Jahr	1

4.4 Zusammenfassung und Folgerungen

Grundsätzlich kommen eine Ozonierung sowie der Einsatz von pulverförmiger Aktivkohle (PAK) oder granulierter Aktivkohle (GAK) zur Entfernung von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen in Frage. Die Verfahrensvarianten weisen erfahrungsgemäß eine hinreichende Eliminationswirkung für die üblicherweise in kommunalem Abwasser vorkommenden Mikroverunreinigungen auf. In der Tabelle 4-3 sind den beschriebenen Verfahren für einzelne Leitsubstanzen bekannte Eliminationsleistungen zugeordnet. Wichtige Entscheidungsfaktoren für die standortspezifische Eignung der jeweiligen Technologie sind:

- Platzverhältnisse auf der bestehenden Anlage (Errichtung neuer Anlagenkomponenten, Anlieferung von Betriebsmitteln)
- Zu erwartende Investitions- und Betriebskosten
- Betrieb, Betriebsstabilität, Wartung und Instandhaltung sowie arbeitsschutzrelevante Aspekte

Tabelle 4-3: Bewertung der Eliminationsleistung ausgewählter Verfahren zur Spurenstoffelimination für verschiedene Stoffe

Leitsubstanz	Eliminationsleistung		
	Ozonierung	GAK	PAK
Clarithromycin	++ ⁽⁶⁾	k. A.	+ bis ++ ⁽²⁾
Sulfamethoxazol		0	+ ⁽⁶⁾
Diclofenac	++ ⁽¹⁾	++ ⁽¹⁾	+ bis ++ ⁽¹⁾
Naproxen			++ ⁽⁶⁾
Phenazon			++ ⁽⁶⁾
Metoprolol	+ bis ++ ⁽¹⁾	+ ⁽⁶⁾	++ ⁽¹⁾
Sotalol	++ ⁽⁴⁾	k. A.	+ ⁽⁶⁾
Bezafibrat			++ ⁽⁶⁾
Carbamazepin		+ ⁽⁶⁾	+ ⁽⁶⁾
Amidotrizoesäure	- ⁽³⁾	- bis +	0 ⁽³⁾
lomeprol	0	0	+
lopamidol	0	0	0 bis + ⁽³⁾
lopromid	0 ⁽²⁾	0	0 bis + ⁽²⁾
Benzotriazol	+ ⁽¹⁾	+ ⁽⁶⁾	+ bis ++ ⁽¹⁾

generalisierte Eliminationsleistung: - : < 10%; 0 : 10 bis 50%; +: 50 bis 90%; ++: > 90%

- (1) Abschlussbericht ENVELO: Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, 2011
- (2) Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser: Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt
- (3) Untersuchungs- und Entwicklungsvorhaben im Bereich Abwasser zum Themenschwerpunkt Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren
- (4) Abschlussbericht: Einsatz und Wirkungsweise oxydativer Verfahren zur Nachbehandlung von Abwasser aus kommunalen Kläranlagen
- (5) Abschlussbericht: Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren
- (6) Tagungsband 32. Bochumer Workshop: Mikroschadstoffe und Krankheitserreger aus Abwasser entfernen

5 Technische Konzepte zur Elimination von Mikroschadstoffen

5.1 Verfahrensvarianten

5.1.1 Variante 1 - Ozonierung

5.1.1.1 Technische Beschreibung

Bei der Variante Ozonierung wurde ein zweistraßig ausgeführter Ozonreaktor, ein vorgeschaltetes Hebewerk und eine einstraßig ausgeführte Sauerstoffbereitstellung bzw. Ozonerzeugung berücksichtigt. Um die Ablaufwerte der ZKW Wadersloh beim Parameter Gesamt – Phosphor weiter reduzieren zu können, kann optional z.B. eine zweistraßige Tuchfiltration berücksichtigt werden.

Bei der Ozonung erfolgt keine vollständige Mineralisierung der Mikroschadstoffe. Die bei der Ozonung entstehenden Metaboliten können einen negativen Effekt auf die Gewässer Flora und Fauna haben. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Ergebnisse des VSA im Vergleich ohne und mit nachgeschalteter Nachbehandlung. Je nach untersuchter Gruppe kann ein markanter positiver Effekt festgestellt werden.

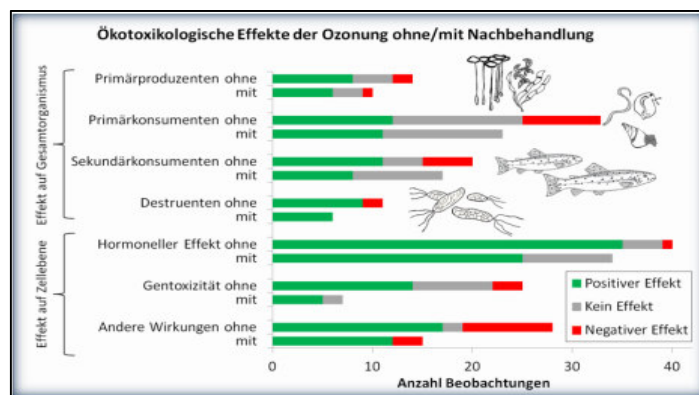


Abbildung 5-1: Ökotoxikologische Effekte der Ozonung (VSA)

In der Literatur werden folgende mögliche Nachbehandlungsverfahren beschrieben:

- Sandfilter
- Schönungsteich
- MBBR Reaktor

Das Zentralklärwerk Wadersloh verfügt bereits über einen nachgeschalteten Schönungsteich, sodass auf die Errichtung einer zusätzlichen Nachbehandlungsstufe verzichtet wird. Die Abbildung 5-2 zeigt die vorgesehene Einbin-

dung einer Ozonierung. Die genaue Kapazität des Schönungsteiches ist aufgrund der teilweisen Verlandung unbekannt. Ggf. muss ein Teil des Sedimentes im Vorfeld aus dem Schönungsteich entfernt werden. Da die Menge der Ablagerungen im Schönungsteich nicht bekannt sind, wurden auch keine Kosten für eine Räumung in der Kostenschätzung berücksichtigt.

