



Kläranlage Erwitte-Nord

**Machbarkeitsstudie zur
Spurenstoffelimination
Kurzbericht**

Düsseldorf, im Februar 2018

Auftraggeber:

Abwasserwerk Erwitte

Postfach 1065

59591 Erwitte

Stadt Erwitte Abwasserwerk: Herr Dipl.-Ing. Hartwig Weiß

Aufgestellt durch:

Hydro-Ingenieure Planungsgesellschaft für Siedlungswasserwirtschaft mbH

Beratende Ingenieure

Stockkampstraße 10

40477 Düsseldorf

Düsseldorf, 09. Februar 2018

4316_00/KU/SD

20180110_Kurzbericht_Erwitte_Studie.docx



Projektleiter/in: Dipl.-Ing. Silke Kuhlmann



Projektingenieur/in: B. Eng. Dominik Sikorski

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Projektkurzbeschreibung	1
2	KURZBESCHREIBUNG DER BESTEHENDEN KLÄRANLAGE	3
3	PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN	4
3.1	Planungsgrundlagen	4
3.2	Hydraulische Bemessungsgrößen	4
3.3	Spurenstoffbelastung	6
3.3.1	Untersuchungsprogramm	6
3.3.2	Spurenstoffbelastung in der Kläranlage	8
3.3.3	Spurenstoffbelastung im Vorfluter Glasebach	12
3.4	Auswirkungen auf das Gewässer	15
3.4.1	Beeinflussung des Gewässers anhand einer ökologischen Betrachtung	17
3.4.2	IST-Zustand	18
3.4.3	Weitergehende Spurenstoffelimination	19
4	PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION	21
4.1	Standort	21
4.2	Ozonung	23
4.2.1	Variante 1.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett	23
4.2.2	Variante 1.2: Ozonung mit nachgeschalteter Filtration	26
4.2.3	Variante 1.3: Ozonung mit nachgeschalteten DynaSand-Filtern	27
4.3	Granulierte Aktivkohle	28
4.3.1	Variante 2.1: granulierte Aktivkohle (GAK) in Behälterbauweise	28
4.3.2	Variante 2.2: granulierte Aktivkohle (GAK) in DynaSand-Filtern	31
4.4	Auswahl der Vorzugsvarianten	31
5	KOSTENSCHÄTZUNG	33
5.1	Investitionskosten	33
5.2	Betriebskosten	34
5.3	Jahreskosten	36
5.4	Projektkostenbarwert	37
6	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG	38

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Auswertung Ablaufmengen zur Spurenstoffanlage der KA Erwitte-Nord 2013 – 2015	5
Abbildung 2:	Auswertung Anteil der behandelten Teilstrommenge an der Ablaufmenge zur Spurenstoffanlage der KA Erwitte-Nord 2013-2015	5
Abbildung 3:	Eliminationsleitung der KA Erwitte-Nord aktuell bezogen auf Spurenstoffe sowie die Darstellung der 80% Eliminationsgrenze	11
Abbildung 4:	Bewertung des chemischen Zustandes (Quelle: ELWAS-Web, 2017)	16
Abbildung 5:	Bewertung des ökologischen Zustandes (Quelle: ELWAS-Web, 2017)	17
Abbildung 6:	Standorte zur Errichtung der 4. Reinigungsstufe auf der KA Erwitte-Nord	22
Abbildung 7:	Einbindung einer Ozonung in den Kläranlagenprozess (KomS-BW, 2017)	23
Abbildung 8:	Variante 1.1 Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett am Standort A	25
Abbildung 9:	Einbindung des granulierten Aktivkohlefilters in den Klärprozess, einstufig (KomS-BW, 2017)	28
Abbildung 10:	Einsatz von granulierter Aktivkohle in Stahlkessel	30

TABELLENVRZEICHNIS

Tabelle 1:	Ablaufmengen KA Erwitte-Nord	4
Tabelle 2:	Zum analysieren vorgegebene Spurenstoffe mit der Einordnung in Wirkstoffklassen	7
Tabelle 3:	Spurenstoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf der KA Erwitte-Nord mit Wirkungsgrad der KA	9
Tabelle 4:	Auswahl an möglichen Leitparametern für die KA Erwitte-Nord	10
Tabelle 5:	Spurenstoffanalytik oberhalb und unterhalb des Kläranlagen-ablaufes der Kläranlage Erwitte-Nord	14
Tabelle 6:	Abschätzung PEC/PNEC-Verhältnisse	19
Tabelle 7:	Abschätzung der PEC/PNEC-Werte nach Errichtung eines Verfahrens zur weitergehenden Spurenstoffelimination	20
Tabelle 8:	Investitionskosten in € der Varianten 1.1 bis 2.1.2	33
Tabelle 9:	Betriebskosten in €/a der Varianten 1.1 bis 2.1.2	35
Tabelle 10:	Jahreskosten in €/a der Varianten 1.1 bis 2.1.2	36
Tabelle 11:	Projektkostenbarwert in € der Varianten 1.1 bis 2.2	37

1 EINLEITUNG

1.1 Veranlassung

Die Stadt Erwitte betreibt seit 1989 die Kläranlage Erwitte-Nord mit einer derzeitigen Ausbaugröße von 16.500 EW. Die Kläranlage ist als mechanisch-biologische Reinigungsstufe konzipiert. Die Belebungsstufe besteht aus zwei intermittierenden Belebungsbecken (Rundbecken) sowie einer zweistraßigen Nachklärung. Die Beschickung der Belebungsstufe als auch der Nachklärungsbecken erfolgt über Verteilerbauwerke.

Aufgrund der bestehenden Problematik der nachgewiesenen Spurenstoffe in Gewässern ist derzeit in der Öffentlichkeit und in der Fachwelt eine intensive Diskussion zur Notwendigkeit einer weitergehenden Spurenstoffelimination gegeben.

Das Vorsorgeprinzip sowie die derzeit zur Verfügung stehenden Fördermöglichkeiten des Landes NRW veranlassen seit längerer Zeit immer mehr Kläranlagenbetreiber zur aktiven Handlung. Die demographische Entwicklung innerhalb der nächsten Jahre bzw. Jahrzehnte mit einem höheren Anteil älterer Menschen wird den Eintrag von Medikamenten wie Pharmaka und Röntgenkontrastmitteln als eine Gruppe von Spurenstoffen deutlich erhöhen.

Des Weiteren fordert auch die Bezirksregierung Arnsberg die Erstellung einer Studie zur Spurenstoffelimination als Voraussetzung für die Verlängerung der Einleitungserlaubnis.

1.2 Projektkurzbeschreibung

Für die Kläranlage Erwitte-Nord stehen verschiedene verfahrenstechnische Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung, die nachfolgend dargestellt werden.

- Variante 1.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
- Variante 2.1: Ozonung mit nachgeschalteter Filtration
- Variante 2.1.2: Ozonung mit nachgeschalteten DynaSand-Filtern

- Variante 2.1: granuliert Aktivkohle (GAK) in Behälterbauweise
- Variante 2.2: granuliert Aktivkohle (GAK) in DynaSand-Filtern

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

Für das Eliminieren von Spurenstoffen mit Hilfe von Pulveraktivkohle wird mehr Materialverbrauch erwartet. Aufgrund dessen wird der Einsatz von Pulveraktivkohle auf der Kläranlage Erwitte-Nord nicht berücksichtigt.

2 KURZBESCHREIBUNG DER BESTEHENDEN KLÄRANLAGE

Die Kläranlage Erwitte-Nord liegt ca. 3,4 km nördlich des geografischen Zentrums der Stadt Erwitte und ca. 3 km westlich von Bad Westernkotten. Sie wurde zwischen 1999 und 2000 auf 16.500 EW erweitert und optimiert.

Ab 1984 fing die Planung der Anlage mit einer Ausbaugröße von 9.000 EW an, bevor sie 1989 in Betrieb genommen wurde. Zu diesem Zeitpunkt bestand die Kläranlage aus einem Pumpwerk, einem Kombibecken sowie einem Betriebsgebäude.

