

Machbarkeitsstudie zur Mikroschadstoffelimination auf dem Gruppenklärwerk Kessenich

Kurzbericht

Erftverband

Impressum

Auftraggeber: Erftverband

Auftragnehmer: **Sweco GmbH**

Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Dr.-Ing. Ulf Schulze-Hennings
Angelika Boekels, M.Sc.
Dr. Demet Antakyali

Bearbeitungszeitraum: September 2016 - Januar 2018

		Seite
Inhaltsverzeichnis		
1	Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination	1
2	Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik des GWK Kessenich	3
3	Abwasseranalyse und Auslegungswerte	4
3.1	Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe	4
3.2	Bromidkonzentrationen	5
3.3	Auslegungswassermenge	6
3.4	Eliminationsraten	7
4	Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten	9
4.1	Randbedingungen auf der Kläranlage Kessenich und Variantenauswahl	9
4.2	Variante 1a und 1b: Neubau Ozonung auf Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter	11
4.3	Variante 2: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken	13
4.4	Variante 3: GAK-Filtration in bestehendem DynaSand®-Filter	15
5	Variantenbewertung	17
5.1	Vorgehensweise zur Verfahrensbewertung	17
5.2	Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe	17
5.3	Verfahrensbewertung mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten	19
6	Empfehlung	21
6.1	Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination	21
6.2	Verfahrensempfehlung	22
7	Anhang	23
8	Literaturverzeichnis	28

1 **Veranlassung und Hintergründe der Mikroschadstoffelimination**

Der Begriff „Mikroschadstoffe“ ist in den vergangenen Jahren immer mehr in den Fokus der Wissenschaft sowie der Öffentlichkeit gerückt. Der Begriff beschreibt die Reste der zahlreichen komplexen Chemikalien, die nach dem Gebrauch entweder unverändert oder nach Umbau in Organismen als Konjugate bzw. Metaboliten in die Gewässer gelangen. Beispielsweise sind pharmazeutische Wirkstoffe, Flammschutzmittel, Biozide und weitere Industriechemikalien in dieser Gruppe zu nennen. Mikroschadstoffe liegen in der Regel in sehr niedrigen Konzentrationen vor, dennoch konnte in den letzten Jahren die Ökotoxizität einer Vielzahl von Mikroschadstoffen in der Umwelt nachgewiesen werden bzw. von vielen Stoffen ist zukünftig aufgrund der steigenden Verbrauchsmengen ein hohes Gefährdungspotenzial zu erwarten (Umweltbundesamt 2011).

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels und der industriellen Weiterentwicklung kann die Mikroschadstoffproblematik in Zukunft drastischer werden. Beispielsweise werden Humanpharmaka insbesondere durch die steigende individuelle Lebenserwartung und des damit verknüpften steigenden Arzneimittelkonsums künftig in noch größerer Anzahl und Menge über die kommunale Abwasserentsorgung in die Umwelt eingebracht. Aufgrund der Persistenz, des Bioakkumulationspotenzials und der Toxizität von Mikroschadstoffen besteht zur langfristigen Sicherung einer hohen Wasserqualität grundsätzlich Handlungsbedarf zur Reduktion der Einträge von Mikroschadstoffen in Gewässer.

Die umweltschädlichen Stoffe sollen in der Regel möglichst an der Quelle minimiert und ggf. mit unschädlichen Alternativen ersetzt werden. Das ist jedoch nicht immer und für jeden Stoff möglich. Eine Vielzahl der Mikroschadstoffe wird mit dem Abwasser in kommunale Kläranlagen transportiert. Die persistenten Mikroschadstoffe können während der biologischen Behandlung im Abwasserreinigungsprozess nur in begrenztem Maße eliminiert werden und sind im Ablauf der Anlagen nach Stand der Technik noch nachweisbar. Die kommunalen Anlagen gehören daher zu den wichtigen Eintragspfaden der Mikroschadstoffe in die Oberflächengewässer.

Um den Eintrag von Mikroschadstoffen in die Kanalisation bzw. in die Gewässer zu minimieren, sind gefächerte Maßnahmen unerlässlich. Im Infrastruktursystem der Wasserver- und Abwasserentsorgung kann die Entfernung der Mikroschadstoffe an unterschiedlichen Stellen und mittels verschiedenster Verfahren realisiert werden. Hierbei kann zwischen der dezentralen Mikroschadstoffelimination am Anfallort (z. B. Industriebetriebe, Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen) und zentralen in der kommunalen Kläranlage oder bei der zentralen Trinkwasseraufbereitung unterschieden werden. Eine weitgehende Verbesserung der Ablaufqualität bzw. Elimination der Mikroschadstoffe auf Kläranlagen ist durch weitergehende (additive) Maßnahmen realisierbar. Hierzu haben sich bisher die Techniken der Ozonung und der Aktivkohleadsorption zurzeit als umsetzbare Techniken herauskristallisiert.

NRW setzt bei dem Thema der Mikroschadstoffelimination auf einen ganzheitlichen Ansatz auf unterschiedlichen Ebenen. Ein Ansatz ist es, Stoffe möglichst an der Quelle zu verhindern, z.B. durch die Substitution gefährlicher Stoffe durch ungefährlichere Alternativen. Einen ähnlichen Ansatz verfolgte das Projekt „Den Spurenstoffen auf der Spur“ des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands (DSADS 2016). Dieses hatte u.a. das Ziel, die Bevölkerung hinsichtlich eines bewussten Umgangs mit Arzneimitteln aufzuklären bzw. zu sensibilisieren. Zudem sollen aber auch die Abwasserreinigungsanlagen ausgebaut und die Trinkwasseraufbereitungstechnik modernisiert werden. Das Umweltministerium des Landes Nordrhein-Westfalen (NRW) fördert derzeit dazu durch das Investitionsprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung NRW“ u. a. großtechnische Anlagen zur Mikroschadstoffelimination.

Vor diesem Hintergrund hat der Erftverband ein Monitoring-Programm gestartet, um die Belastung der Erft mit Mikroschadstoffen zu untersuchen. Neben Mikroschadstoffmessungen in der Erft werden für neun Kläranlagen entlang der Erft Machbarkeitsstudien durchgeführt, bei denen eine Erweiterung der Anlagen um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination untersucht wird. Durch das Monitoring und die Machbarkeitsstudien sollen die Mikroschadstoffbelastung der Erft analysiert werden und mögliche Handlungsoptionen für den Erftverband aufgezeigt werden. Ziel dieser Studie ist es, auf Basis eines Screenings des Kläranlagenablaufes auf Mikroschadstoffe, Möglichkeiten zur Einbindung einer Anlage zur Mikroschadstoffelimination auf dem Gruppenklärwerk (GKW) Kessenich aufzuzeigen. Entwickelt werden sollen hierbei effiziente Anlagenkonfigurationen unter Einbeziehung der vorhandenen Anlagentechnik im Hinblick auf die Mikroschadstoffelimination und die Wirtschaftlichkeit für die großtechnische Umsetzung. Die erarbeiteten Ergebnisse sind dabei in ein Gesamtkonzept für den Erftverband zu integrieren.

2 Kurzbeschreibung des Einzugsgebietes und der Verfahrenstechnik des GWK Kessenich

Das durch den Erftverband betriebene GWK Kessenich befindet sich etwa 1 km nördlich des Euskirchener Stadtteils Kessenich. Die Anlage behandelt die gesamten im Stadtgebiet anfallenden Abwässer, die über drei Sammler gefasst werden. Der Anlage sind zwei Regenüberlaufbecken vorgeschaltet und der Anteil an Fremdwasser kann im GWK bis zu 40 % betragen.

Als große Indirekteinleiter sind eine Zuckerfabrik und ein Windeln-produzierender Betrieb an das GWK angeschlossen. Des Weiteren wird Abwasser einer Papierfabrik per Druckleitung eingeleitet. Darüber hinaus werden zeitweise zuckerhaltige Produktionsabwässer per LKW angeliefert und behandelt. Eine Liste der Indirekteinleiter kann dem Anhang entnommen werden.

Die Einleitung des gereinigten Abwassers erfolgt in die Erft. Der ökologische Zustand der Erft ist als schlecht einzuordnen. Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) der Erft beträgt an der Einleitstelle 699 l/s. Bezogen auf das 5-Jahresmittel des Abflusses des GWK Kessenich ($9.163.099 \text{ m}^3/\text{a} / 365 \text{ d/a} / 24 \text{ h/d} * 1.000 \text{ l/m}^3 / 3.600 \text{ s/h} = 291 \text{ l/s}$) beträgt somit der Anteil des Abwassers aus dem GWK Kessenich ca. 42 % im Vorfluter.

Das GWK Kessenich wurde 1999 umgebaut und erweitert. Die Abwasserbehandlung ist seitdem für 132.000 EW ausgelegt und in der Größenklasse 5 nach Abwasserverordnung (AbwV) einzuordnen. Sie ist auf eine Tagesabwassermenge von $Q_d = 33.000 \text{ m}^3/\text{d}$ bzw. Trockenwetterzufluss von $Q_t = 546 \text{ l/s}$ ausgelegt. Der maximale Zufluss bei Regenwetter kann mit $Q_m = 4.089,6 \text{ m}^3/\text{h}$ angegeben werden.

Das Abwasser des Einzugsgebietes wird im GWK Kessenich zunächst in einer Rechenanlage, einem belüfteten Sandfang und einer Vorklärung mechanisch gereinigt.

Nach der mechanischen Reinigung wird das zu behandelnde Abwasser der biologischen Reinigungsstufe zugeführt, welche als Kaskadennitrifikation ausgeführt ist. Die Belebungsbecken sind dabei 2-straßig mit jeweils einer 3-stufigen Kaskade ausgeführt. Die chemische Reinigung erfolgt in Kessenich durch eine Simultanfällung mit Eisensalzen und einer biologischen Phosphorelimination in einem anaeroben Becken. Dem Belebungsbecken nachgeschaltet sind vier runde Nachklärbecken.

In einer Flockenfiltration mit kontinuierlichen DynaSand®-Filtern, die von dem Abwasser nach der Nachklärung durchflossen wird, werden Schlammflocken zurückgehalten und der Phosphorgehalt im Abwasser weiter gesenkt.

3 Abwasseranalyse und Auslegungswerte

3.1 Standardabwasserparameter und Mikroschadstoffe

Um eine fundierte Verfahrensauswahl hinsichtlich der Mikroschadstoffelimination zu treffen, müssen die standortspezifischen Abwassereigenschaften auf der Anlage berücksichtigt werden. Die Abwasserinhaltsstoffe werden dabei in zwei Gruppen betrachtet.

In der ersten Gruppe werden die Konzentrationen der Standardabwasserparameter berücksichtigt. Hier liegen die Daten für die Parameter CSB, Nitritstickstoff, TOC, AFS und die Trübung vor. Anhand des TOC wird der gelöste Kohlenstoff für die spätere Anlagenauslegung abgeschätzt. Dabei wird davon ausgegangen, dass 10 % des TOC partikulär vorliegen. Es ergibt sich somit ein Wert für das 85%-Perzentil von 8,1 mg_{DOC}/L, der für die Auslegung verwendet wird.

Aus den gemessenen Konzentrationen der verschiedenen Parameter, ergeben sich keine Einschränkungen für die spätere Verfahrenswahl für die Stufe zur Mikroschadstoffelimination. Im Fall einer großtechnischen Realisierung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination sollten die angenommenen Werte jedoch durch zusätzliche separate Messungen verifiziert werden.

Die zweite Gruppe beinhaltet eine Auswahl an sogenannten Mikroschadstoffen. Die Auswahl wurde vom Erftverband im Rahmen des Monitorings der Erft getroffen und mit der Bezirksregierung Köln abgestimmt. Die ermittelten Konzentrationen der Mikroschadstoffe im Ablauf der Kläranlage sind den Orientierungswerten oder Vorschlägen für Umweltqualitätsnormen (UQN) zur Beurteilung des chemischen und biologischen Status der Oberflächengewässer nach Wasserrahmenrichtlinie gegenübergestellt worden. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte nach dem Schema in Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Bewertungsmaßstab der Mikroschadstoffkonzentrationen im Oberflächengewässer im Ablauf des GWK Kessenich (ZW: Zielwert)

sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
< ½ Zielwert	½ ZW - ZW	ZW – 2 ZW	2 ZW – 4 ZW	> 4 ZW

Im Rahmen des Monitorings der Erft, wurden mengenproportionale Tagesmischproben im Ablauf des GWK Kessenich gezogen und analysiert. Tabelle 3-2 zeigt die ermittelten Konzentrationen für ausgewählte Mikroschadstoffe. Eine Liste mit allen gemessenen Mikroschadstoffen kann dem Anhang entnommen werden. Die farbliche Gestaltung erfolgte gemäß Tabelle 3-1.