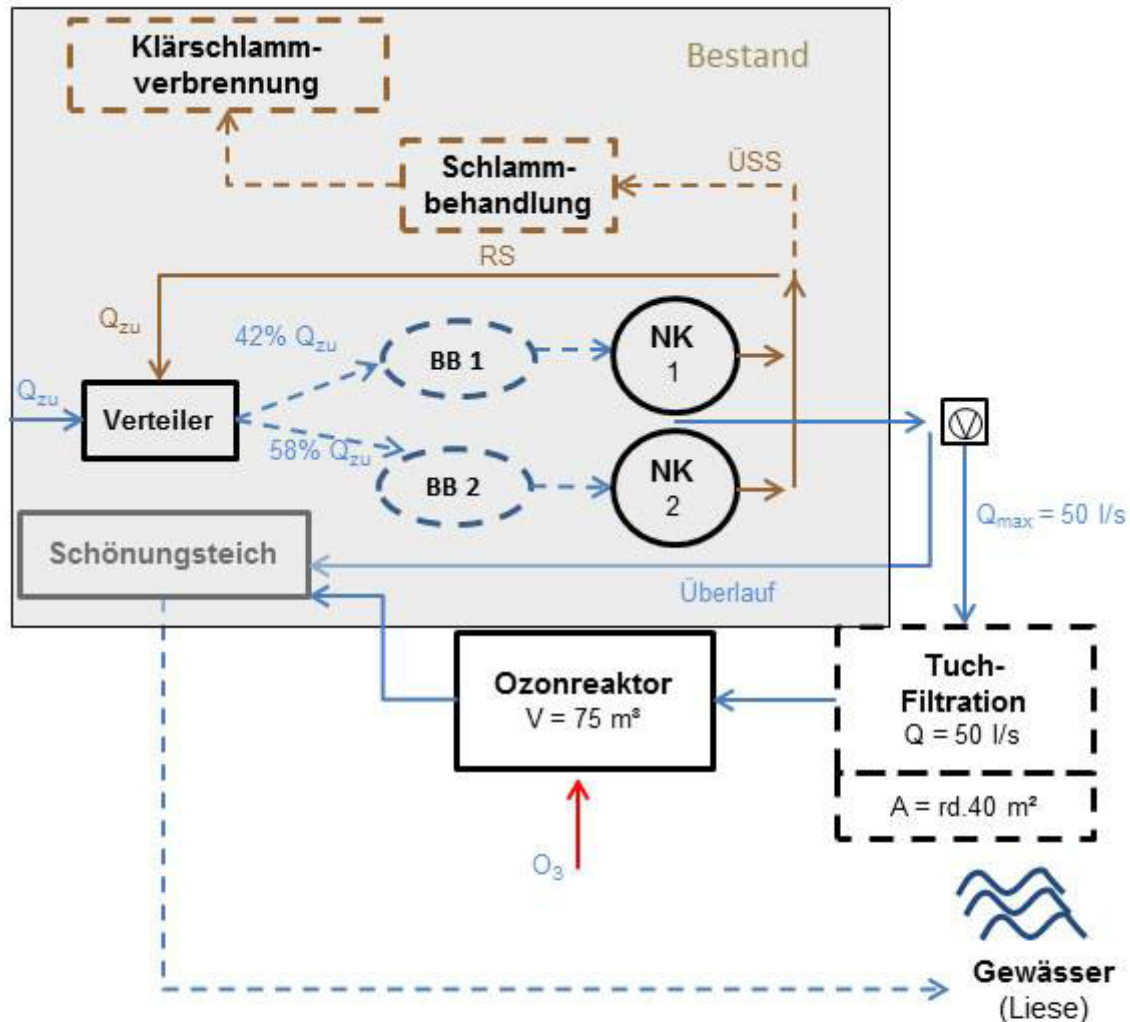


Abbildung 5-2: Schematische Darstellung Einbindung Ozonierung im Teilstrom

5.1.1.2 Erforderliche Maßnahmen

Für die Umsetzung der Ozonierung sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Abwasserhebewerk für Teilstrom
- Filtration mit zugehöriger Schaltanlage (Option)
- Zweistraßig ausgeführter Ozoneaktor
- Abfüllplatz mit Sauerstofftank und Verdampfer
- Technikcontainer mit Ozonezeuger.

5.1.1.3 Grobauslegung

Da ein Abwasserhebewerk auf Grund der hydraulischen Verluste zwingend erforderlich ist und der Grundwasserspiegel sehr hoch liegt, wird planerisch vorgesehen die Sohle des Ozonreaktors auf ein Niveau von ca. -2m unterhalb der Geländeoberkante zu errichten. Bei einer max. Behandlungsmenge von 180 m³/h beträgt die erforderliche Förderhöhe ca. 5,5 m. Hierzu wird in dem Ozonreaktor ein entsprechendes Pumpwerk bestehend aus Kreiselpumpen integriert.

Der eigentliche Ozonreaktor wird zweistraßig vorgesehen bei einer Aufenthaltszeit von ca. 30 min bei max. Zufluss. Hieraus ergibt sich ein Volumen von 90 m³. Als Kompromiss aus möglichst hohem Ozoneintrag und sinnvoller Kubatur wird der max. Wasserspiegel auf 5,5 m begrenzt.

Bei einer Dosierate von 4 mgO₃/l (7 mg DOC/l und 0,6 gO₃/gDOC) ergibt sich bei einem max. Zufluss von 180 m³/h eine erforderliche Ozonerzeugung von 0,76 kg/h.

Es wird ein Ozoneintrag über Keramik Diffusoren planerisch vorgesehen. Hierzu sind ca. 8 Stück bzw. 4 pro Straße erforderlich.

5.1.2 Variante 2-1 – Pulveraktivkohle (PAK) Teilstrom

5.1.2.1 Technische Beschreibung

Bei der Variante Elimination mit Pulveraktivkohle im Teilstrom erfolgt ein klassischer Aufbau als nachgeschalteter Anlagenteil bestehend aus Kontaktbecken, Absetzbecken und Filtration.

Bei Nachrüstung einer separaten Schlammwässerung und Verzicht auf eine Rezirkulation der Überschussschle in die Biologie besteht die Möglichkeit den Überschussschlamm aus der biologischen Stufe landwirtschaftlich zu entsorgen.

Aus Abbildung 5-3 kann man die vorgesehene Einbindung einer klassischen PAK Dosierung im Teilstrom entnehmen.