Aufgrund gesteigener Ablaufanforderungen wurde die Kläranlage auf 11.500 EW zwischen 1995 und 1997 um zwei Nachklärbecken erweitert. Ferner wurde in diesem Zeitraum das Kombibecken in das Belebungsbecken I umgebaut. Zwischen 1999 und 2000 wurde die Anlage auf die endgültige Ausbaugröße von 16.500 EW ertüchtigt. Im Zuge dieser Erweiterung wurde das Belebungsbecken II, eine Phosphorfällung und der Ausbau des Betriebsgebäudes umgesetzt.

3 PLANUNGS- UND BEMESSUNGSGRUNDLAGEN

3.1 Planungsgrundlagen

Seitens der Stadt Erwitte wurden für die Bearbeitung folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt.

- Ablaufmengen 2013 - 2015
- Lageplan der Kläranlage Erwitte-Nord
- vorhandene Bauwerkspläne der bestehenden Bauwerke
- Analyseergebnisse 2013 - 2015

3.2 Hydraulische Bemessungsgrößen

Die Hydro-Ingenieure GmbH hat eine Auswertung der Ablaufwassermengen für den Zeitraum Januar 2013 bis Dezember 2015 durchgeführt. Dabei wurden sowohl Ganglinien als auch Summenhäufigkeiten ermittelt (siehe Anlage 1.1).

Die Datengrundlage basiert auf 2 h-Werten. Die Anteile der Ablaufmengen über den Betrachtungszeitraumes sind folgender Tabelle zu entnehmen.

Ablaufmenge	2013 - 2015
Mittelwert	67,90 l/s
85 %-Wert	93,74 l/s
Maximum	398,7 l/s

Tabelle 1: Ablaufmengen KA Erwitte-Nord

Die Bemessungswassermenge für die Spurenstoffbehandlung wurde auf max. 81 l/s (ca. 292 m³/h) festgelegt. Der Zulauf zur Spurenstoffanlage der Kläranlage Erwitte-Nord unterschreitet an ca. 79 % aller Messungen zwischen den Jahren 2013 - 2015 eine maximale Menge von 81 l/s.

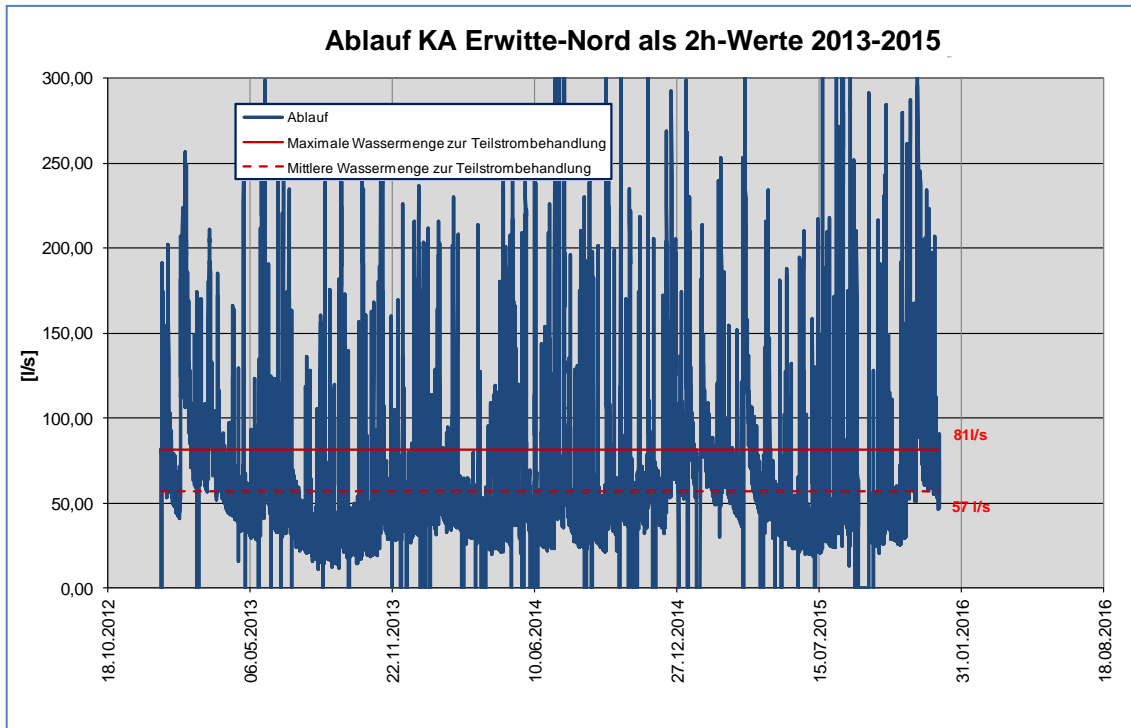


Abbildung 1: Auswertung Ablaufmengen zur Spurenstoffanlage der KA Erwitte-Nord 2013 – 2015

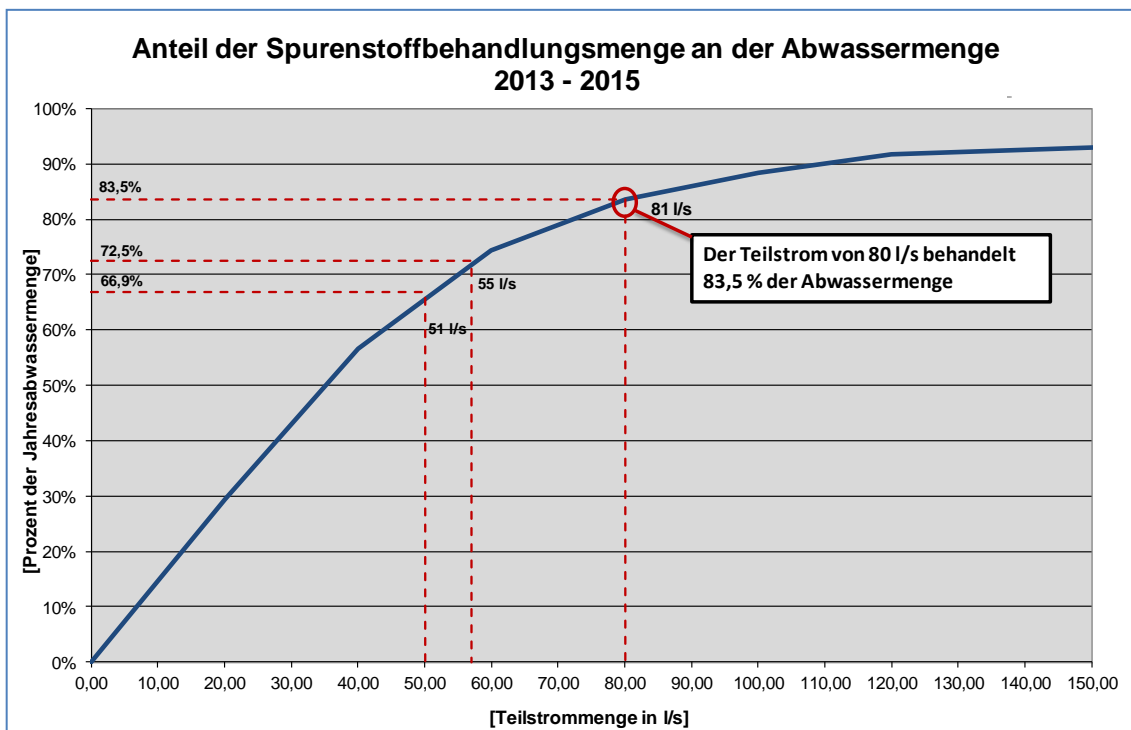


Abbildung 2: Auswertung Anteil der behandelten Teilstrommenge an der Ablaufmenge zur Spurenstoffanlage der KA Erwitte-Nord 2013-2015

3.3 Spurenstoffbelastung

3.3.1 Untersuchungsprogramm

Die Spurenstoffeinwirkung auf die Gewässer wird immer größer. Die Hauptbelastung für die Vorfluter stellen in den meisten Fällen die Kläranlagen dar. Im folgenden Kapitel wird die Reinigungsleistung der Kläranlage Erwitte-Nord dargelegt sowie der Einfluss des Kläranlagenablaufes auf den Vorfluter, den Glasebach.