Tabelle 3-2: Konzentrationen ausgewählter Mikroschadstoffe im Ablauf des GWK Kessenich

	Einheit	Zielwert	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	5.700	12.000	2.600	4.800	3.800	3.600	5.000	7.000
Carbamazepin	ng/L	500	660	570	290	370	580	350	480	680
Clarithromycin	ng/L	20	<20	310	<20	<20	270	280	<20	<20
Diclofenac	ng/L	100	2.000	1.600	770	1.200	1.700	1.100	1.500	1.800

	Einheit	Zielwert	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
Metoprolol	ng/L	7.300	1.200	2.000	680	1.100	1.100	780	1.300	2.400
Sulfamethoxazol	ng/L	150	270	<50	<50	<50	240	<50	770	240
Terbutryn	ng/L	65	<50	<60	<50	60	90	80	50	70

Für die gesetzlich noch nicht geregelten Substanzen aus der Gruppe der Arzneimittelwirkstoffe sind im Kläranlagenablauf Überschreitungen der Zielwert-Vorschläge für Oberflächengewässer festgestellt worden. Dabei liegen die Konzentrationen für die Schmerzmittel Diclofenac und Ibuprofen, die Antibiotika Clarithromycin, Erythromycin, Sulfamethoxazol und den Betablocker Bisoprolol in den meisten Proben um mehr als das Vierfache über dem Vorschlag. Der Betablocker Sotalol und das Antibiotikum Trimehoprim liegen bei Konzentrationen im für Oberflächengewässer geltenden mäßigen (Zielwert – 2 Zielwert) Bereich.

Für die analysierten Pestizide konnten nur leichte Überschreitungen der Zielwert-Vorschläge für Terbutryn nachgewiesen werden.

Die deutlichsten Überschreitungen der Zielwert-Vorschläge laut D4-Liste wurden für die Röntgenkontrastmittel ermittelt. Allerdings handelt es sich bei dem Orientierungswert von 100 ng/L um einen präventiven Vorsorgewert. Dieser Vorsorgewert beruht auf einer Konvention und ist fachlich nicht abgeleitet.

Des Weiteren ist eine Überschreitung des Zielwerts für Triclosan erkennbar. Die Konzentrationen liegen in der Regel im unbefriedigenden Bereich (2 Zielwert – 4 Zielwert).

Als Zwischenfazit aus dem Monitoring ist festzuhalten, dass die Konzentration der Indikatorsubstanzen Diclofenac und Clarithromycin im Ablauf des GWK Kessenich die Zielwerte der D4-Liste des MKULNV zur Bewertung der Oberflächengewässer nach dem Monitoringprogramm gemäß EG-WRRL überschreiten und dass der ökologische Zustand der Erft unterhalb der Einleitstelle als „schlecht“ bewertet wird. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich die Zielwerte der D-4 Liste auf das Vorkommen von Stoffen im Gewässer beziehen, die Mikroschadstoffe aber im Kläranlagenablauf gemessen wurden.

3.2 Bromidkonzentrationen

Aus Bromid kann bei der Ozonung des Kläranlagenablaufs das Transformationsprodukt Bromat gebildet werden, welches als potentiell kanzerogen gilt. Aus diesem Grund sind vorab die Bromidkonzentrationen im Ablauf der Kläranlage zu untersuchen. Bei der ersten Messung wurde ein Wert von 150 µg/L gemessen. Diese vergleichsweise hohe Bromidkonzentration konnte in weiteren Messungen jedoch nicht bestätigt werden. Auf Grundlage dieser Messungen ist die Ozonung für die Variantenbeurteilung nicht auszuschließen.

Dennoch sollten vor dem Hintergrund einer möglichen Implementierung einer Ozonung Laboruntersuchungen zur Ozonzehrung und zum Bromatbildungspotenzial durchgeführt werden. Zurzeit wird zur Beurteilung der Trinkwassergrenzwert für Bromat in Höhe von 10 µg/L (TrinkwV, 2011) herangezogen. Das Ökotoxzentrum der Schweiz hat zudem eine UQN-Konzentration in Höhe von 50 µg/L vorgeschlagen (Ökotoxzentrum, 2015). Der PNEC¹-Wert liegt bei 3 mg/L.

¹ PNEC = predicted no effect concentration; die Konzentration, bis zu der sich keine Auswirkungen auf die Umwelt zeigen

3.3 Auslegungswassermenge

Das GWK Kessenich bekommt das Abwasser gesammelt über ein Mischsystem. Das Verhältnis von Kläranlageneinleitung zu MNQ liegt bei über 1/3 und ist somit relativ hoch. Bei einer Umsetzung ist zu prüfen, ob die Auslegungswassermenge nach einem immissionsbasierten Ansatz durch Einzelfallprüfung festgelegt werden muss. Dieses muss zwischen dem Erftverband und der Bezirksregierung geklärt werden. Für die Betrachtung in dieser Machbarkeitsstudie wurde auf Wunsch vom Erftverband ein emissionsbasierten Ansatz zur Festlegung der Auslegungswassermenge herangezogen.

Abbildung 3-1 zeigt die stündlichen Ablaufwassermengen des GWK Kessenich im Zeitraum zwischen Januar 2013 und Juni 2016. Aufgrund von Fehlern bei der Messung wurden in Absprache mit dem Erftverband an Trockenwettertagen alle Werte die größer als 2.000 m³/h sind, nicht als Trockenwetterabfluss definiert. Für den Zeitraum zwischen Mitte November 2014 und Ende März 2015 liegen aufgrund einer Systemumstellung keine Abflussmengenmessungen vor. Daher kann dieser Zeitraum nicht in die Bestimmung der Auslegungswassermenge mit einbezogen werden. Als horizontale rote Linie ist in Abbildung 3-1 das Maximum der nach ATV-DVWK A 198 ermittelten $Q_{T,h,max,mM}$ über die Jahre 2013 bis 2016 eingezeichnet.

Auf Grundlage dieses Wertes wird die Auslegungswassermenge, mit der die nachfolgende Erarbeitung technischer Anlagenkonzepte durchgeführt wird, in Abstimmung mit dem Erftverband auf 1.500 m³/h festgelegt.

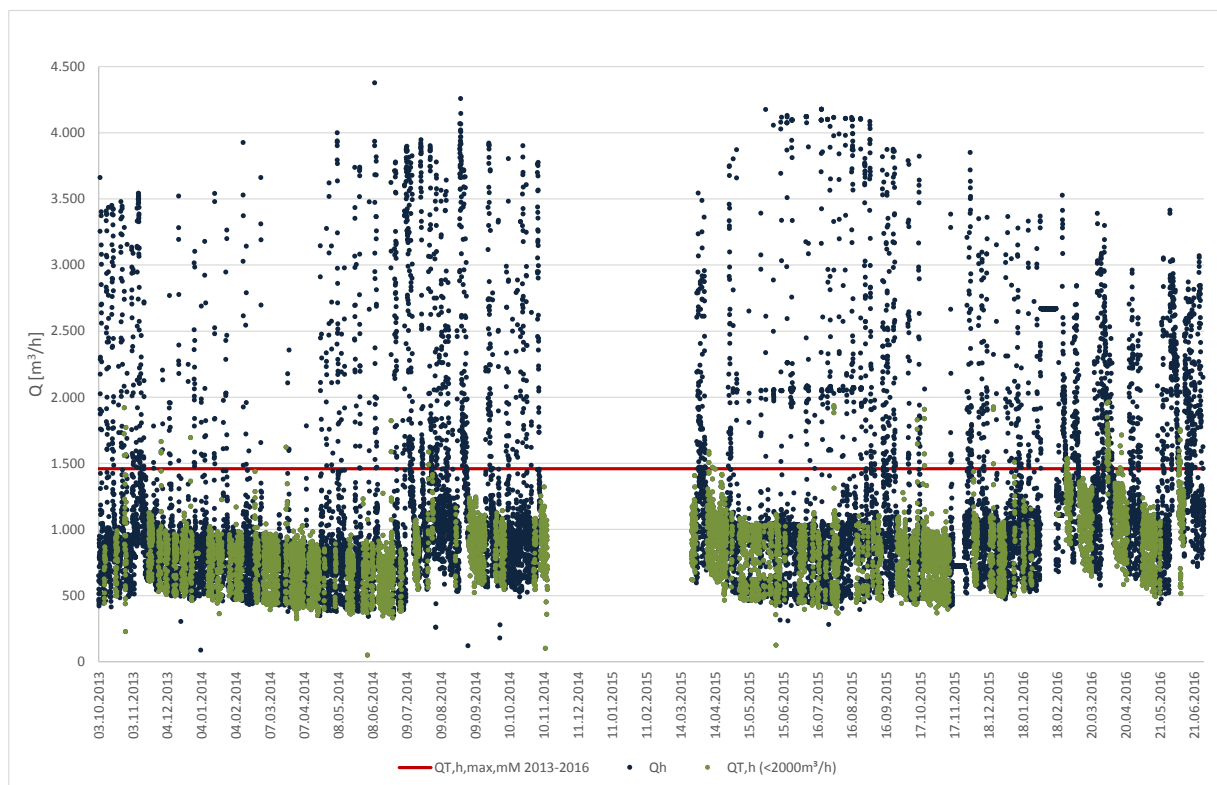


Abbildung 3-1: Wassermengen $Q_{T,h}$ und Q_h des Zeitraums 01/2013-06/2016

Aus Abbildung 3-2 geht hervor, dass mit der Auslegungswassermenge zwischen 84 und 88 % der Jahresabwassermenge behandelt werden können. Damit ist der geforderte Nachweis einer Behandlung von mindestens 70 % der Jahresabwassermenge erbracht (KOM-M.NRW 2016).

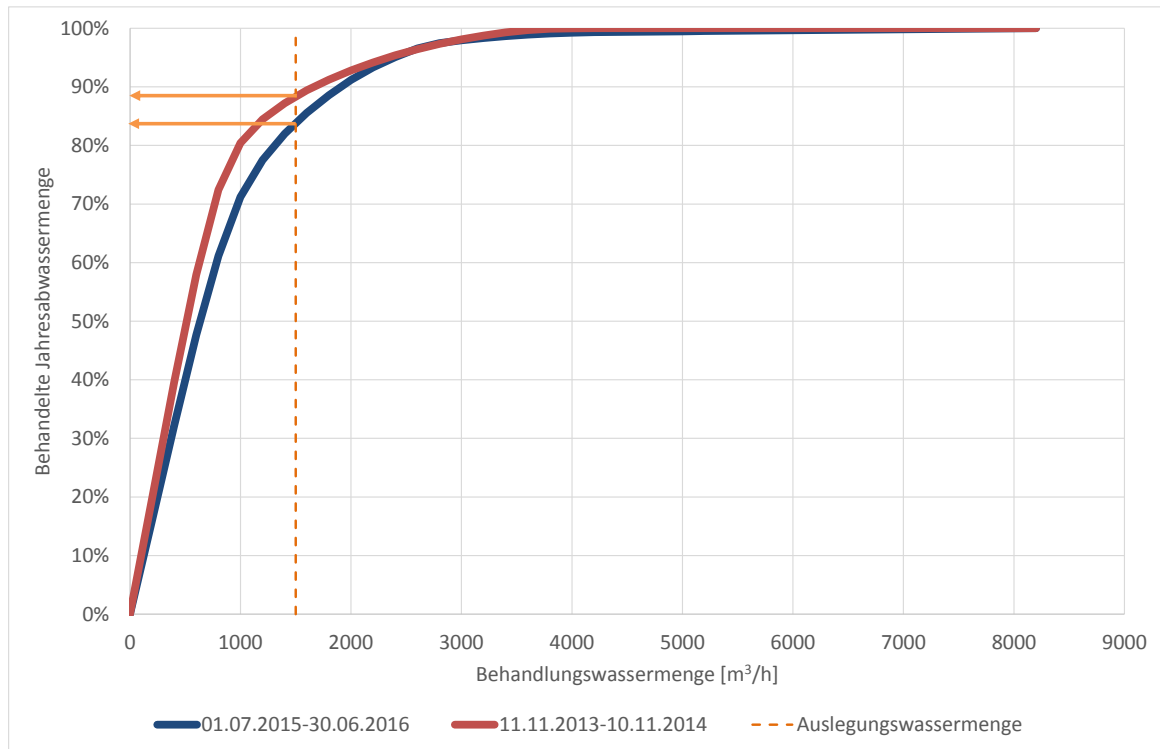


Abbildung 3-2: Auslegungswassermenge und damit behandelbare Jahresabwassermenge

Bei einer Jahresabwassermenge im Jahr 1 (01.07.2015-30.06.2016) in Höhe von 10.936.835 m³/a können in der Stufe zur Mikroschadstoffelimination jährlich 9.171.124 m³/a behandelt werden. In Jahr 2 (11.11.2013-10.11.2014) können von der Jahresabwassermenge in Höhe von 8.831.659 m³/a 7.802.618 m³/a behandelt werden.