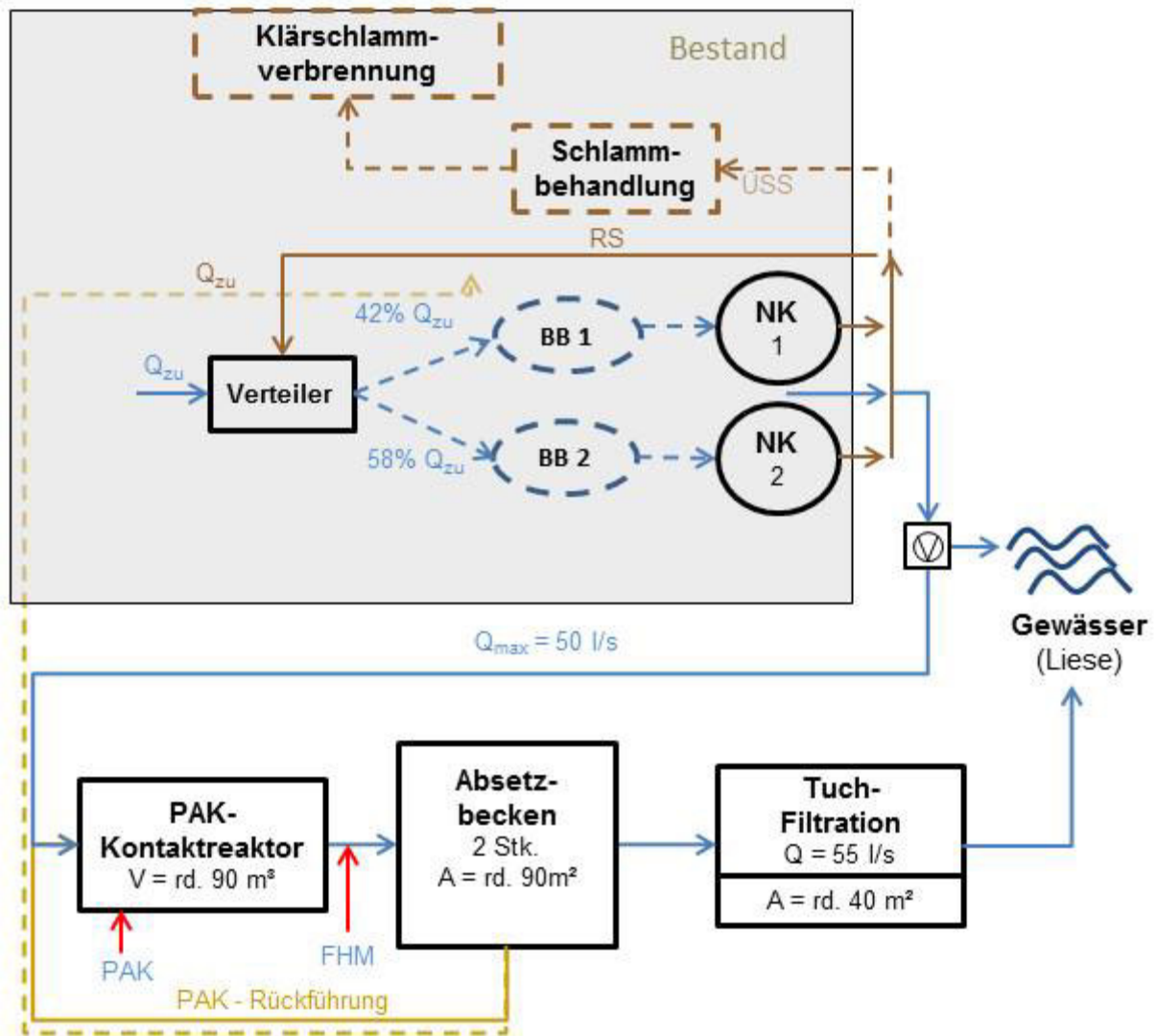


Abbildung 5-3: Schematische Darstellung Einbindung PAK Dosierung im Teilstrom

5.1.2.2 Erforderliche Maßnahmen

Für die Elimination von Mikroschadstoffen mit Hilfe von Pulveraktivkohle im Teilstrom sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- Silo für Pulveraktivkohle mit entsprechender Dosiereinrichtung
- Flockungsmitteldosierung
- Abwasserhebewerk nach der Nachklärung für Teilstrom
- Kontaktbecken
- Absetzbecken
- Filtration für Teilstrom.

5.1.2.3 Grobauslegung

Entsprechend der hydraulischen Auswertung wird die Teilstromanlage für eine Wassermenge von max. 180 m³/h ausgelegt. Bei einer Kontaktzeit von 30 min. ist für das Kontaktbecken ein Volumen von 90 m³ erforderlich.

Für die Bereitstellung der Pulveraktivkohle wird eine *BigBag*-Station vorgesehen.

Dem Kontaktbecken nachgeschaltet werden zwei Absetzbecken errichtet, um die Pulveraktivkohle zurückzuhalten. Die Becken werden auf eine Aufenthaltszeit von 2 h und einer Oberflächenbeschickung von 2 m/h ausgelegt. Die benötigten Absetzbecken haben insgesamt eine erforderliche Oberfläche von 90 m² bei einem Gesamtvolumen von 360 m³.

Die Tuchfiltration wird auf eine max. Wassermenge von 180 m³/h und einer Filterflächenbeschickung von 8 m/h ausgelegt, sodass sich eine Fläche von 22,5 m² ergibt. Es wird eine Fläche von 2x20 m² gewählt, um die erforderlichen Wartungsarbeiten an der Filtration (Reinigung/Austausch der Filtertücher) abdecken zu können.

5.1.3 Variante 2-2 – Pulveraktivkohle (PAK) Vollstrom

5.1.3.1 Technische Beschreibung

Diese Variante wird in Anlehnung an die großtechnischen Versuche auf der ARA Flos Wetzikon geplant. Ziel ist es die erforderlichen Bauwerke auf ein Minimum zu reduzieren und neben der Mikroschadstoffelimination die Möglichkeit für eine weitgehende Phosphorelimination zu schaffen. Der Verzicht auf eine nachgeschaltete PAK Stufe führt zu höheren spez. PAK Verbräuchen.

Hierzu wird vor der Nachklärung eine PAK Dosierung vorgesehen. Durch die bestehende Nachklärung wird ein Großteil der PAK mit dem Schlamm zurückgehalten. Über die bestehende Rücklaufschlammförderung erfolgt die Rezirkulation der Pulveraktivkohle. Feinstpartikel werden in der nachgeschalteten Filtrationsstufe abgeschieden und in die biologische Stufe zurückgeführt.

Der anfallende Überschussschlamm ist bei dieser Variante zwingend einer thermischen Verwertung, wie dies aktuell geschieht, zuzuführen. Die Abbildung 5-4 stellt schematisch die vorgesehene Einbindung einer PAK-Dosierung im Vollstrom dar.

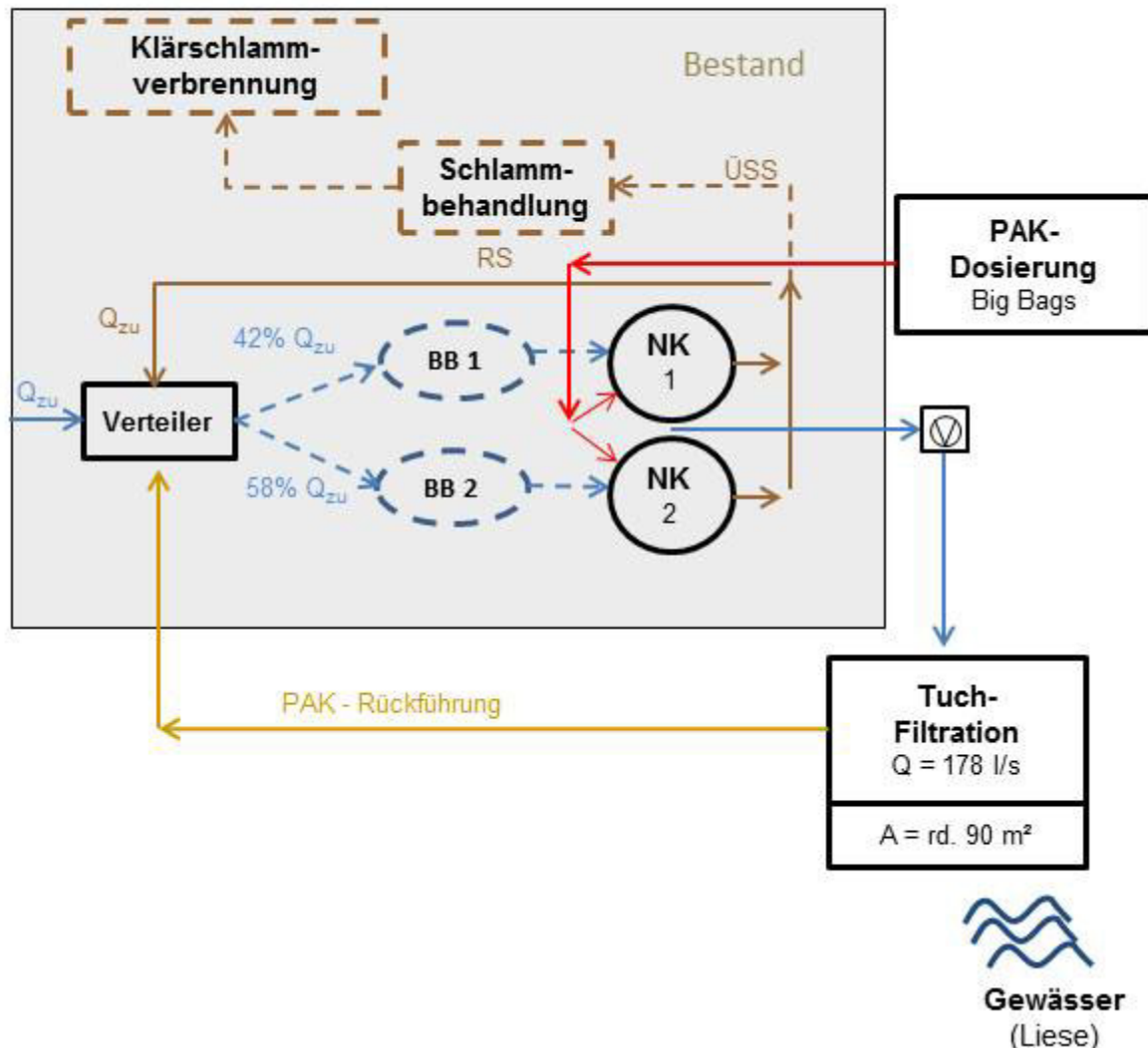


Abbildung 5-4: Schematische Darstellung Einbindung PAK Dosierung im Vollstrom

5.1.3.2 Erforderliche Maßnahmen

Für die Elimination von Mikroschadstoffen mit Hilfe von Pulveraktivkohle im Vollstrom sind folgende Maßnahmen erforderlich:

- BigBag-Station für Pulveraktivkohle mit entsprechender Dosiereinrichtung für zwei Straßen
- Abwasserhebewerk nach der Nachklärung für Vollstrom
- Filtration für den Vollstrom bei Mischwasserzufluss

5.1.3.3 Grobauslegung

Es wird eine separate Dosierung für beide Straßen vorgesehen. Die Straße 2 bekommt aktuell 58 % der Gesamtwassermenge, hieraus ergibt sich bei 640 m³/h ein max. Zufluss von 371 m³/h.