Zur Ermittlung der Spurenstoffbelastung auf der Kläranlage wurden 72 h-Mischproben, zwischen dem 30.05.2017 und 02.06.2017, am Zu- sowie Ablauf der Kläranlage genommen. Im Anschluss an die Probenahme wurden von dem Büro OWL Umweltanalytik GmbH, Leopoldshöhe, 48 Spurenstoffe analysiert. Während der Probenahme fiel, laut Niederschlagsmesser auf der Kläranlage, lediglich 5 mm Niederschlag. Bezogen auf das Einzugsgebiet und die gefallene Niederschlagshöhe wird der Niederschlag als irrelevant für die Probe und ihre Aussagekraft bewertet.

Das Kompetenzzentrum Mikroschadstoffe NRW (KOM-M.NRW) empfiehlt die Überprüfung der Reinigungsleistung der 4. Reinigungsstufe über eine 80 % Eliminationsgrenze. Diese Grenze bezieht sich auf eine definierte Menge an Leitparametern die im Verlauf der Kläranlage (biologische Reinigung + Spurenstoffelimination) eliminiert werden.

Im Glasebach wurden am 01.06.2017 von dem Büro OWL Umweltanalytik GmbH, Leopoldshöhe, oberhalb und unterhalb des Kläranlagenablaufes von den 48 vorgegebenen Spurenstoffen qualifizierte Stichproben entnommen. Anhand dieser Probe wird der der Spurenstoffanteil in dem Gewässer verdeutlicht sowie der Einfluss des Kläranlagenablaufes auf den Glasebach.

Die 48 für das Screening vorgegebenen Spurenstoffe werden in folgender Tabelle zusammengetragen.

Stoff/Parameter	Wirkstoffklasse
Chlortetracyclin	Antibiotikum
Ciprofloxacin	Antibiotikum
Clarithromycin	Antibiotikum
Dehydratoerythromycin	Antibiotikum
Doxycyclin	Antibiotikum
Erythromycin	Antibiotikum
Oxytetracyclin	Antibiotikum
Roxithromycin	Antibiotikum
Sulfamethoxazol	Antibiotikum
Tetracyclin	Antibiotikum
Trimethoprim	Antibiotikum
Carbamazepin	Antiepileptikum
Gabapentin	Antiepileptikum
N4-Acetylsulfamethoxazol	Antibiotikum
Atenolol	Betablocker
Metoprolol	Betablocker
Propranolol	Betablocker
Sotalol	Betablocker
Guanylharstoff	(Antidiabetikum)
Bezafibrat	Lipidsenker
Clofibrinsäure	Lipidsenker
Diazepam	Psychopharmaka
Oxazepam	Psychopharmaka
Acetylsalicylsäure	Schmerzmittel
Diclofenac	Schmerzmittel
Ibuprofen	Schmerzmittel
Ketoprofen	Schmerzmittel
Naproxen	Schmerzmittel
17-alpha-Ethinylestradiol	Estrogene
17-beta-Estradiol	Estrogene
Estron	Estrogene
Acesulfam	Synth. Süßstoff
Saccharin	Synth. Süßstoff
Methylbenzotriazol	Korrosionsschutzmittel
Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel
Isoproturon	Pflanzenschutzmittel
Mecoprop	Herbizid
Terbutryn	Herbizid
AMPA	Herbizid
Glyphosat	Pstizid/Herbizid
Amidotrizoesäure	Röntgenkontrastmittel
Iomeprol	Röntgenkontrastmittel
Iopamidol	Röntgenkontrastmittel
Iopromid	Röntgenkontrastmittel

Tabelle 2: Zum analysieren vorgegebene Spurenstoffe mit der Einordnung in Wirkstoffklassen

3.3.2 Spurenstoffbelastung in der Kläranlage

Der an die Kläranlage angeschlossene Kurort Bad Westernkotten sowie das städtische Krankenhaus sind in der Spurenstoffanalytik für die Kläranlage zu erkennen. Die Konzentrationen vieler Kurort und Krankenhaus spezifischer Spurenstoffe, wie z. B. Diclofenac (Schmerzmittel), Sulfamethoxazol (Antibiotikum), Amidotrizoesäure (Röntgenkontrastmittel) und viele weitere, sind im Zulauf der Kläranlage erhöht messbar. In der folgenden Tabelle wird dies dargestellt sowie darüber hinaus der Wirkungsgrad der Kläranlage, bezogen auf die Eliminationsleistung der Kläranlage, gegenüber Spurenstoffen.

Stoff/Parameter	Einheit	Zulauf	Ablauf	Wirkungsgrad KA
		72h-Mischprobe	72h-Mischprobe	%
Arzneimittelwirkstoffe				
Chlortetracyclin	µg/l	0,03	0,03	0%
Ciprofloxacin	µg/l	0,094	0,017	82%
Clarithromycin	µg/l	0,17	0,12	29%
Dehydratoerythromycin	µg/l	0,045	0,11	-144%
Doxicyclin	µg/l	0,03	0,03	0%
Erythromycin	µg/l	0,052	0,065	-25%
Oxytetracyclin	µg/l	0,03	0,03	0%
Roxithromycin	µg/l	0,053	0,03	43%
Sulfamethoxazol	µg/l	0,64	0,46	28%
Tetracyclin	µg/l	0,031	0,03	3%
Trimethoprim	µg/l	0,11	0,12	-9%
Carbamazepin	µg/l	0,25	0,75	-200%
Gabapentin	µg/l	15	5,6	63%
N4-Acetylsulfamethoxazol	µg/l	1,9	0,22	88%
Atenolol	µg/l	0,17	0,062	64%
Metoprolol	µg/l	1,9	1,2	37%
Propranolol	µg/l	0,03	0,03	0%
Sotalol	µg/l	0,44	0,46	-5%
Guanylharstoff	µg/l	0,03	1,9	-6233%
Bezafibrat	µg/l	1,8	0,12	93%
Clofibrinsäure	µg/l	0,03	0,03	0%
Diazepam	µg/l	0,03	0,03	0%
Oxazepam	µg/l	0,21	0,16	24%
Acetylsalicylsäure	µg/l	0,05	0,05	0%
Diclofenac	µg/l	3,8	3	21%
Ibuprofen	µg/l	24	0,01	100%
Ketoprofen	µg/l	0,041	0,03	27%
Naproxen	µg/l	1,8	0,073	96%
Östrogene				
17-alpha-Ethinylestradiol	µg/l	0,05	0,05	0%
17-beta-Estradiol	µg/l	24	0,2	99%
Estron	µg/l	3,8	0,2	95%
synth. Süßstoffe				
Acesulfam	µg/l	22	1,2	95%
Saccharin	µg/l	6,1	0,062	99%
Korrosionsschutzmittel				
Methylbenzotriazol	µg/l	2,6	1,4	46%
Benzotriazol	µg/l	12	3,2	73%
Biozide/PSM-Wirkstoffe				
Isoproturon	µg/l	0,03	0,03	0%
Mecoprop	µg/l	0,043	0,32	-644%
Terbutryn	µg/l	0,058	0,024	59%
AMPA	µg/l	35	97	-177%
Glyphosat	µg/l	5	0,45	91%
Röntgenkontrastmittel				
Amidotrizoesäure	µg/l	9,4	6,6	30%
Iomeprol	µg/l	15	3	80%
Iopamidol	µg/l	0,081	0,098	-21%
Iopromid	µg/l	4,1	0,45	89%

Tabelle 3: Spurenstoffkonzentrationen im Zu- und Ablauf der KA Erwitte-Nord mit Wirkungsgrad der KA

In der Tabelle 3 ist zu erkennen, dass eine Vielzahl von Arzneimittelwirkstoffen, Östrogene, Korrosionsschutzmittel, Biozide sowie Röntgenkontrastmittel im Zulauf der Kläranlage messbar sind. Der Eintrag dieser Stoffe erfolgt hauptsächlich über anthropogene Wege.

Die sogenannten Leitparameter sind Spurenstoffe, welche in ausreichender Konzentration in der Abwassermatrix vorliegen sowie nicht ausreichend im Klärprozess reduziert werden. Anhand der ausgewählten Leitparameter wird angenommen, dass andere Stoffe mit ähnlicher Struktur zusätzlich eliminiert werden. Dadurch entsteht eine Breitbandelimination. Laut KOM-M.NRW besteht das Ziel mit dem ausgewählten Eliminationsverfahren eine Eliminierung, der ausgewählten Leitparameter vom Zulauf KA bis Einleitung ins Gewässer von mehr als 80 % zu erreichen. Als Leitparameter für die Kläranlage Erwitte-Nord eignen sich folgende Stoffe.