Wie oben ausgeführt, ist im Falle einer konkreten Planung ist die Auslegungswassermenge der Anlage zur Mikroschadstoffelimination in Absprache mit den Genehmigungsbehörden festzulegen. Dabei könnte beispielsweise das Verhältnis des Kläranlagenablaufs am MNQ der Erft von über 1/3 dazu führen, dass eine immissionsbasierte Festlegung der Auslegungswassermenge geprüft werden soll.

Bei der Umsetzung von Maßnahmen an der bestehenden Filtration muss gewährleistet werden, dass auch bei Regenwetter ein effektiver Feststoffrückhalt gewährleistet wird. Daher wird bei Varianten, welche die Filtration beinhalten, anstelle der Auslegungswassermenge die Auslegung anhand des Regenwasserzuflusses (4.089,6 m³/h) durchgeführt.

3.4 Eliminationsraten

Die Auslegung der vierten Reinigungsstufe erfolgt derart, dass eine Elimination der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter Metoprolol, Carbamazepin, Diclofenac, Sulfamethoxazol, 1H-Benzotriazol und Terbutryn zu 80 % sichergestellt wird. Die Elimination wird bestimmt durch Messungen im Zulauf zur biologischen Stufe und dem Ablauf der vierten Reinigungsstufe und bezieht sich auf die Summe der standortrelevanten Substanzen und der sensitiven Leitparameter (KOM-M.NRW 2015d).

Tabelle 3-3: Standortrelevante Substanzen und sensitive Leitparameter

Zusätzliche standortrelevante Substanzen	Sensitive Leitparameter (KOM-M.NRW 2015d)
Amidotrizoessäure, Bisoprolol, Clarithromycin, Erythromycin, Flufenacet, Ibuprofen, Iohexol, Iomeprol, Iopamidol, Iopromid, Sotalol, Triclosan, Trimethoprim	Carbamazepin, Diclofenac, Metoprolol, Sulfamethoxacol, Terbutryn, 1H-Benzotriazol

Die zu erwartende Eliminationsrate bzw. die Dosierung von Betriebsstoffen oder die Standzeit des Adsorptionsbettes ist bei den in Kapitel 4 beschriebenen Varianten jeweils abhängig von der Abwasserzusammensetzung. Letztlich ist es erforderlich, die Dosierstoffe und -mengen im Rahmen von Vorversuchen und in Abhängigkeit von den Mikroschadstoffen und dem gewählten Verfahren zu erproben und später in der Inbetriebnahme- und Betriebsoptimierungsphase zu verifizieren.

4 Ausarbeitung von technischen Anlagenkonzepten

4.1 Randbedingungen auf der Kläranlage Kessenich und Variantenauswahl

Mögliche strukturelle Randbedingungen, die bei der Vorauswahl der zu betrachtenden Varianten zu berücksichtigen sind, sind die Nutzbarkeit vorhandener Bausubstanz, die Flächenverfügbarkeit für Neubauten und die Hydraulik der bestehenden Anlage.

Im GWK Kessenich kommt die Flockungsfiltration zur Einbindung in eine vierte Reinigungsstufe in Frage. Zum einen kann die Flockungsfiltration für eine Pulveraktivkohledosierung genutzt werden oder die Flockungsfiltration wird zu einem GAK-Filter oder zur Membranstufe umgebaut. Die Flockungsfiltration ist zudem auch als Nachbehandlung im Rahmen der Ozonung und bei der PAK-Dosierung in ein separates Kontaktbecken nutzbar.

Ergänzend zu der bestehenden Struktur sind zur Vorauswahl der zu betrachtenden Varianten zudem Freiflächen und mögliche weitere unnutzbare Flächen von Interesse, auf denen ein Neubau der Anlage zur Mikroschadstoffelimination möglich ist. Auf dem GWK Kessenich bietet sich zur Errichtung der Stufe zur Mikroschadstoffelimination eine Freifläche nördlich der bestehenden Nachklärung an. Eine Veranschaulichung der möglichen Nutzungsflächen ist Abbildung 4-1 zu entnehmen.



Abbildung 4-1: Potentielle Fläche zum Bau einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination auf dem GWK Kessenich (ELWAS-WEB 2016)

Als drittes Kriterium bei der Auswahl möglicher Varianten ist die Hydraulik der bestehenden Anlage heranzuziehen. Ziel der Betrachtung ist es, Varianten zu erkennen, die ohne oder mit geringem zusätzlichem Pumpaufwand umsetzbar sind.

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen der Nachklärung und der Flockungsfiltration beträgt 126 cm. Diese Differenz ergibt sich aus der Höhe des Ablaufs des Nachklärbeckens (145,08 m ü. NN) und der Wasserspiegellage im Zulauf zu den Filtern (143,82 m ü. NN). Für die Ermittlung der relevanten Wasserspiegeldifferenz z.B. für die Beschickung einer Ozonanlage muss allerdings die Sohlhöhe des Ablaufs der Nachklärung (144 m ü. NN) und die Wasserspiegellage im Zulauf zu den Filtern herangezogen werden. Damit ergibt sich eine nutzbare Wasserhöhe von 0,78 m. Nach Abzug von pauschal 0,18 m für Rohrleitungsverluste bleibt eine nutzbare Wasserhöhe von 0,6 m.

Neben den beschriebenen strukturellen Randbedingungen können auch die Konzentrationen verschiedener Abwasserparameter Aufschluss darüber geben, ob eine bestimmte Verfahrensvariante in Frage kommt oder grundsätzlich auszuschließen ist. Ein relevanter Parameter ist hierbei zum einen die Bromidkonzentration im Abwasser, da im Rahmen der Ozonung aus Bromid kanzerogenes Bromat gebildet werden kann. In Kessenich wurde ein Bromidwert in Höhe von 150 µg/L gemessen. Zur Bestätigung dieses Wertes wurden anschließend noch weitere Messungen durchgeführt, dabei lagen die Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Der hohe Wert von 150 µg/L konnte demnach in den weiteren Messungen nicht bestätigt werden. Für das GWK Kessenich wird daher davon ausgegangen, dass die Bromidkonzentrationen üblicherweise niedriger liegen und es nur vereinzelt zu höheren Konzentrationen kommt.

Zum anderen stellen die Konzentrationen der abfiltrierbaren Stoffe sowie die DOC-Konzentrationen eine wichtige Entscheidungshilfe dar. Zu hohe AFS- und DOC-Konzentrationen verringern die Effektivität der Ozonung wie auch der Aktivkohle hinsichtlich der Mikroschadstoffelimination, da die abfiltrierbaren Stoffe bzw. der gelöste Kohlenstoff bei der Elimination aus dem Abwasser Konkurrenzstoffe für die Mikroschadstoffe darstellen. Da für den gelösten Kohlenstoff keine Daten vorliegen, wird davon ausgegangen, dass 10 % des TOC partikulär vorliegen. Es ergibt sich somit ein DOC-Wert als 85-Perzentil von 8,1 mgDOC/L, der für weitere Berechnungen verwendet wird. Der AFS beträgt im Mittel 2,8 mg/L. Hierbei ist allerdings zu erwähnen, dass der Mittelwert aus nur 5 Werten ermittelt werden konnte. Es wird hier davon ausgegangen, dass auch bei einer höheren Datenmenge eine ähnliche Konzentration resultieren würde.

Die Konzentrationen liegen im für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination unbedenklichen Bereich, so dass sich keine Einschränkungen hinsichtlich der Auswahl der zu betrachtenden Varianten ergeben. Im Fall einer großtechnischen Realisierung einer Stufe zur Mikroschadstoffelimination sollten die angenommenen Werte jedoch durch zusätzliche separate Messungen verifiziert werden.

Auf Basis der oben geschilderten Randbedingungen, können aus der Liste der grundsätzlich umsetzbaren Varianten nun die für Kessenich sinnvollen und vielversprechenden Varianten ausgesucht werden. Für die Kläranlage Kessenich wurden folgende Anlagenkonzepte detailliert ausgearbeitet:

- Variante 1a: Neubau Ozonung auf nördlicher Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter (Teilstrombehandlung)
- Variante 1b: Neubau Ozonung auf nördlicher Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter (Vollstrombehandlung)
- Variante 2: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken (Vollstrombehandlung)
- Variante 3: GAK-Filtration in bestehenden DynaSand®-Filter (Vollstrombehandlung)

4.2 Variante 1a und 1b: Neubau Ozonung auf Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter

Die Ozonung wird in der bestehenden Prozessfolge auf dem GWK Kessenich der Nachklärung nachgeschaltet. Das dort behandelte Abwasser wird anschließend dem DynaSand®-Filter zur Nachbehandlung zugeleitet und fließt von dort in die Erft. Die Konzeption der Ozonanlage erfolgt als Neubau, während für die Nachbehandlung der bestehende DynaSand®-Filter genutzt wird.

Das zu behandelnde Abwasser wird dem Vereinigungsbauwerk, in dem die Abwasserströme aus den Nachklärbecken zusammengeführt werden, entnommen. Die Ozonanlage wird neben der Filteranlage errichtet (Abbildung 4-2). Demnach ist die Verlegung einer Rohrleitung vom Vereinigungsbauwerk zur Ozonanlage notwendig. Im Anschluss an die Behandlung mit Ozon wird das Abwasser dem DynaSand®-Filter zur biologischen Nachbehandlung zugeführt. Die Planung sieht diesbezüglich vor, eine Rohrleitung von der Ozonanlage zur Verteilbauwerk der DynaSand®-Filter zu verlegen.

Die Beschickung der Ozonanlage soll im freien Gefälle erfolgen. Der Wasserspiegel des Ablaufs des Nachklärbeckens liegt bei 145,08 m ü. NN und der Wasserspiegellage im Zulauf zu den Filtern bei 143,82 m ü. NN. Für die Ermittlung der relevanten Wasserspiegellage für die Beschickung einer Ozonanlage wird die Differenz der Sohlhöhe des Ablaufs der Nachklärung (144 m ü. NN) und die Wasserspiegellage im Zulauf zu den Filtern herangezogen. Damit ergibt sich eine nutzbare Wasserhöhe von 0,78 m. Nach Abzug von pauschal 0,18 m für Rohrleitungsverluste bleibt eine nutzbare Wasserhöhe von 0,6 m. Für die vorliegende Ausarbeitung der technischen Anlagenkonzepte wird angenommen, dass unter diesen Umständen eine Umsetzung der Ozonanlage ohne die Errichtung eines neuen Pumpwerks möglich ist. Im Falle einer späteren Realisierung der Variante 1, sollte in der Vorplanung die Fragestellung der Hydraulik detaillierter betrachtet werden.