Gemäß den Ergebnissen auf der ARA Flos Wetzikon ist eine Aktivkohledosierung von max. 20 mg/l erforderlich. Die Dosiereinrichtung wird auf eine max. Dosiermenge von 7,5 kg/h ausgelegt.

Die Tuchfiltration wird auf eine max. Wassermenge von 576 m³/h und einer Filterflächenbeschickung von 8 m/h ausgelegt, sodass sich eine Fläche von min. 72 m² ergibt. Es wird eine Fläche von 90 m² gewählt. Erforderliche Wartungsarbeiten (Reinigung/Austausch der Filtertücher) sind bei Trockenwetter durchzuführen. Eine Auslegung auf max. Wassermenge und einer Redundanz von 1+1 führt zu einem unwirtschaftlichen Anstieg der Kosten und wird deshalb nicht vorgesehen.

Zur Überwindung der Druckverluste wird der Tuchfiltration (ca. 1 m) ein Abwasserhebewerk vorgeschaltet. Aufgrund der geringen Förderhöhe werden Propellerpumpen gewählt.

5.1.4 Variante 3 – Granulierte Aktivkohle (GAK)

5.1.4.1 Technische Beschreibung

Bei der Mikroschadstoffelimination mit Hilfe von granulierter Aktivkohle wird eine Säule aus granulierter Aktivkohle von Wasser vertikal durchströmt. Für die Machbarkeitsstudie wurde ein System mit kontinuierlicher Rückspülung gewählt. Hierdurch werden Stoßbelastungen aufgrund der Rückspülung (Spülwasser) verhindert.

Für die Filtration über granulierte Aktivkohle ist entscheiden, dass die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen (AFS) im Ablauf der Nachklärung in einem niedrigen Bereich ist. Hohe Konzentrationen erfordern einen höheren Rückspülvolumenstrom. Hierdurch wird die Standzeit negativ beeinflusst. Aufgrund der vorliegenden CSB bzw. TOC-Werte wird eingeschätzt, dass auch die Konzentration an abfiltrierbaren Stoffen am Standort entsprechend niedrig ist. Bei einer weitergehenden Planung ist dies mit Messwerten vom Anlagenablauf bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu untermauern.

Die Abbildung 5-5 stellt schematisch die Einbindung einer Filtration über granulierter Aktivkohle auf der Kläranlage Wadersloh dar.

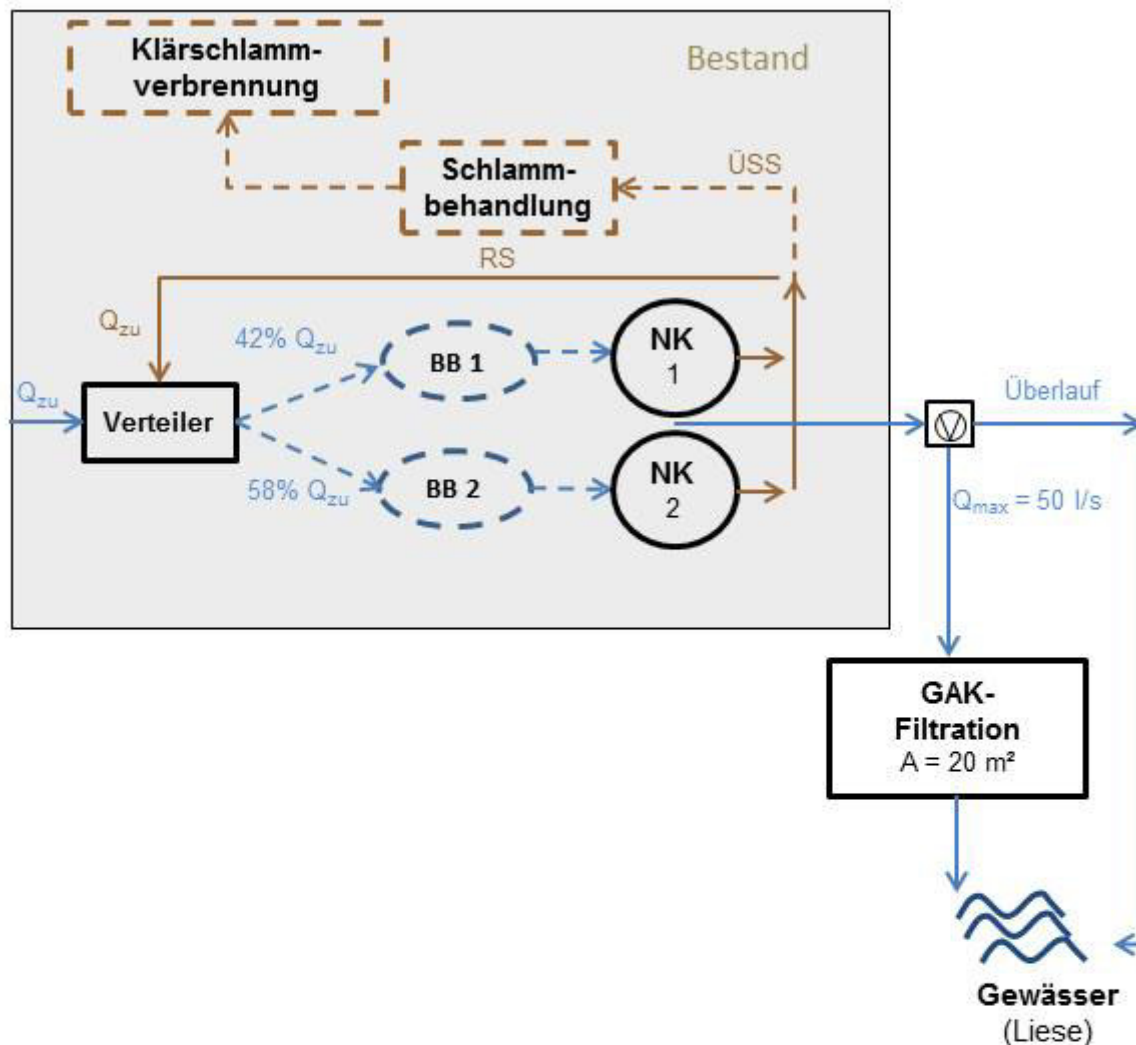


Abbildung 5-5: Schematische Darstellung Einbindung GAK Filtration im Teilstrom

5.1.4.2 Erforderliche Maßnahmen

Für die Implementierung einer Mikroschadstoffelimination auf dem Zentralklärwerk Wadersloh sind im Wesentlichen folgende Maßnahmen erforderlich:

- Abwasserhebewerk nach der Nachklärung für Teilstrom
- Filtrationsbehälter gefüllt mit granulierter Aktivkohle

5.1.4.3 Grobauslegung

Die Kontaktzeit zwischen Wasser und granulierter Aktivkohle wird bei max. Zufluss auf 20 min festgelegt. Hieraus ergibt sich ein erforderliches Filterbeckenvolumen von 60 m³. Bei einer gewählten Filterhöhe von 3 m ergibt sich eine erforderliche Oberfläche zu 20 m². Resultierend beträgt die Filtergeschwindigkeit bei Division von 180 m³ mit 20 m² gleich 9 m/h.