Leitparameter	Leitparameter
Clarithromycin	Oxazepam
Sulfamethoxazol	Diclofenac
Trimethoprim	Naproxen
Carbamazepin	Methylbenzotriazol
Gabapentin	Benzotriazol
Atenolol	Mecoprop
Metoprolol	Terbutryn
Sotalol	AMPA
Bezafibrat	Iopamidol

Tabelle 4: Auswahl an möglichen Leitparametern für die KA Erwitte-Nord

Die Abbildung 3 zeigt die gemessene derzeitige Eliminationsleistung für alle Stoffe die oberhalb der mit einer roten Linie markierten Zielgröße von 80 % Elimination liegen. Dadurch wird der Handlungsbedarf zur Spurenstoffelimination nochmals verdeutlicht. Für das Erreichen einer höheren Eliminationsleistung ist der Bau einer 4. Reinigungsstufe erforderlich.

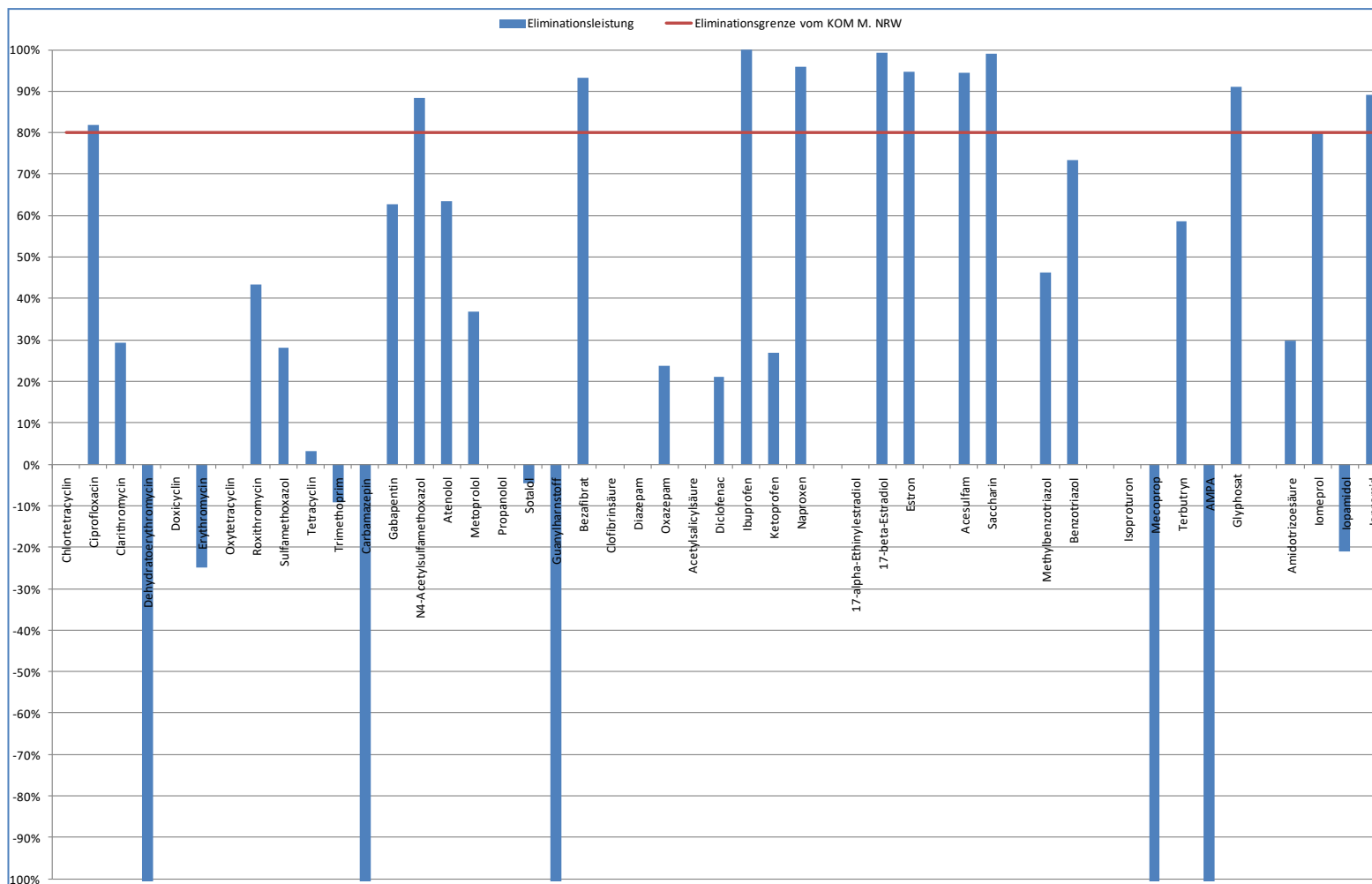


Abbildung 3: Eliminationsleistung der KA Erwitte-Nord aktuell bezogen auf Spurenstoffe sowie die Darstellung der 80% Eliminationsgrenze

In der Abbildung 3 sind alle 48 Spurenstoffe des Monitorings mit dem Eliminationswirkungsgrades der Kläranlage aufgezeigt. Zusätzlich ist die vom KOM-M.NRW vorgegebene 80 % Eliminationsrate (rote Linie) dargestellt.

Es wird deutlich, dass lediglich 12 der 48 analysierten Spurenstoffe zu 80 % oder mehr bereits während des Klärprozesses eliminiert werden. Neben den Schmerzmitteln Ibuprofen und Naproxen werden synthetischen Süßstoffe (Acesulfam, Saccharin) zu über 80 % in der Kläranlage eliminiert. Des Weiteren wird der Lipisenker Bezafibrat, das Pestizid Glyphosat, die Röntgenkontrastmittel Iomeprol und Iopromid als auch die Antibiotika N4-Acetylsulfameth und Ciprofloxacin zu 80 % oder mehr reduziert. Die aufgezählten Stoffe entfallen als Leitparameter und sind für die weitere Betrachtung irrelevant. Die übrig gebliebenen 36 Stoffe sind für die Bestimmung der Reinigungsleistung des gewählten Eliminationsverfahrens zu betrachten.

Neun Spurenstoffe weisen im Ablauf eine höhere Konzentration auf als im Zulauf. Bei Guanylharnstoff ist die Konzentrationserhöhung darin begründet, dass der Harnstoff ein Metabolit von Metformin ist und durch biologische Prozesse eine Transformation stattfindet. Der Transformationseffekt könnte auch die Begründung für die restlichen Konzentrationserhöhungen darstellen. Das Analytiklabor prüfte die 72 h-Mischproben erneut und konnte keine Begründung für die nicht erläuterbaren Konzentrationen finden.

Die verbliebenen 27 Stoffe sind in ausreichenden Konzentrationen im Zulauf zur Kläranlage vorhanden und werden nicht zu min. 80 % von der Kläranlage eliminiert. Aus dieser Vielzahl an Spurenstoffen wird eine definierte Anzahl an Leitparameter bestimmt. Weiterhin ist bei der Wahl eines geeigneten Verfahrens darauf zu achten, dass die Stoffe mit dem gewählten Verfahren gut zu eliminieren sind (KOM-M.NRW, 2016).

Zusammenfassend bleibt zuzusagen, dass die Kläranlage einen hohen Anteil, aufgrund der geringen Eliminationsleistung des konventionellen Klärprozesses, an Spurenstoffe in den Vorfluter, den Glasebach, einleitet. Im folgenden Kapitel wird der Anteil der Spurenstoffeinleitung durch die Kläranlage verdeutlicht dargestellt.

3.3.3 Spurenstoffbelastung im Vorfluter Glasebach

In der Oberflächengewässerverordnung des Landes Nordrhein-Westfalen sind Grenzwerte für bestimmte Spurenstoffe festgelegt. Diese Tabelle bezieht sich im Wesentlichen mit Industriechemikalien und weniger mit alltäglich entstehenden Spurenstoffen, wie z. B. Arzneimittelwirkstoffe, Röntgenkontrastmittel, etc. Sodass

eine Grenzwertfindung mit Hilfe der Oberflächengewässerverordnung (OGewV) als schwierig zu bewerten ist.