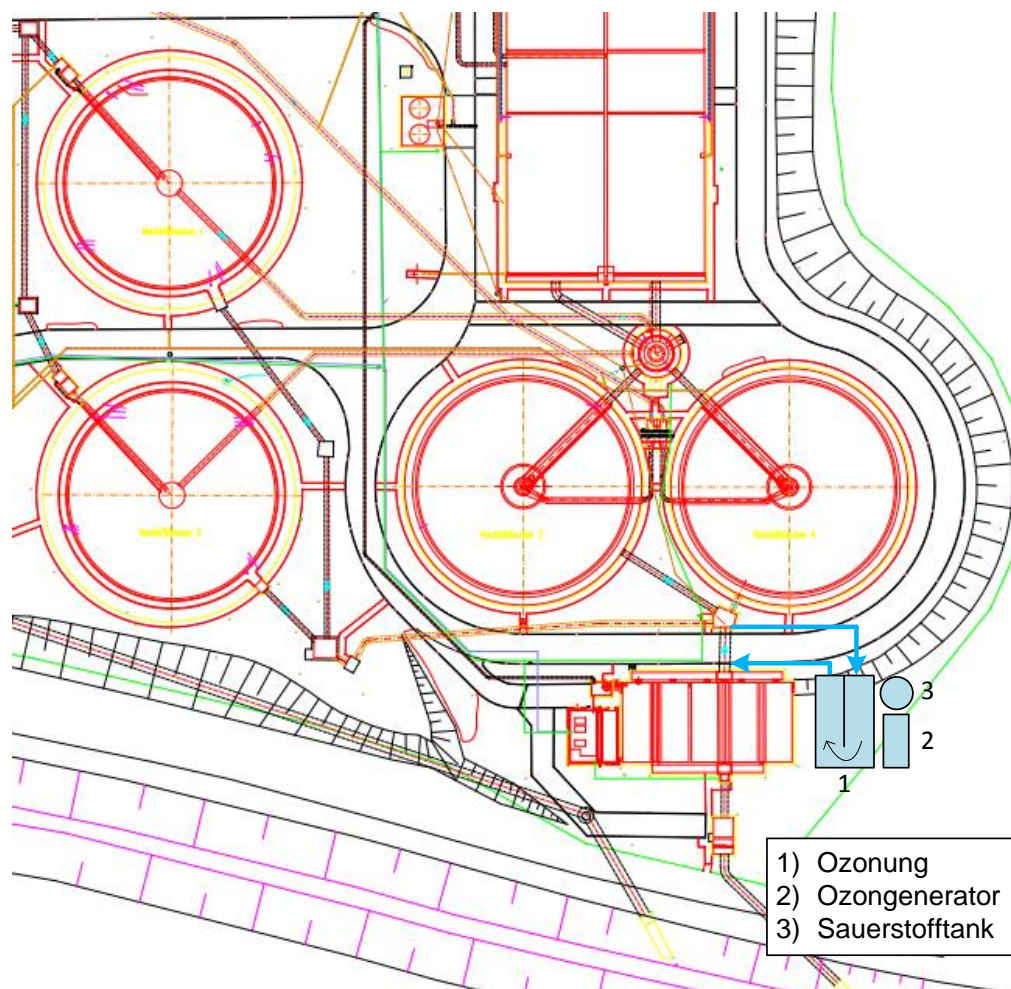


Abbildung 4-2: Anordnungsskizze der Variante 1 auf dem GWK Kessenich

Die zusätzlich zum Kontaktreaktor erforderlichen Elemente einer Ozonanlage, wie Flüssigsauerstofftank, Ozongeneratoren sowie Mess- und Steuerungstechnik werden neben dem Becken aufgestellt. Die Ozongeneratoren können mit der erforderlichen Anlagentechnik in einem fertigen Containermodul geliefert und aufgestellt werden oder in einem massiven Betriebsgebäude untergebracht werden. Für das Aufstellen des Tanks sind entsprechende Fundamente vorzusehen und der Bereich ist zu befestigen.

Die Ozonerzeugung erfolgt aus Reinsauerstoff, der in flüssiger Form mit speziellen Tankwagen zum GWK Kessenich angeliefert wird. Für die Bevorratung des Sauerstoffs erfolgt auf der Kläranlage die Anordnung eines LOX-Sauerstofftanks, der ein Fassungsvermögen von 20.000 kg Sauerstoff besitzen sollte, damit die Lieferung und Vorhaltung sichergestellt ist. Der flüssige Sauerstoff wird über Kaltverdampfer verdampft und der gasförmige Sauerstoff anschließend über eine Gasleitung zum Betriebsgebäude der Ozonerzeuger geleitet. Dieses wird direkt neben der Ozonanlage neu erbaut und mit zwei Ozonerzeugern ausgestattet. Die Ozonerzeuger wandeln 10 % des zugeführten Sauerstoffs in Ozon um. Die Ozonerzeuger sind während des Betriebs zu kühlen. Als Kühlmedium wird dabei der Abwasserstrom im Ozonreaktionsbecken genutzt. Hierzu werden in das neu zu erstellende Becken Abwasserwärmetauscher installiert, die über einen Kühlkreislauf inklusive Kühlwasserpumpe mit den Ozonerzeugern verbunden sind. Direkt neben dem Betriebsraum der Ozonerzeuger erfolgt zusätzlich die Anordnung eines E-Raums für die Schaltanlage und Energieversorgung der Ozonerzeuger.

Die biologische Nachbehandlung im Anschluss an die Ozonung erfolgt mithilfe des bestehenden DynaSand®-Filters. Dies ist aufgrund des sauerstoffgesättigten Wassers im Ablauf der Ozonung möglich, ohne zusätzliche Belüftungsaggregate vorzusehen.

4.3 Variante 2: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken

Die zweite Möglichkeit zur Mikroschadstoffelimination auf dem GWK Kessenich stellt die simultane Dosierung von Pulveraktivkohle in das Belebungsbecken dar. Änderungen der Prozessabfolge auf der Kläranlage sowie Anpassungen der Hydraulik sind bei dieser Variante nicht erforderlich, da zusätzlich zu den bisherigen Abläufen, lediglich Pulveraktivkohle in die Belebungsbecken dosiert werden muss. Eine Nachbehandlung ist nicht erforderlich, da die Pulveraktivkohle in der Nachklärung und anschließend im DynaSand®-Filter zurückgehalten wird, die sich als wirksame Stufen zum Rückhalte der Pulveraktivkohle bei der simultanen Pulveraktivkohledosierung erwiesen haben (Stoll et al. 2015). Die Pulveraktivkohle wird über den Rücklaufschlamm aus der Nachklärung zurück in den Zulauf der biologischen Stufe geführt, um die Verweilzeit der Aktivkohle im Reinigungsprozess zu erhöhen und die Beladung der Aktivkohle zu optimieren. Die biologischen Prozesse und die simultane Phosphatfällung bleiben durch die Aktivkohle im Belebungsbecken unberührt (ARGE TP 6 2014; Stoll et al. 2015).

Die Aktivkohle wird in den Belebtschlamm eingebunden, wodurch sich die Absetzeigenschaften des Schlammes verbessern (Neef 2016; ARGE TP 6 2014; Stoll et al. 2015). Die Zugabestelle von Aktivkohle in das Belebungsbecken sollte möglichst am Ende des Belebungsbeckens erfolgen, da an dieser Stelle der DOC im Abwasser relativ gering ist. Somit konkurrieren weniger sonstige DOC-Bestandteile mit den Mikroschadstoffen um Adsorptionsplätze auf der Aktivkohle (Streicher et al. 2016). Zu prüfen bleibt, ob die durch die Dosierstelle bedingte relativ kurze Aufenthaltszeit der Kohle im Belebungsbecken ausreicht, um eine Integration der Aktivkohle in den Belebtschlamm zu bewirken. Erfolgt keine vollständige Integration in den Schlamm, kann Aktivkohle über die Nachklärung in den Zulauf zur Filtration gelangen. Um diesen Vorgang zu vermeiden kann, analog zur Pulveraktivkohleanwendung in einer separaten Behandlungsstufe, der Einsatz von Fäll- und Flockungshilfsmitteln nötig sein (Stoll et al. 2015). Allerdings liegen auch Ergebnisse vor, nach denen keine zusätzliche Dosierung von Fäll- und Flockungshilfsmitteln zur Abscheidung der PAK in der Nachklärung nötig sind (ARGE TP 6 2014). Eine abrasive Wirkung auf die mechanische Ausrüstung von Kläranlage ist derweil nicht zu erwarten (Stoll et al. 2015).

Durch die höhere TS-Konzentration erhöht sich der Brennwert, so dass die Energiemenge bei einer thermischen Verwertung des Schlammes gesteigert wird (Stoll et al. 2015). Da Klärschlamm der Pulveraktivkohle enthält nur thermisch und nicht landwirtschaftlich verwertet werden kann, ist der Einsatz von Pulveraktivkohle vorteilhaft für das GWK Kessenich, da deren entwässerter Klärschlamm thermisch verwertet wird.

Baulich sind als Neuerung lediglich die Lagerung der Pulveraktivkohle und eine Dosiereinrichtung für den Eintrag der Pulveraktivkohle in das Belebungsbecken vorzusehen (Abbildung 4-3). Die Pulveraktivkohle muss dabei zunächst befeuchtet und mit einem Teilwasserstrom vermischt werden, bevor dieser Teilwasserstrom mit dem Hauptstrom vermengt wird. Für das Aufstellen des Silos sind entsprechende Fundamente vorzusehen.

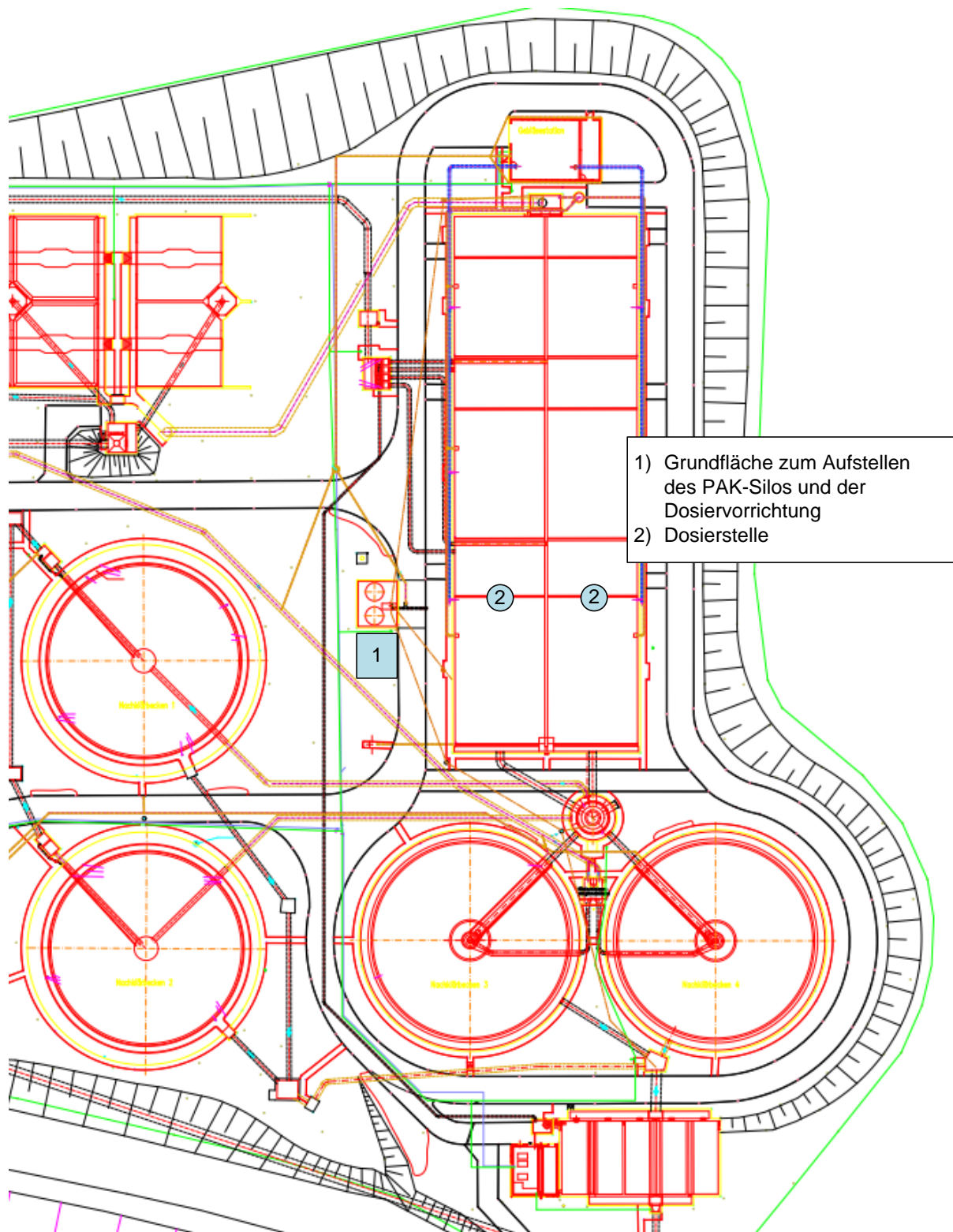


Abbildung 4-3: Anordnungsskizze der Variante 2 auf dem GWK Kessenich

4.4 Variante 3: GAK-Filtration in bestehendem DynaSand®-Filter

Variante 3 umfasst den Umbau des bestehenden DynaSand®-Filters zu einem GAK-Filter, indem das Filtermaterial des bestehenden Filters gegen granuliert Aktivkohle ausgetauscht wird. Änderungen der Prozessabfolge auf der Kläranlage sowie Anpassungen der Hydraulik sind bei dieser Variante nicht erforderlich. Erweiterungsflächen zum Bau zusätzlicher Aktivkohlefilter stehen unmittelbar neben den bestehenden Filtern zur Verfügung (Abbildung 4-4). Somit kann eine relativ einfache Einbindung weiterer Filter in die Prozessfolge erfolgen.