Es werden 4 Filter mit je einem Durchmesser von 2,5 m bzw. knapp 5 m² Oberfläche gewählt. Falls eine weitergehende Feststoffentnahme gewünscht ist, ist ein zusätzlicher Filter erforderlich.

Aufgrund des hohen Grundwasserspiegels und der beengten Platzverhältnisse wird eine vollständige Außenaufstellung der Filter gewählt. Die Bauhöhe beträgt ca. 7,2 m oberhalb der Sohlplatte.

Zur Überwindung der Höhendifferenz ist, der Filtration über die granulierten Aktivkohle vorgeschaltet, ein Pumpwerk erforderlich. Die benötigte Förderhöhe beträgt ca. 8,5 m.

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.2.1 Investitionskosten

Für die drei untersuchten Varianten wurden die erforderlichen Investitionen anhand von Kostenvergleichswerten (z.B. €/m³ Beckenvolumen), einer überschlägigen Massenermittlung sowie überschlägiger Richtpreisanfragen ermittelt. Eine Auswertung getätigter Investitionen für bereits realisierte Anlagen wurde ebenfalls berücksichtigt (*Mertsch et al., 2013*).

Erforderliche Investitionen wurden für die Bereiche Bautechnik, Maschinenteknik sowie Elektro-/ MSR-Technik soweit möglich gesondert abgeschätzt.

In der hier dargestellten Kostenschätzung wurden Baunebenkosten mit 18 % (Honorare, Gutachten, Genehmigungskosten) berücksichtigt. Der aktuelle Umsatz-/ Mehrwertsteuersatz von 19 % wurde zur Ermittlung der Bruttokosten angesetzt.

Die Tabelle 5-2 fasst die abgeschätzten, erforderlichen Brutto-Investitionen für die unterschiedlichen Verfahrensvarianten zusammen.

Tabelle 5-1: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – vorabgeschätzte, erforderlichen Investitionen (netto/brutto)

Investitionen	Variante 1 (Ozon)	Variante 2_1 (PAK_Teil)	Variante 2_2 (PAK_Voll)	Variante 3 (GAK)
Bautechnik	466.000 €	1.005.000 €	431.000 €	288.000 €
Maschinentechnik	453.000 €	530.000 €	519.000 €	298.000 €
Elektrotechnik	238.000 €	218.000 €	193.000 €	167.000 €
Investition (netto)	1.157.000 €	1.753.000 €	1.143.000 €	753.000 €
Bautechnik (inkl. Baunebenkosten 18 %)	549.880 €	1.185.900 €	508.580 €	342.720 €
Maschinentechnik (inkl. Baunebenkosten 18 %)	534.540 €	625.400 €	612.420 €	351.640 €
Elektrotechnik (inkl. Baunebenkosten 18 %)	280.840 €	257.240 €	227.740 €	197.060 €
Investition (netto) (inkl. BNK 18 %)	1.365.260 €	2.068.540 €	1.348.740 €	891.420 €
Bautechnik (inkl. MwSt 19 %)	654.357,20	1.411.221,00	605.210,20 €	407.836,80
Maschinentechnik (inkl. MwSt 19 %)	636.102,60	744.226,00	728.779,80 €	418.451,60
Elektrotechnik (inkl. MwSt 19 %)	331.391,20	306.115,60	271.010,60 €	234.501,40
Gesamtinvestition (brutto) in €	1.621.581,00	2.461.562,60	1.605.000,60	1.060.789,80

Eine detaillierte Aufschlüsselung der vorabgeschätzten, erforderlichen Netto - Investitionen befindet sich im Anhang dieser Machbarkeitsstudie.

5.2.2 Betriebskosten

Bei der hier durchgeführten überschlägigen Abschätzung von verfahrensspezifischen, zusätzlichen Betriebskosten wird unterschieden zwischen:

- Kosten für Wartung und Instandhaltung
- Kosten für Betriebs- bzw. Verbrauchsmittel
- Energiekosten
- Kosten für die Schlamm Entsorgung
- Personalkosten

Folgende Kostenansätze wurden dabei berücksichtigt:

Kostenansatz für Wartung und Instandhaltung:

- Für Bautechnik: 1,0 % der Investitionen
- Für technische Ausrüstung/E-Technik: 3,0 % der Investitionen

Kostenansatz Verbrauchsstoffe:

- Spez. Kosten f. Fällmittel (brutto): 190 €/t_{FM}
- Spez. Kosten f. Flockungshilfsmittel (brutto): 1.547 €/t_{FHM}
- Spez. Kosten f. Pulveraktivkohle (brutto): 1.309 €/t_{PAK}
- Spez. Kosten f. granuliert Aktivkohle (brutto): 1.500 €/t_{GAK}
- Spez. Kosten f. Sauerstoffbereitstellung (brutto): 929 €/tO₂

Kostenansatz elektr. Energie:

- spez. Kosten f. elektr. Energie (brutto): 0,18 €/kWh

Die angesetzten Energiekosten leiten sich aus den abgeschätzten Energieverbräuchen für Pumpwerke, Umwälzung, Ozonerzeugung, Filtration und Sonstiges ab.

Kostenansatz für Personal:

- spez. Kosten f. Personal: 45 €/h

Unabhängig von der Variante benötigt der Betrieb einer weitergehenden Reinigungsstufe zur Elimination von Spurenstoffen spezielle Fachkenntnisse und gut ausgebildetes Betriebspersonal. Insgesamt ist von einem gesteigerten Personalaufwand/ -bedarf auszugehen.

Tabelle 5-2 fasst die vorabgeschätzten Brutto-Betriebskosten für die unterschiedlichen Verfahrensvarianten zusammen.

Tabelle 5-2: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – vorabgeschätzte, jährliche Betriebskosten (brutto)

Betriebskosten (brutto)	Variante 1 (Ozonung)	Variante 2_1 (PAK Teil)	Variante 2_2 (PAK Voll)	Variante 3 (GAK)
Wartung/ Instandhaltung	35.568 €/a	45.622 €/a	36.046 €/a	23.667 €/a
Verbrauchsstoffe	4.000 €/a	16.400 €/a	26.500 €/a	65.000 €/a
Energiebedarf	22.200 €/a	13.100 €/a	10.500 €/a	9.400 €/a
Schlamm Entsorgung	-/-	8.400 €/a	12.000 €/a	1.700 €/a
Personalkosten	16.200 €/a	27.000 €/a	21.600 €/a	8.100 €/a
Gesamtbetriebskosten	77.968 €/a	110.522 €/a	106.646 €/a	107.867 €/a

Eine detaillierte Aufschlüsselung der vorabgeschätzten Brutto-Betriebskosten befindet sich im Anhang dieser Machbarkeitsstudie.

5.2.3 Kostenvergleichsrechnung

Um die untersuchten Varianten hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit effektiv vergleichen und bewerten zu können, wurde in dieser Machbarkeitsstudie eine Kostengegenüberstellung mithilfe einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung (DWA, 2012/LAWA) durchgeführt.

Für die Kostenvergleichsrechnung wird der Abschreibungszeitraum gestaffelt in Bautechnik, Maschinenteknik und EMSR-Technik wie folgt angenommen:

- Bautechnik: 30 Jahre
- Maschinenteknik: 15 Jahre
- EMSR-Technik: 10 Jahre

Die Abschreibungszeiträume sind mit denen der Stadt Oelde verglichen und abgestimmt worden. Als langfristiger Realzins wird ein Zinssatz von 3,0 % gewählt. Tabelle 5-3 fasst die Ergebnisse der Kostenvergleichsrechnung für die unterschiedlichen Varianten zusammen.