Die definierten Grenzwerte sollen im Gewässer eingehalten werden. Dies bedeutet, dass eine Immissionsbetrachtung für die Oberflächengewässer verfolgt wird. Wie bereits beschreiben, wurde eine qualifizierte Stichprobe von den 48 Spurenstoffen oberhalb sowie unterhalb des Kläranlagenablaufes entnommen und analysiert.

Die Analyse oberhalb der Einleitstelle der Kläranlage ergab sich für die Stoffe Gabapentin (Antiepileptikum), Estron (Östrogen), Methylbenzotriazol (Korrosionsschutzmittel), Benzotriazol (Korrosionsschutzmittel), Terbutryn (Herbizid) sowie AMPA (Herbizid) eine erhöhte Konzentration im Glasebach. Die hohen gemessenen Konzentrationen könnten durch eine an der südlichen Stadtgrenze am Glasebach gelegene Kläranlage begründet werden sowie diffuse Einträge aus der Landwirtschaft.

In Tabelle 5 wird die zuvor beschriebenen hohen Konzentrationen oberhalb im Glasebach verdeutlicht. Ferner sind die Spurenstoffkonzentration unterhalb der Einleitstelle der Kläranlage sowie die Grenzwerte nach Oberflächengewässerverordnung in der Tabelle aufgeführt.

Stoff/Parameter	Einheit	Glasebach oberhalb	Glasebach unterhalb	Grenzwerte nach OGeV
		quali. Stichprobe	quali. Stichprobe	
Arzneimittelwirkstoffe				
Chlortetracyclin	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Ciprofloxacin	µg/l	< 0,01	0,012	0,036
Clarithromycin	µg/l	< 0,03	0,14	0,1
Dehydratoerythromycin	µg/l	< 0,03	0,089	-
Doxicyclin	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Erythromycin	µg/l	< 0,03	0,035	-
Oxytetracyclin	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Roxithromycin	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Sulfamethoxazol	µg/l	< 0,03	0,49	0,15
Tetracyclin	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Trimethoprim	µg/l	< 0,03	0,097	-
Carbamazepin	µg/l	< 0,03	0,65	0,5
Gabapentin	µg/l	0,26	3,8	0,1
N4-Acetylsulfamethoxazol	µg/l	< 0,05	170	-
Atenolol	µg/l	< 0,05	< 0,05	0,1
Metoprolol	µg/l	< 0,03	1	7,3
Propranolol	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Sotalol	µg/l	< 0,03	0,35	0,1
Guanylharnstoff	µg/l	< 0,03	1,5	-
Bezafibrat	µg/l	< 0,03	0,048	0,1
Clofibrinsäure	µg/l	< 0,03	< 0,03	5
Diazepam	µg/l	< 0,03	< 0,03	0,1
Oxazepam	µg/l	< 0,05	0,16	0,1
Acetylsalicylsäure	µg/l	< 0,05	< 0,05	-
Diclofenac	µg/l	< 0,01	2,3	0,05
Ibuprofen	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,01
Ketoprofen	µg/l	< 0,03	< 0,03	-
Naproxen	µg/l	< 0,05	< 0,05	0,1
Östrogene				
17-alpha-Ethinylestradiol	µg/l	< 0,05	< 0,05	0,00004
17-beta-Estradiol	µg/l	< 0,01	< 0,01	0,0004
Estron	µg/l	300	0,4	0,1
synth. Süßstoffe				
Acesulfam	µg/l	< 0,05	0,81	0,1
Saccharin	µg/l	< 0,03	0,036	-
Korrosionsschutzmittel				
Methylbenzotriazol	µg/l	32	1,2	10
Benzotriazol	µg/l	46	2,7	10
Biozide/PSM-Wirkstoffe				
Isoproturon	µg/l	< 0,03	< 0,03	0,3
Mecoprop	µg/l	< 0,03	0,17	0,1
Terbutryn	µg/l	20	0,026	0,065
AMPA	µg/l	1300	1,6	0,1
Glyphosat	µg/l	< 500	0,53	0,1
Röntgenkontrastmittel				
Amidotrizoesäure	µg/l	< 0,05	5,3	0,1
Iomeprol	µg/l	< 0,05	4	0,1
Iopamidol	µg/l	< 0,03	0,071	0,1
Iopromid	µg/l	< 0,03	0,26	0,1

Tabelle 5: Spurestoffanalytik oberhalb und unterhalb des Kläranlagen-ablaufes der Kläranlage Erwitte-Nord

Nach dem Einleiten der Kläranlage in den Glasebach wurden erhöhte Spurenstoffkonzentrationen in der Probe im Vorfluter festgestellt. In Tabelle 5 ist zu erkennen, dass nur eine Handvoll der Spurenstoffe im Ablauf der Kläranlage des Grenzwertes der OGeWV erreichen bzw. unterschreiten. Daraus kann geschlossen werden, dass die Kläranlage der Haupteintragspfad an Spurenstoffe in den Glasebach darstellt.

Bei vielen Spurenstoffen ist die Auswirkung auf die Flora und Fauna noch nicht erforscht, sodass eine qualitative Bewertung erschwert wird. Triebkorn (2012) kam im Rahmen ihrer Forschung zu dem Ergebnis, dass Diclofenac ab einer Dosis von 0,1 µg/l fischtoxisch wirkt. Dies wird durch den verschärften Grenzwert der OGeWV von 0,05 µg/l bestätigt. Unterhalb der Kläranlage wurde eine Konzentration von 2,3 µg/l gemessen.

Das Östrogen Estron wird oberhalb der Kläranlage mit einer Konzentration von 300 µg/l gemessen, wohingegen eine Konzentration unterhalb der Einleitstelle von 0,4 µg/l lag. Diese hohe Differenz kann durch die Probenahmeart begründet werden.

15 der 48 analysierten Spurenstoffe wurden in Konzentrationen nahe der Bestimmungsgrenze gemessen. Dies bedeutet, dass 33 Stoffe in hohen Konzentrationen nach dem Einleiten der Kläranlage im Glasebach analysiert wurden. Aufgrund dieser hohen Anzahl ist eine Reduzierung von Spurenstoffen innerhalb des Klärprozesses als relevant zu bewerten.

3.4 Auswirkungen auf das Gewässer

Die Messungen sowie Bewertung der Spurenstoffe im Gewässer und Abwasser wird der Einfluss der Kläranlage auf den Vorfluter nachfolgend betrachtet. Das gereinigte Abwasser wird in den Glasebach eingeleitet. Aus den folgenden Abbildung 4 und Abbildung 5 wird ersichtlich, dass der betrachtete Gewässerabschnitt des Glasebaches in einem nicht guten chemischen Zustand und ein unbefriedigendes ökologisches Potential aufweist bzw. sich in einem unbefriedigenden ökologischen Zustand befindet.