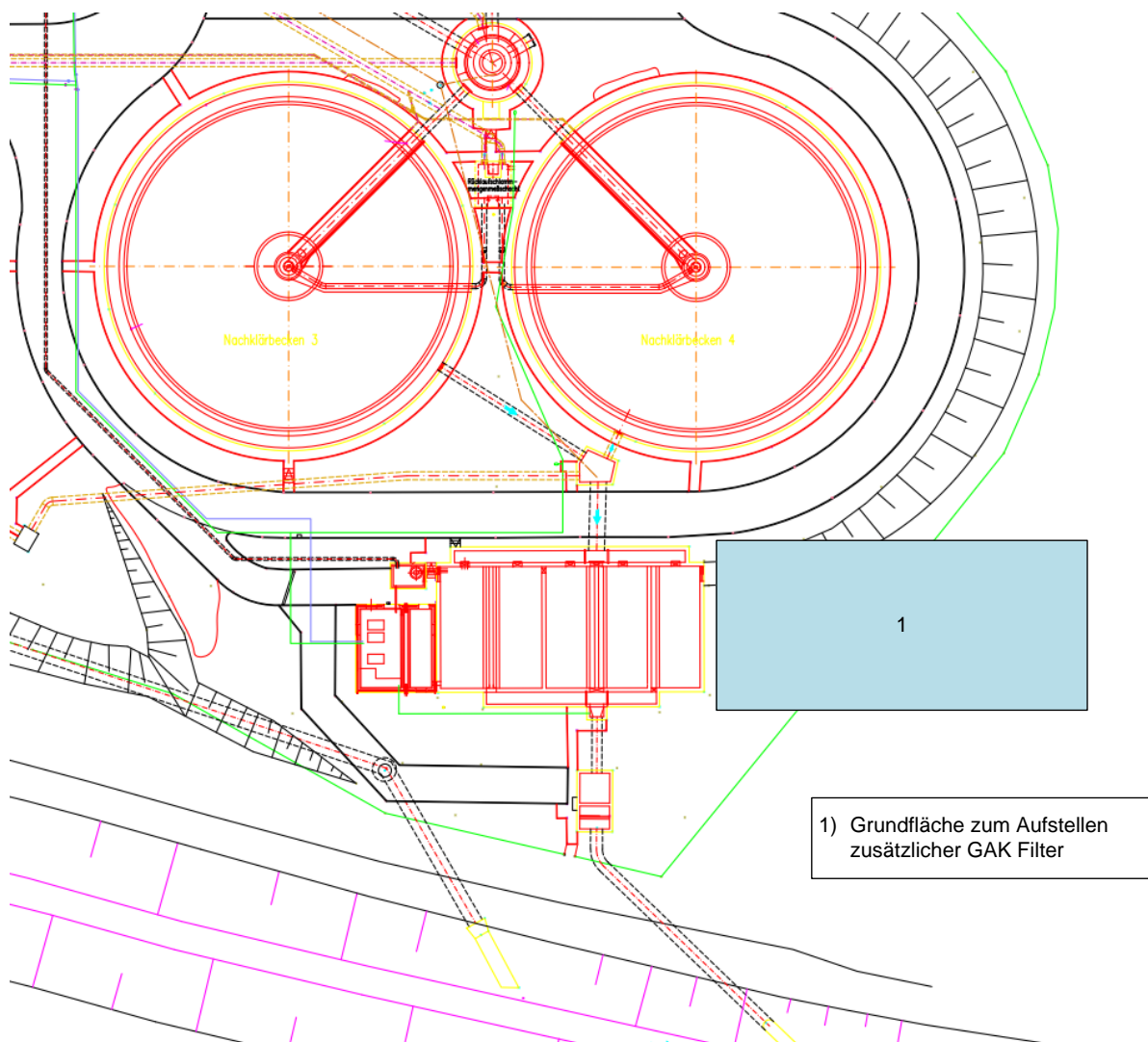


Abbildung 4-4: Anordnungsskizze der Variante 3 auf dem GWK Kessenich

Die Beschickung der Filterstufe erfolgt wie bisher aus der Nachklärung unter Nutzung der bestehenden Leitungen. Der Ablauf der Filterstufe wird wie bisher im freien Gefälle in die Erft eingeleitet, da bei der GAK-Filtration eine zusätzliche Nachbehandlung des behandelten Abwassers nicht erforderlich ist.

Die vorhandene Filteranlage besteht zurzeit aus fünf Becken mit je 10 Filterzellen, die aufwärts durchströmt werden. Die Oberfläche der Becken beträgt je 50 m², demnach stehen insgesamt 250 m² Filterfläche zur Verfügung. Für die Errichtung einer GAK-Filtration auf dem GWK Kessenich ist der bestehen-

de DynaSand®-Filter umzubauen und ggf. sind neue Filterzellen zu bauen. Die Verfahrenstechnik muss hinsichtlich des anderen Filtermaterials angepasst werden. Die Mammutpumpen, die Waschwassertöpfe und die Druckluftmesser müssen bei einem Umbau ersetzt werden. Vorteilhaft für den Wechsel von Sand auf GAK ist die bereits betriebene simultane Phosphatfällung im GWK Kessenich, daher ist hinsichtlich der Phosphatfällung kein Umbau bzw. Umrüstung notwendig.

Beim Austausch des Filtermaterials wird der Sand entfernt und gegen GAK ausgetauscht. Die körnige Kohle besitzt dabei Korngrößen zwischen 0,4 und 3,0 mm. Eine Filterbetthöhe des neuen GAK-Filters in Höhe von 1,5 m kann realisiert werden. Hinsichtlich des Materials und damit Härte der ausgewählten Kohle besteht bezüglich der mechanischen Beanspruchung der Kohle durch das kontinuierliche Spülen keine Einschränkung.

Die vorhandene Anlage muss um 6 Filterbecken mit jeweils 10 Zellen erweitert werden. Prinzipiell ist zu beachten, dass die GAK-Filtration in Absprache mit dem Erftverband auf Vollstrom ausgelegt wurde. Bei einer Teilstrombehandlung würden weniger Kammern auf GAK umgerüstet werden. Die verbleibenden Kammern mit Sand könnten dann zur Mischwasserbehandlung hinzugezogen werden, wodurch sich der Erweiterungsbedarf mit zusätzlichen Filterkammern verringern würde.

Aufgrund der noch geringen großtechnischen Erfahrung mit dieser Variante, sind zur Verifizierung der Auslegung vor einer Umsetzung dieser Variante großtechnische Versuche zu empfehlen. Hierfür kann zunächst ein einzelnes bestehendes Filterbecken umgebaut werden, um diese Variante auszulegen.

Tabelle 4-1: Zusammenfassende Darstellung der Kostenbetrachtung aller Varianten unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

Varianten	V 1a	V 1b	V 2	V 4
Kostenpositionen <small>(Alle Angaben sind netto-Angaben)</small>	Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Teilstrombehandlung)	Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Vollstrombehandlung)	PAK-Dosierung – Nachklärung - Filtration (Vollstrombehandlung)	Ablauf Nachklärung – GAK-Filtration (Vollstrombehandlung)
Jahreskosten vor Minderung der AbWA	490.281 €/a	670.193 €/a	515.461 €/a	1.168.145 €/a
Einsparung der Abwasserabgabe				
Δ CSB [mg/l]	0,00 mg/l	0,00 mg/l	5,00 mg/l	5,00 mg/l
1 SE = 50 kg [SE/a]	0 SE/a	0 SE/a	1.094 SE/a	1.094 SE/a
Einsparung [€/a]	0,00 €/a	0,00 €/a	19.571,47 €/a	19.571,47 €/a
Δ N _{ges} [mg/l]	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,00 mg/l
1 SE = 25 kg [SE/a]	0 SE/a	0 SE/a	0 SE/a	0 SE/a
Einsparung [€/a]	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
Δ P _{ges} [mg/l]	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,00 mg/l	0,00 mg/l
1 SE = 3 kg [SE/a]	0 SE/a	0 SE/a	0 SE/a	0 SE/a
Einsparung [€/a]	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a	0,00 €/a
Einsparung gesamt [€/a]	0,00 €/a	0,00 €/a	-19.571,47 €/a	-19.571,47 €/a
Jahreskosten nach Minderung der AbWA	490.281 €/a	670.193 €/a	495.890 €/a	1.148.574 €/a
spez. Jahreskosten nach Minderung der AbWA	0,05 €/m³	0,06 €/m³	0,05 €/m³	0,11 €/m³
Bezugswassermenge	9.171.124 m ³ /a	10.936.835 m ³ /a	10.936.835 m ³ /a	10.936.835 m ³ /a

5 Variantenbewertung

5.1 Vorgehensweise zur Verfahrensbewertung

Die Verfahrensempfehlung wird aufgrund der Bewertung verschiedener monetärer, betrieblicher und baulicher Aspekte ausgesprochen. Im Rahmen der Bewertung der monetären Aspekte werden zunächst die Ergebnisse der Kostenbetrachtung in Form der Investitionskosten bzw. dem daraus resultierenden investiven Anteil der Jahreskosten sowie der Betriebskosten herangezogen. Bei der Ermittlung der Investitionskosten wird die Förderung des Landes NRW nicht mit einbezogen und Kostenreduzierungen der Abwasserabgabe z.B. durch eine weitergehende Reduzierung der CSB- und Phosphorkonzentration im Kläranlagenablauf werden zunächst nicht berücksichtigt.

Bei der Bewertung der betrieblichen und baulichen Aspekte werden die folgenden Faktoren in Abstimmung mit dem Erftverband in die Bewertung einbezogen:

- die Beeinflussung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, P_{ges} , Transformationsprodukte)
- die Schlammeigenschaften wie Heizwert und Entwässerbarkeit
- die Betriebsstabilität
- der Flächenbedarf der Varianten sowie
- der Stand der Technik – Wissenschaft (Umsetzung vergleichbarer Referenzlage bzw. Erfahrungen in unterschiedlichen Pilotprojekten oder Forschungsanlagen mit den vorgestellten Techniken)

Für jeden Bewertungsaspekt werden anschließend Wichtungsfaktoren festgelegt, die den einzelnen Bewertungsaspekten unterschiedliche Bedeutung zumessen. Den monetären Bewertungsfaktoren wird dabei ebenso viel Bedeutung zugemessen wie den baulichen und betrieblichen Aspekten, weshalb die Wichtungsfaktoren beider Bereiche in Summe jeweils 50 % ergeben. Die eigentliche Bewertung der verschiedenen Aspekte erfolgt über die Vergabe von Punkten in Anlehnung an Schulnoten. Die Note 1 entspricht dabei 15 Punkten, die Note 2 entspricht 10 Punkten und die Note 3 entspricht 5 Punkten. Auch Halbnotenschritte in Höhe von 2,5 Punkten sind möglich. Die jeweils zugeteilten Punkte werden anschließend entsprechend der Wichtungsfaktoren der einzelnen Bewertungsaspekte multipliziert und aufaddiert und ergeben in Summe die Gesamtpunktzahl einer Variante.

5.2 Verfahrensbewertung mit und ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

In Tabelle 5-1 sind zunächst die Ergebnisse der Bewertung für die in Kessenich betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Kostenreduktion durch die Minderung der Abwasserabgabe dargestellt. Es gilt, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht und umgekehrt.