Tabelle 5-3: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – Jahreskapitalkosten aus Kostenvergleichsrechnung (brutto)

	Zins [%] Zeitraum [a] KFAKR (i;n) [-]	Variante 1 (Ozonung)	Variante 2 (PAK_Teil)	Variante 3 (PAK_Voll)	Variante 3 (GAK)
Bautechnik					
Investitionen [€]		654.357	1.411.221	605.210	407.836
jährl. Kapitalkosten [€/a]	3,0 30 0,05102	33.385,30	72.000,49	30.877,82	20.807,83
Maschinenteknik					
Investitionen [€]		636.102	744.226	728.779	418.451
jährl. Kapitalkosten [€/a]	3,0 15 0,08377	53.286,31	62.343,81	61.049,88	35.053,69
EMSR-Technik					
Investitionen [€]		331.391	306.115	271.010	234.501
jährl. Kapitalkosten [€/a]	3,0 10 0,11723	38.848,99	35.885,93	31.770,57	27.490,60
Jahreskapitalkosten (Gesamt)		125.520,60	170.230,23	123.698,27	83.352,12

Unter Berücksichtigung der angegebenen jährlichen Kapital- und Betriebskosten (siehe Tabelle 5-2 und Tabelle 5-3) ergeben sich für die drei Varianten Brutto-Jahreskosten wie folgt:

Tabelle 5-4: Wirtschaftlicher Variantenvergleich – Jahreskosten aus Kapitalkosten und Betriebskosten (brutto)

Jahreskosten	Variante 1 (Ozon)	Variante 2_1 (PAK_Teil)	Variante 2_2 (PAK_Voll)	Variante 3 (GAK)
Jahreskapitalkosten	125.521 €/a	170.230 €/a	123.698 €/a	83.352 €/a
Betriebskosten	77.968 €/a	110.522 €/a	106.646 €/a	107.867 €/a
Gesamtjahreskosten	203.489 €/a	280.752 €/a	230.344 €/a	191.219 €/a
Jahresabwassermenge	rd. 1.124.100m ³ /a			
spez. Brutto-Kosten	18,1ct/m ³	24,9 ct/m ³	20,9 ct/m ³	17,0 ct/m ³

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass Varianten 1 und 3 wirtschaftlich sehr nah beieinander liegen. Die Variante 3 „Einsatz von granulierter Aktivkohle zur Elimination von Mikroschadstoffen“ schneidet dennoch, in der durchgeführten

Kostenvergleichsrechnung, als die am wirtschaftlich vorteilhaftesten Variante für die Kläranlage Wadersloh ab. Die Variante 2_2 hat den Vorteil, dass im Gegensatz zu den anderen Varianten der vollständige Abwasserstrom behandelt wird.

5.2.4 Sensitivitätsanalyse

Die im Zuge des Variantenvergleichs durchgeführte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass in allen Verfahrensvarianten die laufenden Kosten mit einem Anteil von 39 bis 56 % der abgeschätzten Jahreskapitalkosten einen bedeutenden Kostenfaktor darstellen.

Innerhalb der laufenden Kosten machen die angesetzten Kosten für Betriebsmittel bzw. Verbrauchsstoffe, insbesondere für Aktivkohle und Sauerstoff, sowie die Energiekosten einen wesentlichen Anteil aus.

Mit einer ergänzenden Sensitivitätsanalyse wird im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überprüft, inwieweit Veränderungen an den spezifischen Kostenansätzen zu deutlichen Kostenverschiebungen in der Gesamtbetrachtung führen und welchen Einfluss diese auf das Gesamtergebnis des Variantenvergleichs haben. Aufgrund der deutlich höheren Kosten wird die Variante 2_2 hier nicht weiter verfolgt.

Für die einzelnen Varianten ist der Einfluss steigender Energiekosten und steigender Aktivkohlekosten auf die abgeschätzten Jahres-Kapitalkosten in nachstehender Tabelle 5-5 bzw. Tabelle 5-6 dargestellt.

Tabelle 5-5: Sensitivitätsanalyse – Einfluss veränderter Energiekosten auf die Brutto - Jahreskosten der untersuchten Varianten

Energiekostensteigerung	Brutto-Jahreskosten [EUR] / Kostensteigerung [%]		
	Variante 1 (Ozonung)	Variante 2_2 (PAK_Voll)	Variante 3 (GAK)
0,18 -> 0,18 €/kWh (brutto)	203.489 €/a	230.344 €/a	191.219 €/a
0,18 -> 0,22 €/kWh (brutto)	208.207€/a (+2,3 %)	232.644 €/a (+ 1,0 %)	193.319 €/a (+ 1,1 %)
0,18 -> 0,26 €/kWh (brutto)	213.289 €/a (+ 4,8 %)	234.944 €/a (+ 1,9 %)	195.419 €/a (+ 2,2 %)

Tabelle 5-6: Sensitivitätsanalyse – Einfluss veränderter Aktivkohlekosten auf die Brutto - Jahreskosten der untersuchten Varianten

Kostensteigerung Aktivkohle (GAK u. PAK)	Brutto-Jahreskosten [EUR] / Kostensteigerung [%]		
	Variante 1 (Ozonung)	Variante 2_2 (PAK_Voll)	Variante 3 (GAK)
1.500 -> 1.500 €/t _{GAK} (brutto) 1.309 -> 1.309 €/t _{PAK} (brutto)	203.489 €/a	230.344 €/a	191.219 €/a
1.500 -> 1.600 €/t _{GAK} (brutto)	203.489 €/a	230.344 €/a	195.219 €/a (2,1%)
1.500 -> 1.800 €/t _{GAK} (brutto)	203.489 €/a	230.344 €/a	200.319 €/a (4,7%)
1.309 -> 1.488 €/t _{PAK} (brutto)	203.489 €/a	234.344 €/a (1,7%)	191.219 €/a
1.309 -> 1.785 €/t _{PAK} (brutto)	203.489 €/a	239.344 €/a (3,9 %)	191.219 €/a

Für die laufenden Kosten und somit für die Gesamtwirtschaftlichkeit der in Variante 3 beschriebenen Aktivkohleadsorption in einer GAK-Filtration ist die Filterstandzeit bzw. der jährliche Verbrauch an granulierter Aktivkohle von entscheidender Bedeutung.

Die Abbildung 5-6 zeigt die Abhängigkeit der jährlich aufzuwendenden Kosten für granuliert Aktivkohle vom durchgesetzten Bettvolumen, d.h. vom Verhältnis zwischen behandeltem Wasservolumen und vorhandenem Adsorbervolumen.

In einem ersten Ansatz wird in dieser Studie von einem durchgesetzten Bettvolumen BVT von 10.000 ausgegangen. Dies bedeutet, dass die mit der granulierten Aktivkohle behandelte Wassermenge dem 10.000 fachen Adsorbervolumen entspricht. Dieser Ansatz wurde auf Basis erster Erfahrungen in vergleichbaren Anlagen gemacht. Zur besseren Abschätzung der erzielbaren Filterstandzeit sollten unbedingt Vorversuche mit unterschiedlichen Aktivkohle-typen durchgeführt werden. Die tatsächliche erzielbare Filterstandzeit wird sich allerdings erst im Betrieb herauskristallisieren.

Aktuelle Untersuchungen der EAWAG auf der ARA Bülach-Furt zeigen, dass bei einer mittleren Kontaktzeit größer 25 min eine 80 % Elimination bei 35.000 Bettvolumina erreichbar ist.