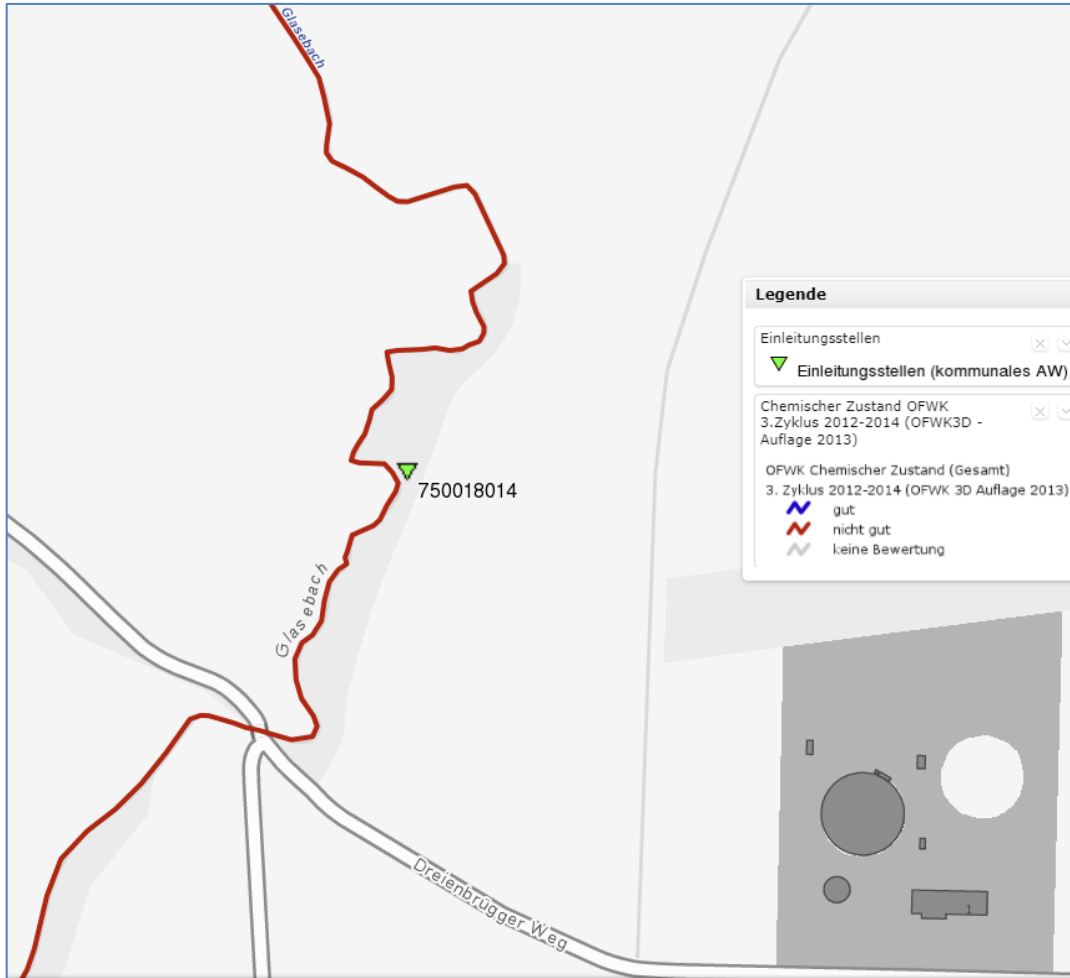


Abbildung 4: Bewertung des chemischen Zustandes (Quelle: ELWAS-Web, 2017)

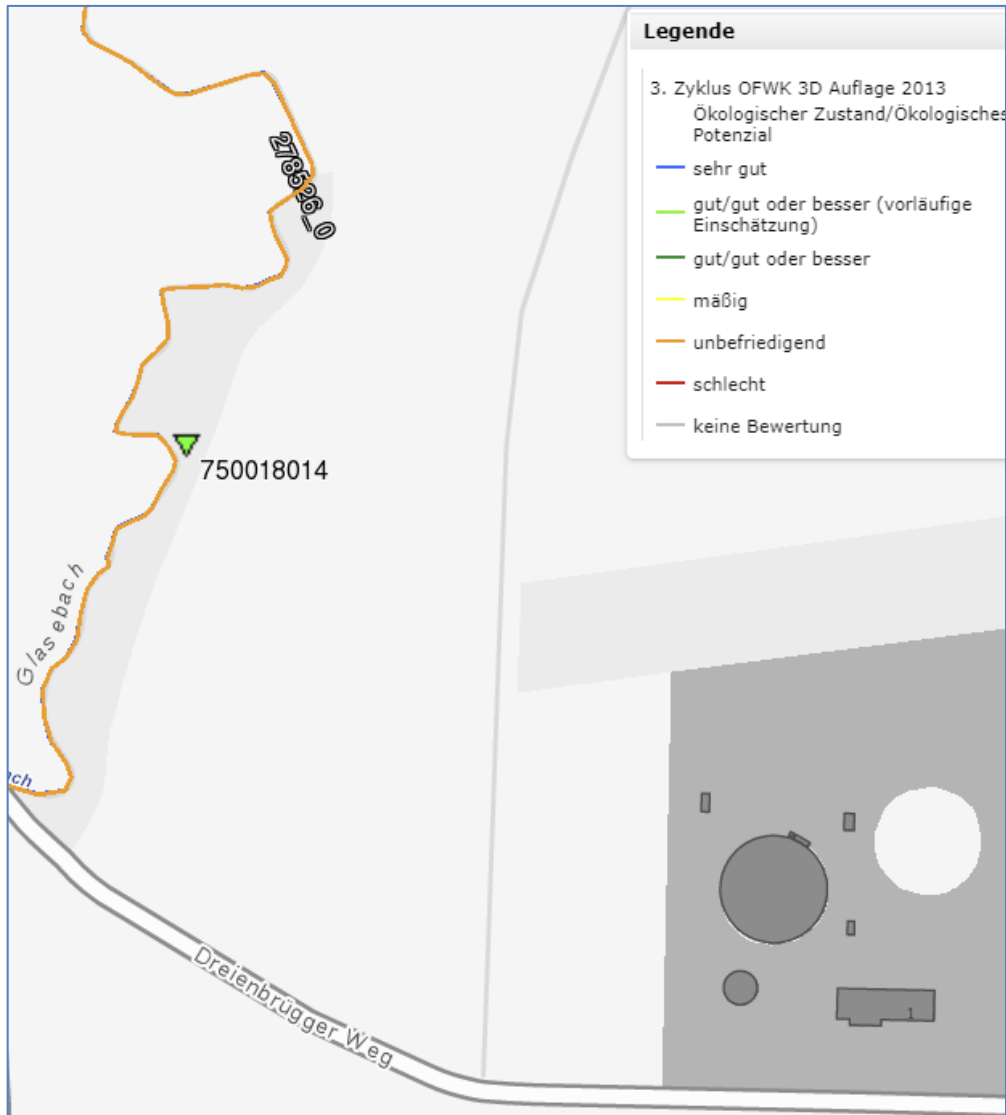


Abbildung 5: Bewertung des ökologischen Zustandes (Quelle: ELWAS-Web, 2017)

3.4.1 Beeinflussung des Gewässers anhand einer ökologischen Betrachtung

Das PEC- zu PNEC-Verhältnis gibt eine Einschätzung der ökotoxikologischen Auswirkung der einzelnen Stoffe des Kläranlagenablaufes auf den Vorfluter wieder. Bei einem PEC/PNEC- Wert < 1 wird laut Umweltbundesamt davon ausgegangen, dass der betrachtete Stoffe keine schädlichen Auswirkungen auf den Vorfluter hat. Sobald das Verhältnis > 1 ist, werden Maßnahmen zur Minimierung des Risikos notwendig. Mit Hilfe des PEC-Wertes (predicted environmental concentration) wird die zu erwartende Konzentration eines Stoffes im Gewässer beschrieben. Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wird der PEC-Wert pauschal über die folgende Berechnung betrachtet:

$$PEC = \frac{\text{Fracht Ablauf KA} + \text{Fracht Gewässer oberhalb KA}}{MNQ} [-]$$

Die Frachten im Gewässer werden auf Grundlage des mittleren Abflusses (MQ) ermittelt. Dieser wurde für das Jahr 2014 auf ELWAS-Web abgelesen.

MQ Glasebach oberhalb Kläranlagenablauf: $0,388 \text{ m}^3/\text{s}$

Die Frachtenermittlung der Kläranlage Erwitte-Nord erfolgt über die, im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie erstellte, Wassermengenauswertung für das Jahr 2014. Die ermittelte Jahresabwassermenge der Kläranlage beträgt $1.890.335 \text{ m}^3/\text{a}$

Q_a Ablauf KA Erwitte-Nord: $1.890.335 \text{ m}^3/\text{a} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s}$

Der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) wurde durch ELWAS-Web mit $0,033 \text{ m}^3/\text{s}$ angegeben.

3.4.2 IST-Zustand

In der nachfolgenden Tabelle ist zu erkennen, dass zahlreiche eingeleitete Stoffe aufgrund ihrer Messwerte eine Verschlechterung des Gewässers bewirken. Für diese Parameter wurde das PEC/PNEC-Verhältnis abgeschätzt.