Tabelle 5-1: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

Variante	Wichtung [%]	Variante 1a		Variante 1b		Variante 2		Variante 3	
		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Teilstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Vollstrombehandlung)		PAK-Dosierung - Nachklärung - Filtration (Vollstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung - GAK-Filtration (Vollstrombehandlung)	
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten (netto)		3.049.000 €		5.096.000 €		725.500 €		4.783.000 €	
Investiver Anteil der Jahreskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m ³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,02 €/m ³ a	3,8	0,03 €/m ³ a	3,0	0,01 €/m ³ a	15,0	0,03 €/m ³ a	2,7
Betriebskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m ³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,03 €/m ³ a	15,0	0,03 €/m ³ a	14,4	0,04 €/m ³ a	10,8	0,07 €/m ³ a	6,1
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		5,8		5,5		6,0		2,5
Beeinflussung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, Pges, Transformationsprodukte)	10%	Bildung von Transformationsprodukten	5,0	Bildung von Transformationsprodukten	5,0	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0
Schlammigenschaften (Heizwert, Entwässerbarkeit)	5%	kein Einfluss	5,0	kein Einfluss	5,0	Verbesserung Heizwert und Entwässerbarkeit	15,0	kein Einfluss	5,0
Betriebsstabilität	15%	hoch	15,0	hoch	15,0	keine separate Stufe, sondern implementiert in biol. Stufe	10,0	hoch	15,0
Flächenbedarf	5%	hoch	5,0	hoch	5,0	gering	15,0	hoch	5,0
Stand der Technik - Wissenschaft	15%	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	bereits Anlagen in Betrieb	15,0	geringe großtechnische Erfahrung	5,0	geringe großtechnische Erfahrung	5,0
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,5		5,5		4,8		4,5
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		11,3 Punkte		11,0 Punkte		10,8 Punkte		7,0 Punkte

Tabelle 5-2 zeigt ergänzend die Ergebnisse der Bewertung nach Berücksichtigung der Kostenreduktion durch die Minderung der Abwasserabgabe. Es gilt auch hier, dass die größte Punktzahl der besten Bewertung entspricht und umgekehrt. Berücksichtigt wurden dabei eine Reduzierung der CSB-Konzentration im Ablauf der Stufe zur Mikroschadstoffelimination im Vergleich zum Ablauf ohne zwischengeschaltete Stufe zur Mikroschadstoffelimination bei Variante 2 sowie Variante 3 um jeweils 5 mg/L. Für die Berechnung der Einsparung wurde dabei gemäß Abwasserabgabengesetz (AbwAG) mit 1 Schadeinheit entspricht 50 kg_{CSB} gerechnet. Es wurde angenommen, dass die Kläranlage die einzuhaltenen Überwachungswerte einhält und es wurde demnach ebenfalls gemäß AbwAG mit der Hälfte der je Schadeinheit zu entrichtenden Abgabesatzes, das heißt mit 35,79 €/2 gerechnet.

Sowohl bei der Betrachtung ohne als auch bei der Betrachtung mit Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe erhält die Variante 1 „Ozonung mit Nachbehandlung im Filter“ die höchste Bewertung. Dabei liegt die Variante 1a mit Teilstrombehandlung aufgrund der geringeren zu behandelnden Abwassermenge mit 11,3 Punkten leicht höher als die Variante 1b, bei der eine Vollstrombehandlung durchgeführt wird.

Die hohe Punktzahl der Variante 1a bzw. 1b beruht sowohl auf der hohen Punktzahl im Bereich der monetären Bewertung als auch auf den Punkten der technischen Bewertungsaspekte. Im Bereich der monetären Bewertung ist zwar die Variante 2 leicht besser bewertet, jedoch ist die Bewertung bei den technischen Kriterien für die Varianten 1a bzw. 1b deutlich besser. Dies liegt unter anderem begründet in der guten Bewertung im Bereich Stand der Technik. Zu erwähnen ist außerdem die gute Bewertung der Varianten mit Ozon und GAK im Bereich der Betriebsstabilität. Hier wurde die Implementierung dieser Variante in die bestehende biologische Stufe als eher schlecht für deren Betriebsstabilität bewertet. Die Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe hat nur einen geringen Einfluss auf die Bewertung und ändert die Rangfolge der Varianten nicht.

Tabelle 5-2: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe

Variante	Wichtung [%]	Variante 1a		Variante 1b		Variante 2		Variante 3	
		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Teilstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Vollstrombehandlung)		PAK-Dosierung - Nachklärung - Filtration (Vollstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung - GAK-Filtration (Vollstrombehandlung)	
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten (netto)		3.049.000 €		5.096.000 €		725.500 €		4.783.000 €	
Investiver Anteil der Jahreskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,02 €/m³a	3,8 0,6	0,03 €/m³a	3,0 0,4	0,01 €/m³a	15,0 2,3	0,03 €/m³a	2,7 0,4
Betriebskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,03 €/m³a	15,0 5,3	0,03 €/m³a	14,4 5,0	0,04 €/m³a	11,3 4,0	0,07 €/m³a	6,3 2,2
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		5,8		5,5		6,2		2,6
Beeinflussung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, Pges, Transformationsprodukte)	10%	Bildung von Transformationsprodukten	5,0 0,5	Bildung von Transformationsprodukten	5,0 0,5	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0 1,0	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0 1,0
Schlammigenschaften (Heizwert, Entwässerbarkeit)	5%	kein Einfluss	5,0 0,3	kein Einfluss	5,0 0,3	Verbesserung Heizwert und Entwässerbarkeit	15,0 0,8	kein Einfluss	5,0 0,3
Betriebsstabilität	15%	hoch	15,0 2,3	hoch	15,0 2,3	keine separate Stufe, sondern implementiert in	10,0 1,5	hoch	15,0 2,3
Flächenbedarf	5%	hoch	5,0 0,3	hoch	5,0 0,3	gering	15,0 0,8	hoch	5,0 0,3
Stand der Technik - Wissenschaft	15%	bereits Anlagen in Betrieb	15,0 2,3	bereits Anlagen in Betrieb	15,0 2,3	geringe großtechnische Erfahrung	5,0 0,8	geringe großtechnische Erfahrung	5,0 0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,5		5,5		4,8		4,5
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		11,3 Punkte		11,0 Punkte		11,0 Punkte		7,1 Punkte

Insgesamt ergibt sich die Rangfolge der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung wie folgt:

Tabelle 5-3: Ranking der Varianten

Ranking	Variante
1. Empfehlung	Variante 1a: Neubau Ozonung auf Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter (Teilstrombehandlung)
2.	Variante 1b: Neubau Ozonung auf Freifläche und biologische Nachbehandlung im bestehenden DynaSand®-Filter (Vollstrombehandlung)
3.	Variante 2: PAK-Dosierung in das Belebungsbecken
4.	Variante 3: GAK-Filtration in bestehendem DynaSand®-Filter

5.3 Verfahrensbewertung mit Berücksichtigung einer Förderung der Investitionskosten

Für die Varianten mit höheren Investitionskosten hat eine mögliche Förderung dieser Investitionskosten einen Einfluss auf die monetäre Bewertung dieser Varianten. Daher wird im Folgenden eine Förderung bei der Bewertung berücksichtigt. Im Rahmen der neuen Förderrichtlinie „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung II NRW“ ist eine Förderung bis einschließlich Antragsjahr 2019 von bis zu 70 % und danach bis zu 50 % auf die Investitionskosten beim Ausbau einer Kläranlage um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination möglich. Es wird demnach davon ausgegangen, dass eine Förderung von 70 % erfolgt. Die resultierenden jährlichen Kosten und die Bewertung sind aus Tabelle 5-4 zu entnehmen.

Tabelle 5-4: Bewertungstabelle der betrachteten Varianten unter Berücksichtigung einer 70%-igen Förderung auf die Investitionskosten der Ausbaumaßnahme

Variante	Wichtung [%]	Variante 1a		Variante 1b		Variante 2		Variante 3	
		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Teilstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung – Ozonung – Filtration (Vollstrombehandlung)		PAK-Dosierung - Nachklärung - Filtration (Vollstrombehandlung)		Ablauf Nachklärung - GAK-Filtration (Vollstrombehandlung)	
		Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung	Punkte	Wertung
Investitionskosten (netto)		914.700 €		1.528.800 €		217.650 €		1.434.900 €	
Investiver Anteil der Jahreskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m ³ behandeltes Wasser (netto)	15%	0,007 €/m ³ a	3,8 0,6	0,009 €/m ³ a	3,0 0,4	0,002 €/m ³ a	15,0 2,3	0,010 €/m ³ a	2,7 0,4
Betriebskosten, ausgedrückt als spezifische Kosten je m ³ behandeltes Wasser (netto)	35%	0,03 €/m ³ a	15,0 5,3	0,03 €/m ³ a	14,4 5,0	0,04 €/m ³ a	10,8 3,8	0,07 €/m ³ a	6,1 2,1
Wertungspunkte Monetär (gerundet)	50%		5,8		5,5		6,0		2,5
Beeinflussung der Reinigungsleistung (CSB, AFS, Pges, Transformationsprodukte)	10%	Bildung von Transformationsprodukten	5,0 0,5	Bildung von Transformationsprodukten	5,0 0,5	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0 1,0	Zusätzliche Entnahme von CSB	10,0 1,0
Schlammigenschaften (Heizwert, Entwässerbarkeit)	5%	kein Einfluss	5,0 0,3	kein Einfluss	5,0 0,3	Verbesserung Heizwert und Entwässerbarkeit	15,0 0,8	kein Einfluss	5,0 0,3
Betriebsstabilität	15%	hoch	15,0 2,3	hoch	15,0 2,3	keine separate Stufe, sondern implementiert in biol. Stufe	10,0 1,5	hoch	15,0 2,3
Flächenbedarf	5%	hoch	5,0 0,3	hoch	5,0 0,3	gering	15,0 0,8	hoch	5,0 0,3
Stand der Technik - Wissenschaft	15%	bereits Anlagen in Betrieb	15,0 2,3	bereits Anlagen in Betrieb	15,0 2,3	geringe großtechnische Erfahrung	5,0 0,8	geringe großtechnische Erfahrung	5,0 0,8
Wertungspunkte Technik (gerundet)	50%		5,5		5,5		4,8		4,5
Gesamtpunkte (gerundet)	100%		11,3 Punkte		11,0 Punkte		10,8 Punkte		7,0 Punkte

Es zeigt sich dabei keine Veränderung der Gesamtpunkte durch die Berücksichtigung der Förderung der Investitionskosten im Vergleich zur Bewertung ohne Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe. Begründet ist dies dadurch, dass auch bei der Bewertung ohne die Berücksichtigung der Minderung der Abwasserabgabe bereits die Varianten mit vergleichsweise hohen Investitionskosten die höchste Punktzahl erreichen. Dadurch hat eine Minderung dieser Investitionskosten in Form einer Förderung keinen so großen Einfluss, als das sich dadurch die Reihenfolge der Bewertung der Varianten ändern würde.

6 Empfehlung

6.1 Erfordernis zur Mikroschadstoffelimination

Kläranlagenabläufe haben je nach Größe des aufnehmenden Gewässers einen signifikanten Einfluss auf das Oberflächengewässer. Anhaltspunkte für das Erfordernis zum Ausbau des GWK Kessenich ist zudem der Zustand der Erft, die das aufnehmende Gewässer der Kläranlage ist und zurzeit einen schlechten ökologischen Zustand aufweist. Im Rahmen des Screenings wurden für mehrere Parameterüberschreitungen der UQN-Vorschläge im Ablauf des GWK Kessenich festgestellt.

Ein eindeutiger kausaler Zusammenhang zwischen dem ökologischen Zustand und den ermittelten Ablaufkonzentrationen der Kläranlage kann aus den Ergebnissen nicht zweifelsfrei hergeleitet werden. Hierzu sind z. B. die weiteren Eintragspfade von relevanten Mikroschadstoffen und die sich nach der Kläranlageneinleitung ergebenden maßgebenden Konzentrationen im Gewässer und ihre Wirkungen auf das Gewässer zu berücksichtigen. Eine Mikroschadstoffelimination auf dem GWK Kessenich würde jedoch zu einer verbesserten Ablaufqualität führen und wäre als freiwillige Maßnahme aus Gewässersicht zu befürworten.

In Tabelle 6-1 sind die oben aufgeführten Parameterkonzentrationen zudem im Vergleich zu den Screening-Ergebnissen anderer Kläranlagen dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass das Abwasser aus Kessenich für die dargestellten Mikroschadstoffe im Schwankungsbereich der erhobenen Daten liegt.