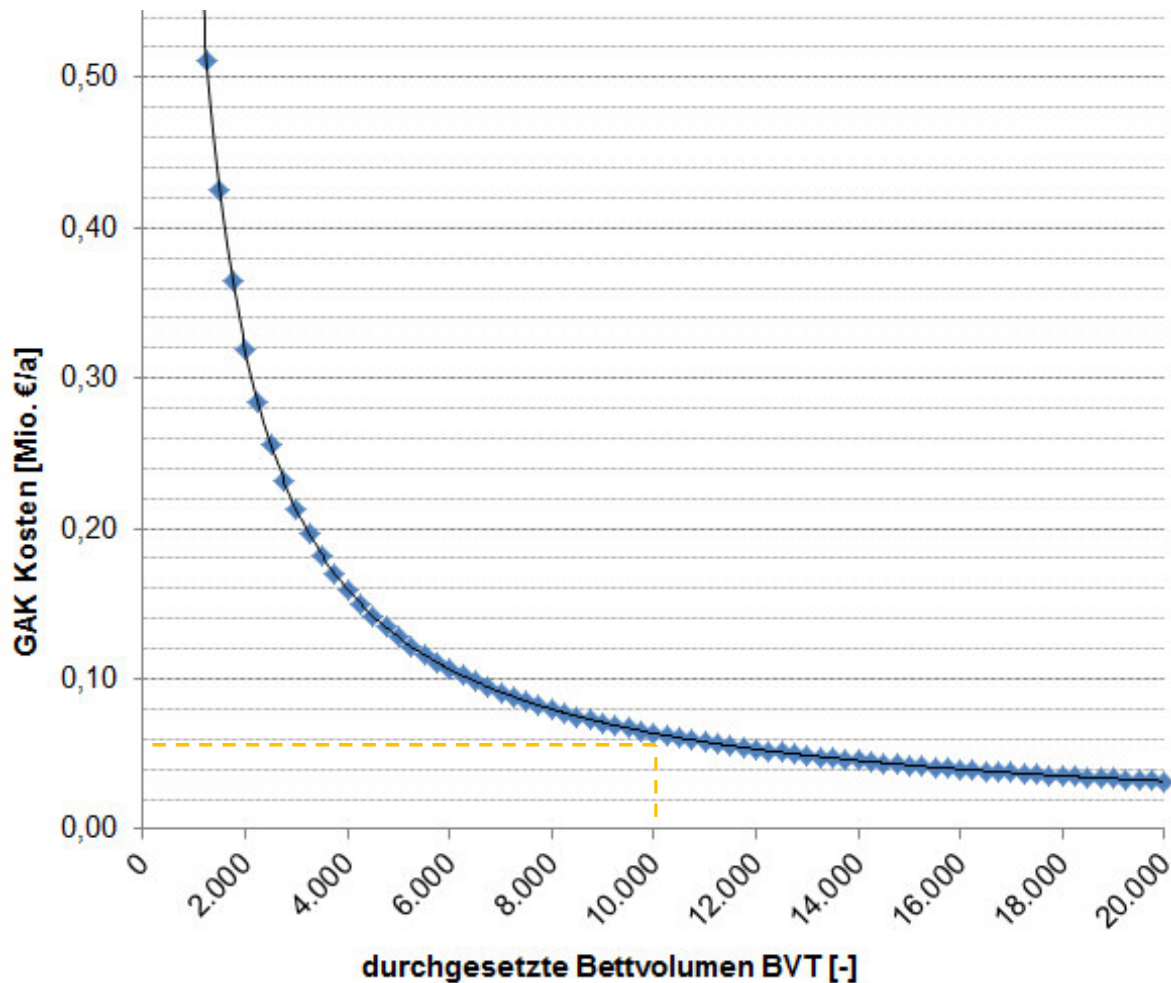


Abbildung 5-6: Sensitivitätsanalyse – Abhängigkeit der jährlichen GAK-Verbrauchskosten von dem durchgesetzten Bettvolumen BVT (als Quotient aus behandeltem Wasservolumen und zur Verfügung stehendem Adsorbervolumen)

5.3 Bewertung Verfahrensauswahl

Neben der reinen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird hier nachfolgend eine Nutzwertanalyse durchgeführt. Ziel hierbei ist es, verfahrenstechnische Aspekte, also nicht-monetäre Bewertungskriterien, mit den monetären Kriterien zusammenzuführen.

Die einzelnen Bewertungskriterien der Nutzwertanalyse werden dabei gewichtet. Variantenspezifisch erfolgt dann eine Bewertung hinsichtlich des Zielerreichungsgrades. Als Ergebnis ergibt sich für die unterschiedlichen Varianten ein Nutzwert, der als Basis für die Entscheidungsfindung dient und anhand dessen die Vorzugsvariante abgeleitet werden kann (vgl. Tabelle 5-7).

Tabelle 5-7: Nutzwertanalyse der unterschiedlichen Verfahrensvarianten

Kriterium	Gewichtung	Variante 1 (Ozonung)		Variante 2_2 (PAK_Voll)		Variante 3 (GAK)	
		Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert	Punkte	Nutzwert
Jahreskapitalkosten	20,0%	0,25	0,05	0,26	0,052	1,00	0,2
Betriebskostenanteil	30,0%	1	0,30	0,32	0,096	0,31	0,093
Reinigungsleistung:	15,0%	0,5	0,075	1	0,15	0,75	0,1125
Steuerbarkeit Reini- gungsprozess / Be- darfsorientierte Dosie- rung	7,5%	0,80	0,06	0,80	0,15	0,60	0,045
Betriebssicherheit/ Prozessstabilität	7,5%	0,80	0,06	0,80	0,06	1	0,075
Wartungs-/ Betriebsaufwand	5,0%	0,70	0,035	0,60	0,03	1	0,05
Auswirkungen Bestandsanlage	5,0%	1	0,05	0,5	0,025	1	0,05
Platzbedarf	10,0%	0,40	0,04	1	0,1	0,60	0,06
Summe Bewertung	100,0%		0,67		0,663		0,685
			[€/m ³]		[€/m ³]		[€/m ³]
spez. Kosten (bez. auf Jahresabwassermenge)*			0,181		0,209		0,170
* ohne Berücksichtigung von Investitionsförderungen							

Sind weitergehende Anforderungen an Phosphor bzw. abfiltrierbare Stoffe zu erwarten, ist zu empfehlen eine Filtration in der Anlagentechnik mit zu berücksichtigen. Die Variante 2_2 enthält eine Vollstromfiltration die Varianten 2_1 und 3 haben eine Teilstromfiltration für bis zu 180 m³/h. Die Kosten für eine Vollstromfiltration betragen ca. 450.000 € netto unter Berücksichtigung einer 1+1 Redundanz.

6 Zusammenfassung

Mikroschadstoffe werden zunehmend in der aquatischen Umwelt nachgewiesen. Hierzu zählen weit über 100 verschiedene Arzneimittelwirkstoffe bzw. Röntgenkontrastmittel. Die bisher nachgewiesenen Belastungen von Oberflächengewässern mit Mikroverunreinigungen liegen noch in Konzentrationsbereichen, die keine akute Gefahr für den Menschen darstellen, teilweise aber oberhalb ökotoxikologischer Wirkschwellen liegen. Eine Beeinflussung von Gewässerorganismen, insbesondere durch Hormone, und eine Akkumulation von Spurenstoffen in der aquatischen Umwelt ist bereits festzustellen. Eine Begrenzung bzw. Reduzierung des Eintrags von Mikroschadstoffen in die Gewässer ist aus Gründen des vorbeugenden Gesundheits- und Umweltschutzes geboten. Dies gilt auch wenn für eine Vielzahl bzw. die überwiegende Mehrheit von Spurenstoffen und Mikroschadstoffen (z.B. für die gesamte Gruppe von Arzneimittelrückständen und Röntgenkontrastmitteln) noch keine gesetzlichen Anforderungen bzw. Grenzwerte hinsichtlich der zu erzielenden Ablaufqualität von Kläranlagen oder für eine tolerierbare Gewässerbelastung fixiert sind.