Stoff/Parameter	Fracht Ablauf KA	Fracht oberhalb Glasebach	PEC	PNEC	PEC/PNEC	
	[kg/a]	[kg/a]	[ng/l]	[ng/l]	[-]	
Arzneimittelwirkstoffe						
Ciprofloxacin	0,0	0,01	41	n.a		
Clarithromycin	0,2	0,03	249	150	1,7	Schlecht
Dehydratoerythromycin	0,2	0,03	231	n.a		
Erythromycin	0,1	0,03	149	20	7,5	Schlecht
Sulfamethoxazol	1	0,03	867	150	5,8	Schlecht
Trimethoprim	0,2	0,03	249	100	2,5	Schlecht
Carbamazepin	1	0,03	1394	500	2,8	Schlecht
Gabapentin	11	0,3	10444	10.000	1,0	Schlecht
N4-Acetylsulfamethoxazol	0,4	0,1	452	n.a		
Atenolol	0,1	0,1	165	100	1,6	Schlecht
Metoprolol	2	0,03	2211	100	22,1	Schlecht
Sotalol	1	0,03	867	10.000	0,1	Gut
Guanylharnstoff	4	0,03	3483	100	34,8	Schlecht
Bezafibrat	0,2	0,03	249	100	2,5	Schlecht
Oxazepam	0,3	0,1	343	100	3,4	Schlecht
Diclofenac	6	0,01	5460	100	54,6	Schlecht
Naproxen	0,1	0,1	185	100	1,85	Schlecht
Östrogene						
17-beta-Estradiol	0,0004	0,1	105	0,40	262,5	Schlecht
Estron	0,0004	0,3	314	3,60	87,3	Schlecht
synth. Süßstoffe						
Acesulfam	2	0,1	2232	n.a		
Saccharin	0,1	0,03	144	10000	0,01	Gut
Korrosionsschutzmittel						
Methylbenzotriazol	3	0,03	2576	10000	0,26	Gut
Benzotriazol	6	0,1	5861	30.000	0,20	Gut
Biozide/PSM-Wirkstoffe						
Mecoprop	1	0,03	613	n.a		
Terbutryn	0,05	0,02	65	2,40	26,89	Schlecht
AMPA	2	1,4	3122	80.000	0,04	Gut
Glyphosat	1	0,5	1341	28.000	0,05	Gut
Röntgenkontrastmittel						
Amidotrizoesäure	12	0,1	12041	100	120,41	Schlecht
Iomeprol	6	0,1	5502	100	55,02	Schlecht
Iopamidol	0,2	0,03	209	100	2,09	Schlecht
Iopromid	1	0,03	849	100	8,49	Schlecht

Tabelle 6: Abschätzung PEC/PNEC-Verhältnisse

Aus Tabelle 6 ist zu erkennen, dass lediglich die Stoffe Sotalol, Saccharin, Methylbenzotriazol, Benzotriazol, AMPA sowie Glyphosat kein Risiko für den Vorfluter darstellen. Alle anderen Stoffe sind ein toxikologisches Risiko für die Umwelt.

3.4.3 Weitergehende Spurenstoffelimination

Wird beispielsweise für die Stoffe Clarithromycin, Sulfamethoxazol, Carbamazepin, Bezafibrat, Diclofenac, Naproxen, Terbutryn sowie Iopamidol eine weitergehende Spurenstoffelimination im großtechnischen Maßstab errichtet, so wird ein durchschnittlicher Eliminationsgrad von 80 % für die zuvor aufgelisteten Stoffe mit Hilfe der 4. Reinigungsstufe angenommen. In der Regel erfolgt eine 25 % Elimination der Spurenstoffe im konventionellen Klärprozess. Wird diese

Vorreinigungsleistung bei der Abschätzung des PEC/PNEC-Verhältnisses angenommen, so ist von einer zusätzlichen Eliminationsleistung bezogen auf den Kläranlagenablauf von 75 % auszugehen. Unter Berücksichtigung der Randbedingungen ergeben sich folgende Ergebnisse:

Stoff/Parameter	Fracht Ablauf KA	Fracht oberhalb Glasebach	PEC	PNEC	PEC/PNEC	
	[kg/a]	[kg/a]	[ng/l]	[ng/l]	[-]	
Arzneimittelwirkstoffe						
Clarithromycin	0,1	0,03	86	150	0,6	Gut
Sulfamethoxazol	0,2	0,03	240	150	1,6	Schlecht
Carbamazepin	0,4	0,03	372	500	0,7	Gut
Bezafibrat	0,1	0,03	86	100	0,9	Gut
Diclofenac	1,4	0,01	1373	100	13,7	Schlecht
Naproxen	0,03	0,1	85	100	0,9	Gut
Biozide/PSM-Wirkstoffe						
Terbutryn	0,01	0,02	32	2,40	13,3	Schlecht
Röntgenkontrastmittel						
Iopamidol	0,05	0,03	76	100	0,8	Gut

Tabelle 7: Abschätzung der PEC/PNEC-Werte nach Errichtung eines Verfahrens zur weitergehenden Spurenstoffelimination

In Tabelle 7 wird deutlich, dass durch die weitergehende Spurenstoffelimination ein Großteil der ökotoxikologischen Auswirkungen auf das Gewässer verbessert werden können. Jedoch ist in der Tabelle auch zu erkennen, dass im Vorfluter das ökotoxikologische Risiko mit der weitergehenden Spurenstoffelimination nur reduziert und nicht eliminiert werden kann.

4 PLANUNGSKONZEPTE ZUR SPURENSTOFFELIMINATION

Im Folgenden wird unter Berücksichtigung der vorhandenen baulichen und technischen Randbedingungen die für die Kläranlage Erwitte-Nord möglichen Varianten untersucht. Die verfahrenstechnische Umsetzung der Spurenstoffelimination wird durch das Verfahren der Ozonung sowie der granulierten Aktivkohle gewährleistet.

- Variante 1: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett
- Variante 2: Ozonung mit nachgeschalteter Filtration
- Variante 3: Ozonung mit nachgeschalteten DynaSand-Filtern
- Variante 4: granuliert Aktivkohle (GAK) in Behälterbauweise
- Variante 5: granuliert Aktivkohle (GAK) in DynaSand-Filtern

Die klärtechnische Bemessung zu den einzelnen Varianten ist in den Anlagen beigefügt.

4.1 Standort

Auf dem Gelände der Kläranlage Erwitte-Nord ergeben sich zwei Standorte für die Errichtung der 4. Reinigungsstufe. In der folgenden Abbildung sind diese dargestellt.



Abbildung 6: Standorte zur Errichtung der 4. Reinigungsstufe auf der KA Erwitte-Nord

Der Standort B wurde als Ausbaufäche für ein drittes Nachklärbecken freigehalten. Ein weiterer Nachteil ist die Rohrleitungsführung. Diese müsste bei der Wahl des Standortes B geändert und umverlegt werden.

Die bautechnische Umsetzung als auch die Rohrleitungsführung lassen sich am Standort A einfacher realisieren. Daraus resultiert die Wahl des Standortes A zur Betrachtung der möglichen Varianten der Spurenstoffelimination.

4.2 Ozonung

4.2.1 Variante 1.1: Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett

In der Variante 1.1 wird die Einbindung einer Ozonung mit biologischer Nachbehandlung dargestellt (siehe Abbildung 7). Die dargestellte biologische Nachbehandlung (Filter) stellt in Variante 1.1 das Wirbelbett dar.

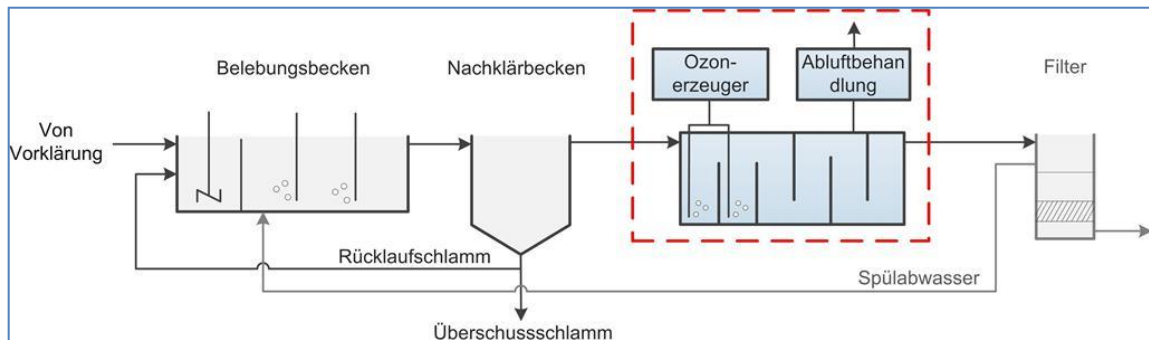


Abbildung 7: Einbindung einer Ozonung in den Kläranlagenprozess (KomS-BW, 2017)

Die Einbindung der Ozonung erfolgt verfahrenstechnisch als letzter Schritt in der Kläranlage und wird somit der biologischen Reinigung nachgeschaltet. Für die Elimination von Spurenstoffen mittels Ozon sind ein Ozonerzeuger, ein Eintragungssystem sowie ein Restozonvernichter notwendig.