Tabelle 6-1: Vergleich der Screening Ergebnisse aus Kessenich mit den Screening Ergebnissen anderer Kläranlagen

		GKW Kessenich	KA HS	KA BS	KA BB	KA WE	KA MG	KA WA
Stoffgruppe	Stoff	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]	[ng/l]
Arzneimittel- wirkstoffe	Carbamazepin	500*	710, 810	640, 720	450, 570	1.700, 1.900	490, 410	970, 1.000
	Diclofenac	1500*	1.800, 2.200	610, 840	1.900, 1.500	4.900, 4.900	3.300, 3.700	1.100, 1.300
	Sulfamethoxazol	400*	100, 130	400, 410	660, 740	540, 760	870, 700	1.100, 610
Algizid	Terbutryn	50*	76, 95	130, 110	120, 82	15, 20	170, 190	130, 160

*Mittelwert vorhandener acht Messungen

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der Ausbau einer Kläranlage um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination zurzeit noch nicht gesetzlich geregelt ist und auf freiwilliger Basis erfolgt. Aufgrund der oben geschilderten Anhaltspunkte, sollte der Ausbau des GWK Kessenich um eine Stufe zur Mikroschadstoffelimination jedoch in Betracht gezogen werden.

6.2 Verfahrensempfehlung

Unabhängig davon, ob die Minderung der Abwasserabgabe infolge einer verbesserten Reinigungsleistung berücksichtigt wurde oder nicht, erhielt die **Variante 1a bzw. die Variante 1b** dabei aufgrund technischer und monetärer Bewertungsaspekte die beste Bewertung. Dies trifft auch zu, wenn eine Förderung der Ausbaumaßnahme von 70 % auf die Investitionskosten berücksichtigt wird.

Im Rahmen dieser Studie wird für die großtechnische Umsetzung einer Reinigungsstufe zur Mikroschadstoffelimination auf dem GWK Kessenich empfohlen, die Ozonung mit biologischer Nachbehandlung im bestehenden Filter als Vorzugsvariante der vorliegenden Machbarkeitsstudie umzusetzen. Diese Variante weist im Vergleich zu den Aktivkohlevarianten zwar vergleichsweise hohe Investitionskosten auf, für die jedoch derzeit noch die Möglichkeit einer maximal 70 %-igen Förderung durch das Förderprogramm „Ressourceneffiziente Abwasserbeseitigung II NRW“ besteht.

Die Ozonung ist ein Verfahren, das sich bereits vielfach in der großtechnischen Umsetzung als machbar und sinnvoll erwiesen hat. Zu erwähnen ist bei diesem Verfahren jedoch in Kombination mit erhöhten Bromidkonzentration die Möglichkeit einer Bildung von Bromat. Dies sollte im Rahmen von weitergehenden Untersuchungen zur Bromidkonzentration und dem Bromatbildungspotential für das Abwasser des GWK Kessenich untersucht werden, bevor eine großtechnische Umsetzung der Ozonung realisiert wird. Weiterhin sinnvoll zur Verifizierung der Auslegungswerte der Ozonung sind im Vorfeld durchzuführende Ozonzehrungsversuche, aus denen die benötigte Zeit bis zur vollständigen Zehrung des Ozons durch die Abwasserinhaltsstoffe ermittelt werden kann.

Die Ozonung bietet durch die unterschiedlichen Dosiereinstellungen eine relativ hohe Flexibilität bzgl. der Behandlungwassermenge. Voraussetzung dafür ist, dass der Zusammenhang zwischen Dosierkonzentration und Bromatbildung bei der Planung der Anlage bzw. Dosieraggregaten berücksichtigt wird.

Ein großer Vorteil der Ozonung sind die geringen laufenden Kosten, die im Vergleich z. B. zur Variante 4 mit GAK, weniger als die Hälfte der jährlichen Kosten betragen. Darüber hinaus kann durch diese Variante eine Einbindung des bestehenden Filters erfolgen. Hierdurch wird gewährleistet, dass die vorhandene Infrastruktur genutzt wird und eine sinnvolle Integration der vierten Reinigungsstufe auf dem GWK Kessenich stattfindet.

7 Anhang

sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
< 1/2 UQN	1/2 UQN - UQN	UQN - 2 UQN	2 UQN - 4 UQN	> 4 UQN

Stoff	Einheit	UQN Vorschlag D4	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
		UQN Vorschlag (OGewV 2016)	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
TOC, homogenisiert	mg/L						7,36	4,71	7,14	9,97
Ammonium-Stickstoff	mg/L						1,10	1,20	0,90	1,00
Nitrit-Stickstoff	mg/L						0,12	0,11	<0,10	<0,10
Nitrat-Stickstoff	mg/L						3,33	2,97	4,36	4,12
Phosphor, gesamt	mg/L						0,26	0,22	0,37	0,23
Orthophosphat- Phosphor (gelöst)	mg/L						0,15	0,13	0,27	0,15
Sulfat	mg/L						98,5	69,8	112	110
Chlorid	mg/L						139	100	152	152
östrogen wirksame Stoffe	ng/L		0		0	0	0	0	0	0
1H-Benzotriazol	ng/L	10.000	5.700	12.000	2.600	4.800	3.800	3.600	5.000	7.000
1H-Benzotriazol-4- Methyl	ng/L			1.000	350	960	680	470	1.500	1.900
2,4,5-T	ng/L	100	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2,4-D	ng/L	200	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2,4-DB	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
2,4- Dichlorbenzoesäure	ng/L		320	90	820	40	90	170	530	50
2,6-Dichlorbenzamid	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
4-Hydroxy-diclofenac	ng/L		30	230	230	170	40	200	180	190
Aclonifen	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Acridin	ng/L		<50	60	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Alachlor	ng/L	300	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Ametryn	ng/L	500	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Stoff	Einheit	UQN Vorschlag D4	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
		UQN Vorschlag (OGewV 2016)	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
Amidotrizoensäure	ng/L	100	5.600	4.000	2.900	3.200	8.500	6.200	4.400	7.000
Atenolol	ng/L		150	140	80	130	140	100	80	80
dichlorethan	ng/L	10.000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Atrazin-2-hydroxy	ng/L	600	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Atrazin-desethyl-2-hydroxy	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Atrazin-desisopropyl-2-hydroxy	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Bentazon	ng/L	100	20	20	30	50	30	20	20	<20
Bezafibrat	ng/L		120	120	40	220	110	70	70	80
Bifenox	ng/L	12	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Bisoprolol	ng/L	100	690	680	250	370	490	310	250	400
Bisphenol A	ng/L	100	<20	20	50	40	<20	<20	<20	<20
Bromacil	ng/L	600			<50	<50	<50	<50	<50	<50
Bromoxynil	ng/L	500	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Buturon	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Carbamazepin	ng/L	500	660	570	290	370	580	350	480	680
Carbamazepin-dihydro-dihydroxy	ng/L		860	620	940	740	920	830	900	1.300
Carbetamid	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chloramben	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chlorfenvinphos	ng/L	100	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chloridazon (Pyrazon)	ng/L	100	<50	<50	270	<50	<50	<50	<50	<50
Chloridazon-Desphenyl	ng/L		1.400	570	390	470	410	370	200	540
Chloridazon-Desphenyl-Methyl	ng/L		230	230	130	180	270	170	210	250
Chloroxuron	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chlorpyrifos	ng/L	30	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chlorthal-dimethyl	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Chlortoluron	ng/L	400	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Clarithromycin	ng/L	20	<20	310	<20	<20	270	280	<20	<20
Clofibrinsäure	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Clomazon	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Clopyralid	ng/L		20	20	30	<20	30	20	20	20
Coffein	ng/L		900	880	430	1.400	1.500	3.200	900	11.000
CPA	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Stoff	Einheit	UQN Vorschlag D4	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
		UQN Vorschlag (OGewV 2016)	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
Cyanazin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Cybutryn (Irgarol)	ng/L	3	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
DEET	ng/L		100	50	80	60	300	430	520	420
Desethylatrazin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Desethylterbutylazin	ng/L		<50	<50	190	80	<50	<50	<50	<50
Desisopropylatrazin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Desmetryn	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Diazepam	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Diazinon	ng/L	10	150	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Dicamba	ng/L		<50	<50	<50	<20	<50	<50	<50	<50
Dichlobenil	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Dichlorprop	ng/L	100	<20	<20	<20	20	<20	<20	<20	<20
Dichlorvos	ng/L	1	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Diclofenac	ng/L	100	2.000	1.600	770	1.200	1.700	1.100	1.500	1.800
Diclofop-methyl	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Dimethenamid	ng/L		150	<50	80	<50	<50	<50	<50	<50
Dimethomorph	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Dimethylsulfamid	ng/L				<200	<200	<200	<200	<200	<200
Diuron	ng/L	200	50	<50	<50	<50	<50	<70	<50	<50
Epoxiconazol	ng/L	200	<50	<50	60	<50	<50	<50	60	<50
Erythromycin	ng/L	20	270	340	<200	<200	<200	<200	<200	<200
Ethidimuron	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Ethofumesat	ng/L		<20	<20	120	40	20	20	<20	<20
Fenbendazol	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fenoprofen	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fenoprop	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fenoxaprop-P	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fenpropidin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fenpropimorph	ng/L	20	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fluazifop-p-butyl	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Flubendazol	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Flufenacet	ng/L	40	260	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Fluroxypyr	ng/L		<50	60	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Flurtamon	ng/L	200	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Gabapentin	ng/L			6.000	2.200	4.000	3.400	3.100	4.100	6.500

Stoff	Einheit	UQN Vorschlag D4	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
		UQN Vorschlag (OGewV 2016)	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
Gemfibrozil	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Haloxypop	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Hexazinon	ng/L	70	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
HHCb	ng/L		1.700	1.500	1.700	940	1.300	1.100	1.300	1.100
Ibuprofen	ng/L	10	920	370	250	210	180	390	620	60
Imidacloprid	ng/L	2	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Iminostilben	ng/L		100	790	770	1.300	300	160	940	280
Iohexol	ng/L	100	31.000	22.000	18.000	21.000	23.000	4.400	3.000	6.200
Iomeprol	ng/L	100	1.100	1.000	650	1.300	<200	<200	240	<200
Iopamidol	ng/L	100	<200	<200	<200	280	<200	<200	<200	<200
Iopromid	ng/L	100	3.000	4.900	2.100	3.700	3.400	620	<200	1.900
Ioxynil	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Isoproturon	ng/L	300	<50	170	<50	<50	<50	<50	<50	50
Lenacil	ng/L				<50	<50	<50	<50	<50	<50
Linuron	ng/L	100	<50		<50	<50	<50	<50	<50	<50
MCPA	ng/L	2.000	170	70	50	50	170	60	160	20
Mecoprop (=MCP)	ng/L	100	20	60	90	30	50	60	30	30
Metalaxyl	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metamitron	ng/L		<50	<50	380	60	<50	<50	<50	<50
Metazachlor	ng/L	400	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metconazol	ng/L	100	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metformin	ng/L				1.400	1.400	1.200	3.600	1.300	790
Methabenzthiazuron	ng/L	2.000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metobromuron	ng/L		<50		<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metolachlor	ng/L	200	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metoprolol	ng/L	7.300	1.200	2.000	680	1.100	1.100	780	1.300	2.400
Metoxuron	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Metribuzin	ng/L	200	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Monolinuron	ng/L	200	<50		<50	<50	<50	<50	<50	<50
Monuron	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Napropamid	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Naproxen	ng/L		610	700	300	390	420	290	380	420
Nicosulfuron	ng/L	9	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Penconazol	ng/L			<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Pendimethalin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50