Die Elimination von Spurenstoffen und Mikroverunreinigungen gewinnt auch vor dem Hintergrund einer Weiterentwicklung der EU-Wasserrahmenrichtlinie zunehmend an Bedeutung. Mittelfristig sind hier zusätzliche Grenzwerte zumindest für einzelne der bisher noch unregulierten Stoffe bzw. Stoffgruppen zu erwarten.

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie wurde in einem ersten Schritt der Anlagendurchfluss statistisch ausgewertet und die Behandlungsmenge mit 180 m³/h festgelegt. Hierdurch kann eine Behandlung von über 85 % der Jahresabwassermenge erreicht werden.

Im Zuge der Machbarkeitsstudie wurde die im Ablauf der Zentralkläranlage Wadersloh vorhandene Belastungssituation auf Basis von Laboruntersuchungen detailliert analysiert. Die Konzentrationen der Parameter liegen im normalen Bereich, den man für kommunale Kläranlagen annehmen kann. Bei der zweiten Messkampagne wurde der Orientierungswert für Diclofenac in der Liese unterhalb der Kläranlageneinleitung überschritten.

Im Rahmen des Variantenvergleiches wurde für die gängigen Technologien (Ozon, PAK, GAK) die Umsetzung am Standort im Teilstrom ausgearbeitet. Zusätzlich wurde in einer Variante die Reinigung im Vollstrom mittels PAK im Ablauf der Belebung erarbeitet.

Eine zusätzlich durchgeführte Sensitivitätsanalyse zeigt variantenspezifisch den Einfluss steigender Energie- sowie Verbrauchskosten für die Aktivkohle auf. Mit der zusätzlich durchgeführten Nutzwertanalyse werden verfahrenstechnische Bewertungsaspekte mit den monetären Kriterien aus der reinen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammengeführt und eine Vorzugsvariante ermittelt.

Als Ergebnis dieser Machbarkeitsstudie zeigt sich für die Zentralkläranlage Wadersloh insgesamt die in Variante 3 untersuchte Adsorption an granulierter Aktivkohle als die vorteilhafteste Variante zur Elimination von Mikroverunreinigungen.

Als Basis für die mögliche Realisierung einer vierten Reinigungsstufe auf dem Zentralklärwerk Wadersloh sollte daher die Verfahrensvariante GAK-Adsorption in einer detaillierteren Planung weiter ausgearbeitet werden.

Aufgestellt: Hannover, 20.07.2017

aqua consult
Ingenieur GmbH

Prof. Dr.-Ing. P. Hartwig

i.A.

Dipl.-Ing. M. Haverkamp

7 Literaturverzeichnis

Deutsches Arzneiprüfinstitut:

http://www.dapi.de/fileadmin/media/files/pdfs/zahldesmonats/Abbildung1_Durchschnittliche_Anzahl_verordneter_Packungen_pro_GKV-Versichertem_je_Altersgruppe_im_Jahr_2011.pdf Abgerufen am 26.01.2017

Arge Spurenstoffe NRW, Teilprojekt 6: Elimination von Arzneimitteln und organischen Spurenstoffen: Entwicklung von Konzeptionen und innovativen, kostengünstigen Reinigungsverfahren, September 2013

Bezirksregierung Münster, Dezernat 54: Technischer Erläuterungsbericht für die Neufestsetzung des Überschwemmungsgebiets der Liese, Januar 2013

Bundesamt für Umwelt (BAFU): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser – Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, 2012

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Steckbriefe der Planungseinheiten in den nordrhein-westfälischen Anteilen von Rhein, Weser, Ems und Maas Bewirtschaftungsplan 2016-2021, Dezember 2015

Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW): Bewirtschaftungsplan 2016-2021 für die nordrhein-westfälischen Anteile von Rhein, Weser, Ems und Maas, Dezember 2015

ELWAS-WEB: Detailinformation Kläranlage Wadersloh, Erstellt Januar 2017

Bundesamt für Umwelt (BAFU): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser - Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen, 2012

Bertelsmann Stiftung (2014); Demographie Bericht Wadersloh

Europäische Union (2013) Richtlinie 2013/39/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinien 2000/60/EG und

2008/105/EG in Bezug auf prioritäre Stoffe im Bereich der Wasserpolitik. Amtsblatt L226, 12.08.2013

- Götz, C., Bergmann, S., Ort, C., Singer, H. u. Kase, R. (2012) Mikroschadstoffe aus kommunalem Abwasser – Stoffflussmodellierung, Situationsanalyse und Reduktionspotenziale für Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV)*
- Obrecht J.; Thomann M., Holinger; Thomann M.; Stoll J.-M.; Frank K., UMTEC Rapperswil; Sobaszkiwicz M., Stadt Wetzikon; Boller M., aQa.engineering; Freisler P., Ensola AG; (2/2015) ALTERNATIVE ZUR NACHGESCHALTETEN PULVERAKTIVKOHLEADSORPTION; Aqua & Gas S. 20-35*
- Vietoris, F. (2013) Vorkommen und Relevanz von Mikroverunreinigungen in Gewässern NRW's. Beitrag zur 46. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, Band 232, ISAH RWTH Aachen, März 2013*
- Jagemann P., Lyko S.; Emschergenossenschaft und Lippeverband; Mess- und Betriebskonzepte beim großtechnischen Einsatz weitergehender Abwasserreinigungsverfahren; DWA-Veranstaltung 2011*
- MKULNV (2012) Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: Expertenkommission Programm „Reine Ruhr“ und MKULNV – vom Programm „Reine Ruhr“ zur Strategie einer nachhaltigen Verbesserung der Gewässer- und Trinkwasserqualität in Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, www.umwelt.nrw.de/umwelt/pdf/programm_reine_ruhr_2012.pdf*
- MKULNV (2012) Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: "Entwicklung und Stand der Abwasserbeseitigung in Nordrhein-Westfalen", 16. Auflage (Stichtag der Daten: 31.12.2012), Düsseldorf, <http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/stand.htm>*
- Nordic Water; Firmeninformationen zur Umrüstung KA Rietberg*
- UBA (2003) Umweltbundesamt: Bewertung der Anwesenheit teil- oder nicht bewertbarer Stoffe im Trinkwasser aus gesundheitlicher Sicht. Emp-*

fehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission beim Umweltbundesamt. Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz 2003, Nr. 46:249-251

UBA (2011) Umweltbundesamt: Maßnahmen zur Minderung des Eintrags von Humanarzneimitteln und ihrer Rückstände in das Rohwasser zur Trinkwassergewinnung – Empfehlungen des Umweltbundesamtes vom 30.08.2011 nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit.

OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung). Bundesgesetzblatt BGBl. T. I S. 1429, Bonn 20.07.2014, www.juris.de

Suter, J.M.F., Holm, P. (2004): Dem Fischrückgang auf der Spur. EAWAG, BUWAL, Kantone, SGCI, SFV, FIWI, Uni Basel. www.fischnetz.ch

Teichgräber, B., zur Mühlen, P., Jagemann, P. u. Nafo I. (2013) Screening ausgewählter Spurenstoffe in Lippe und Seseke. Beitrag zur 46. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft, Aachen, Gewässerschutz – Wasser – Abwasser, Band 232, ISAH RWTH Aachen, März 2013

Westfälischen Wasser- und Umweltanalytik GmbH: Untersuchungsergebnisse Aabachtalsperre