Stoff	Einheit	UQN Vorschlag D4	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf	Ablauf
		UQN Vorschlag (OGewV 2016)	22.03.2016	13.04.2016	01.06.2016	22.06.2016	14.07.2016	25.07.2016	15.08.2016	01.09.2016
Pentoxifyllin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Phenacetin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Phenazon	ng/L	1.100	730	790	170	430	220	110	230	1.000
Prometryn	ng/L	500	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Propazin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Propiconazol	ng/L	1.000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Propranolol	ng/L	100	50	60	<50	<50	50	<50	<50	50
Prosulfocarb	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Quinclorac	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Quinmerac	ng/L		<50	<50	100	<20	<50	<50	<50	<50
Quinoxifen	ng/L	150	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Roxithromycin	ng/L		<200	<200	<200	<200	<200	250	<200	<200
Sebuthylazin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Simazin	ng/L	1.000	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Sotalol	ng/L	100	190	180	80	120	180	130	140	230
Sulcotrion	ng/L	100	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Sulfadiazin	ng/L	100								
Sulfadimidin	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Sulfamethoxazol	ng/L	150	270	<50	<50	<50	240	<50	770	240
TCEP	ng/L		90	60	50	150	170	120	60	120
TCPP	ng/L		1.400	1.300	730	980	1.700	1.400	1.200	1.700
TDCPP	ng/L		120	170	150	150	190	170	120	160
Tebuconazol	ng/L	1.000	<50	<50	100	<50	<50	<50	<50	<50
Terbumeton	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Terbuthylazin	ng/L	500	<50	<50	70	70	<50	<50	<50	<50
Terbuthylazin-2-hydroxy	ng/L		<50	<50	<50	70	<50	50	<50	<50
Terbutryn	ng/L	65	<50	<60	<50	60	90	80	50	70
Tetracyclin	ng/L		<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200	<200
Triclopyr	ng/L		<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Triclosan	ng/L	20	20	80	50	60	20	60	50	60
Trifluralin	ng/L	30	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Trimethoprim	ng/L	100	120	100	<50	<50	<50	<50	<50	<50
Triphenylphosphinoxid	ng/L		220	310	100	340	270	150	60	320

8 Literaturverzeichnis

- Abegglen, C.; Siegrist, H. (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 1214: 210 S. Bundesamt für Umwelt, Bern (Umwelt-Wissen, 1214). Online verfügbar unter http://www.sib.admin.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/UW-1214-D_Mikroverunreinigungen.pdf, zuletzt geprüft am 06.01.2015.
- ARGE TP 10 (2011): Metabolitenbildung beim Einsatz von Ozon. Schlussbericht, Phase 1. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Online verfügbar unter http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_Metabolitenbildung.pdf, zuletzt geprüft am 17.12.2015.
- ARGE TP 5 (2012): MIKROFLOCK: Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen, insbesondere kommunaler Flockungsfiltrationsanlagen durch den Einsatz von Aktivkohle. Abschlussbericht. AZ IV-7-042 600 001E. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).
- ARGE TP 6 (2014): Elimination von Arzneimittelrückständen in kommunalen Kläranlagen. Schlussbericht, Phase 2. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV), zuletzt geprüft am 28.04.2014.
- ARGE TP 9 (2013): Volkswirtschaftlicher Nutzen der Ertüchtigung kommunaler Kläranlagen zur Elimination von organischen Spurenstoffen, Arzneimitteln, Industriechemikalien, bakteriologisch relevanten Keimen und Viren. Abschlussbericht. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV). Online verfügbar unter http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/TP_9_Abschlussbericht_Langfassung_final_140305.pdf, zuletzt geprüft am 17.12.2015.
- ARW (2010): Memorandum mit Forderungen zum Schutz von Fließgewässern und Talsperren zur Sicherung der Trinkwasserversorgung. ARW, AWWR, AWBR, DVGW, ATT UND AWE. Online verfügbar unter <https://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/ressourcen/memorandum2011.pdf>, zuletzt geprüft am 17.12.2015.
- ATV (1997): Mechanische Abwasserreinigung. 4. Aufl. Berlin: Ernst (ATV-Handbuch).
- Barjenbruch, M.; Firk, W. (2014): Möglichkeiten der Elimination von Spurenstoffen auf kommunalen Kläranlagen. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 61 (10), S. 861–875.
- Donau Carbon (2015): Aktivkohle und ihre Anwendung. Donau Carbon GmbH & Co. KG,. Online verfügbar unter <http://www.donau-carbon.com/Downloads/aktivkohle.aspx>, zuletzt geprüft am 17.12.2015.
- DSADS (2016): Den Spurenstoffen auf der Spur. Projekt des Landes Nordrhein-Westfalen, der Stadt Dülmen und des Lippeverbands. Online verfügbar unter www.dsads.de, zuletzt geprüft am 18.10.2016.
- EAWAG (2009): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. 3. Zwischenbericht. Dübendorf.
- ELWAS-WEB (2016): Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung. Online verfügbar unter www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf.
- Erftverband (2009): Betriebsanleitung für die Betriebsstelle Nr. 32. GWK Kessenich.
- Herbst, H.; Hilbig, R. (2013): Machbarkeitsstudie - Einbindung einer Anlage zur Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in die Abwasserfiltration der Kläranlage Neuss-Ost. Online verfügbar unter http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_Machbarkeit.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Herbst, H.; Kauffmann, M.; Türk, J.; Launer, M. (2011): Abwasserozonierung Kläranlage Duisburg-Vierlinden. Auslegung - Bau - erste Betriebsergebnisse. In: E. Hoffmann (Hg.): Tagungsband der 25. Karlsruher Flockungstage, Bd. 141.

Herbst, H.; Maus, C. (2013): Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Warburg. Machbarkeitsstudie. Online verfügbar unter http://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_mmkresearchprojects/Abschlussbericht_Spurenstoffe_Warburg.pdf, zuletzt geprüft am 17.12.2015.

Hoigné, J. (1988): The Chemistry of Ozone in Water. In: Samuel Stucki (Hg.): Process Technologies for Water Treatment. Boston, MA: Springer (Earlier Brown Boveri Symposia), S. 121–141.

KOM-M.NRW (2015a): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Hg. v. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.

KOM-M.NRW (2015b): Karten – Stand des Ausbaus von Kläranlagen zur Mikroschadstoffelimination. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Online verfügbar unter <http://www.masterplan-wasser.nrw.de/karten/>, zuletzt geprüft am 320.10.2015.

KOM-M.NRW (2015c): Maßnahmen bei der Abwasserbehandlung. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Online verfügbar unter <http://www.masterplan-wasser.nrw.de/multibarrieren/massnahmen-bei-der-abwasserbehandlung/>, zuletzt geprüft am 17.12.2015.

KOM-M.NRW (2015d): Mikroschadstoffelimination machbar? Wesentliche Inhalte einer Machbarkeitsstudie für Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. Hg. v. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.

KOM-M.NRW (2015e): Projektsteckbriefe. Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW. Online verfügbar unter <http://www.masterplan-wasser.nrw.de/tatenbank/nrw/projektsteckbriefe/>, zuletzt geprüft am 17.12.2015.

KOM-M.NRW (2016): Anleitung zur Planung und Dimensionierung von Anlagen zur Mikroschadstoffelimination. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Hg. v. ARGE Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe.NRW.

KomS-BW (2015a): Kläranlagen mit 4. Reinigungsstufe. Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.koms-bw.de/klaeranlage/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

KomS-BW (2015b): Pulverisierte Aktivkohle. Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Online verfügbar unter <http://www.koms-bw.de/page35/page36/page42/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

KVR-Leitlinien (2012): Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien). 8. Aufl. Hg. v. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.

Metzger, Steffen (2010): Einsatz von Pulveraktivkohle zur weitergehenden Reinigung von kommunalem Abwasser. [Verfahrenstechnische, betriebliche und ökonomische Aspekte bei der Entfernung von Spurenstoffen]. München: Oldenbourg Industrieverl.

Metzger, Steffen; Kapp, H. (2008): Einsatz von Pulveraktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen. VSA-Fachtagung, 28.10.2008.

Micropoll (2012): Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser. Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU. Schweiz. Online verfügbar unter http://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/01_Allgemein/2012_Mikroverunreinigungen_aus_kommunalem_Abwasser.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2015.

Micropoll (2013): Projektsteckbrief Ozonung St. Pourcain. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter

http://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Anlagen/Ozonung_St_Pourcain.pdf, zuletzt aktualisiert am 11.06.2015.

Micropoll (2015a): Dichte Membranen. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter <http://www.micropoll.ch/verfahren/dichte-membranen/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

Micropoll (2015b): Schweiz - VSA Micropoll. VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen. Online verfügbar unter <http://www.micropoll.ch/anlagen-projekte/schweiz/>, zuletzt geprüft am 11.06.2015.

MKULNV (2014): Leitfaden Monitoring Oberflächengewässer Teil D / Anlage 4 - Flussgebiete NRW. Hg. v. Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV).

Neef, J. (2016): Untersuchungen zur simultanen Anwendung von Pulveraktivkohle. KomS-Technologieforum Spurenstoffe. Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg. Lahr, 2016.

Nordic Water GmbH (2016a): DynaSand-Filter zur kontinuierlichen Filtration. Nordic Water GmbH. Online verfügbar unter <http://www.nordic-water.de/index.php/produkte/dynasand-filter>, zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Nordic Water GmbH (2016b): Auslegung von DynaSand Carbon-Filtern, 08.12.2016. Telefonat an Sweco GmbH.

Schwentner, G. (2010): Ergänzung der Flockungsfiltration durch Vorschaltung einer Aktivkohleanlage am Beispiel der Kläranlage Böblingen-Sindelfinden. In: Johannes Pinnekamp und Verena Kölling (Hg.): 43. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft "Perspektiven und Risiken". 17. bis 19. März 2010 in der Messe Essen Ost. Aachen: Ges. zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen (Gewässerschutz, Wasser, Abwasser, 220).

Stalter, Daniel; Magdeburg, Axel; Oehlmann, Jorg (2010a): Comparative toxicity assessment of ozone and activated carbon treated sewage effluents using an in vivo test battery. In: *Water research* 44 (8), S. 2610–2620. DOI: 10.1016/j.watres.2010.01.023.

Stalter, Daniel; Magdeburg, Axel; Weil, Mirco; Knacker, Thomas; Oehlmann, Jorg (2010b): Toxication or detoxication? In vivo toxicity assessment of ozonation as advanced wastewater treatment with the rainbow trout. In: *Water research* 44 (2), S. 439–448. DOI: 10.1016/j.watres.2009.07.025.

Stoll, Jean-Marc; Frank, Kerstin; Arx, Deborah von; Thomann, Michael; Obrecht, Johanna; Sobaszkie-wicz, Markus et al. (2015): PAK im Belebtschlammbecken - Elimination von Mikroverunreinigungen in der ARA mit Pulveraktivkohle im Belebtschlammbecken. UMTEC Institut für Umwelt- und Verfahrenstechnik. Online verfügbar unter https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/03_Aktivkohle/150218_Abschlussbericht_Mikro_Pak.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Streicher, Judith; Ruhl, Aki Sebastian; Gnirss, Regina; Jekel, Martin (2016): Where to dose powdered activated carbon in a wastewater treatment plant for organic micro-pollutant removal. In: *Chemosphere* 156, S. 88–94. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.04.123.

Tchobanoglous, George; Burton, Franklin L.; Stensel, H. David (2003): Wastewater engineering. Treatment and reuse. 4th ed. Boston: McGraw-Hill (McGraw-Hill series in civil and environmental engineering).

Umweltbundesamt (2011): Zusammenstellung von Monitoringdaten zu Umweltkonzentrationen von Arzneimitteln. ISSN 1862-4804. Dessau-Roßlau (Texte, 66).

Umweltbundesamt (2015): Mikroverunreinigungen und Abwasserabgabe. Hg. v. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau (Texte 26/2015). Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/mikroverunreinigungen-abwasserabgabe>, zuletzt geprüft am 12.01.2017.

WABAG (2014): Filtration zur Wasser- und Abwasserreinigung. WABAG Wassertechnik AG. Online verfügbar unter http://www.wabag.com/wp-content/uploads/2014/07/Filtration2014_DE_WEB.pdf, zuletzt geprüft am 12.06.2015.

Wittmer, A.; Ramisberger, M.; Böhler, M.; Heisele, A.; Siegrist, H.; Hollender, J. et al. (2013): UV-Messung zur Regelung der Ozondosis und Überwachung der Reinigungsleistung. Labor- und halbtechnische Pilotversuche. Schlussbericht. Hg. v. Bundesamt für Umwelt BAFU. EAWAG. Dübendorf (85341). Online verfügbar unter https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/01_Berichte/02_Technische_Verfahren/02_Ozonung/2013_UV-Regelung_Ozonung.pdf, zuletzt geprüft am 09.12.2016.

Zimmermann, S. (2011): Enhanced wastewater treatment by ozone and ferrate: Kinetics, transformation products and full-scale ozonation. Dissertation. ETH, Zürich.