Bei der Variante 1.1 ist eine Ozonung des Ablaufes der Nachklärung vorgesehen. Diese Variante wird baulich an dem Standort A errichtet.

Die Auslegungswassermenge zur Bemessung der Ozonanlage wird analog zu den anderen Varianten mit 81 l/s gewählt. Im Anschluss an das Durchfließen der Ozonierungsreaktoren wird der gereinigte Abwasserteilstrom über eine Rohrleitung dem bestehenden Vorschacht des Messbauwerks zugeleitet und gelangt in den Ablauf.

Die Auslegung der Ozonerzeugung erfolgt auf eine maximale Dosierung von 10,0 mg/l bei der Bemessungswassermenge von 81 l/s. Hieraus ergibt sich eine benötigte, maximale Dosiermenge von 2,92 kg/h. Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einer mittleren Dosierrate von 5 mg O₃/l bei einem mittleren Abwasserzufluss zur Ozonanlage von 57 l/s ausgegangen. Hiermit ergibt sich eine mittlere Ozondosierung von 1,03 kg/h.

Die Ozonerzeugung nach dem Prinzip der stillen, elektrischen Entladung benötigt zur Herstellung von 1 kg Ozon ca. die zehnfache Menge Sauerstoff. Somit werden

im Maximum ca. 29 kg/h Sauerstoff benötigt. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt sich die durchschnittlich benötigte Sauerstoffmenge zu 10,3 kg/h. Die Aufstellung des Ozonerzeugers soll auf der Freifläche bei der Ozonanlage erfolgen und wird in einem Container ausgestellt. Der Tank für den Flüssigsauerstoff inklusive des zugehörigen Verdampfers wird neben der EMSR-Halle errichtet. Die Fläche rund um den Flüssigsauerstofftank muss entsprechend befestigt werden.

Für den Ozoneintrag kommen prinzipiell zwei Verfahrensweisen in Frage. Zum einen ist das ein Eintrag des ozonhaltigen Gases über Diffusoren direkt in den Ozonreaktor. Alternativ dazu kann ein Teilstrom aus dem Reaktor mit einer Pumpe abgezogen werden, der über einen Mischinjektor das ozonreiche Luftozongemisch ansaugt und anschließend in den Ozonreaktor eingetragen wird. Nach neuesten Erkenntnissen liefern beide Systeme bei einem vergleichbaren Energieverbrauch vergleichbare Eliminationsraten (HERBST ET AL. 2011). Für die Ausführung auf der Kläranlage Erwitte-Nord wird der Ozoneintrag über ein Diffusorsystem vorgesehen.

Gewählt wird eine Aufenthaltszeit im Ozonungsreaktor von insgesamt 15 Minuten. Dabei wird das letzte Viertel der Ozonungsreaktoren jedoch durch eine Leitwand vom Rest des Reaktors getrennt und als Ausgasungszone definiert, sodass eine Aufenthaltszeit im Reaktor von 20 Minuten verbleibt. Der Ozonungsreaktor wird einstraßig ausgeführt. Die lichten Abmessungen der Straße inklusive Ausgasungszone betragen 7,4 x 2,4 x 5,5 m.

Strömungstechnische Untersuchungen in anderen Vorhaben haben gezeigt, dass die Ausführung des Ozonreaktors als Schlaufenreaktor nicht erforderlich ist (HERBST ET AL. 2011). Auf entsprechende Einbauten kann aus diesem Grund verzichtet werden. Das Gesamtvolumen der Reaktorstraße inklusive Ausgasungszone ergibt sich zu 98 m³, von dem 75 % als Reaktionsraum und 25 % als Ausgasungszone genutzt wird. Die Anordnung der neu geplanten Anlagenteile ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

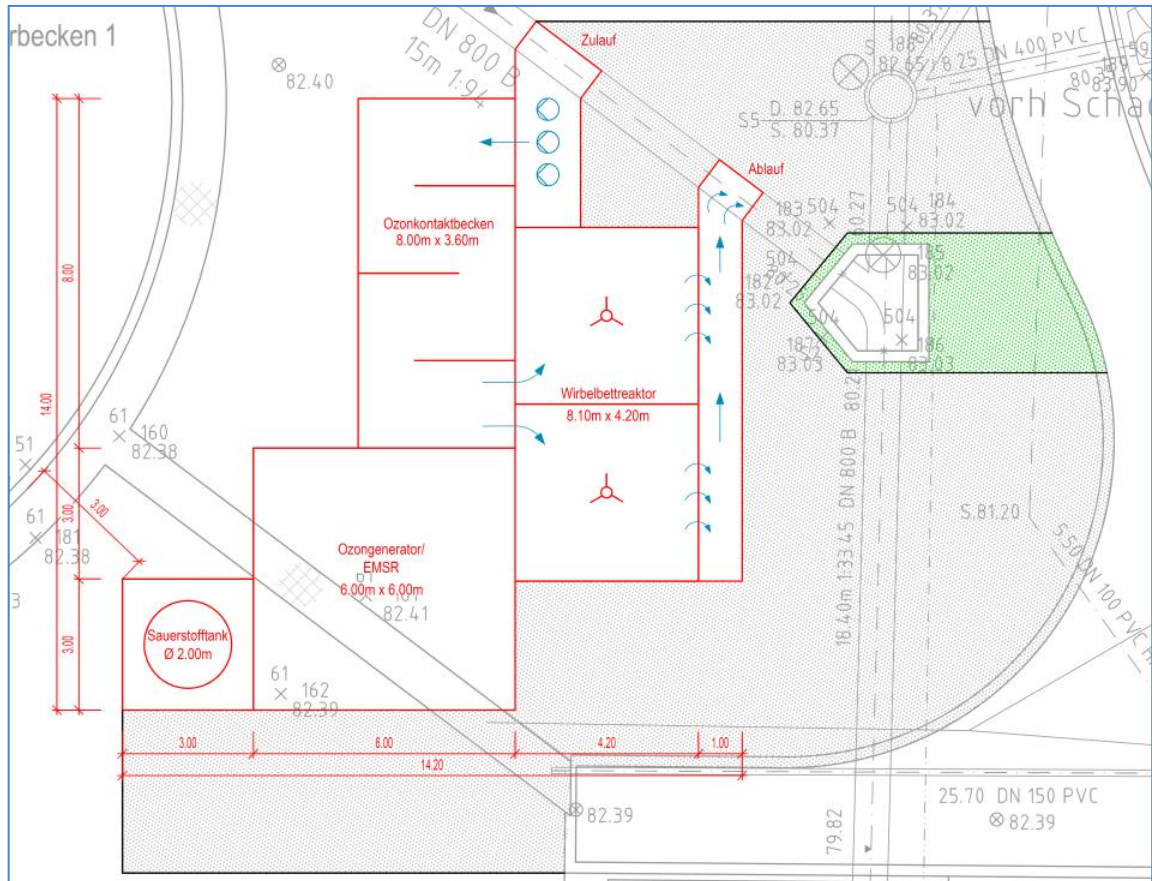


Abbildung 8: Variante 1.1 Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett am Standort A

Für eine optimale Regelung des Ozoneintrags erfolgen im Zulauf der Anlage die Messung der Wassermenge und DOC-Konzentration online. Um eine Überdosierung zu vermeiden und eine Bilanzierung des Ozoneintrags vornehmen zu können, werden nach dem Ozonerzeuger in der Abluft der Reaktionsbehälter und in der Wasserphase im Ablauf des Ausgasungsbehälters gemessen. Aus Gründen der Arbeitssicherheit werden im Raum zur Aufstellung des Ozonerzeugers die Ozon- und Sauerstoffkonzentrationen in der Raumluft gemessen. Bei Bedarf erfolgt eine optisch akustische Warnung bzw. eine Abschaltung der Anlagen.

Nach dem Auslauf aus dem Reaktionsbecken werden zwei Wirbelbettreaktoren nachgeschaltet, die den Rückhalt von z. B. Transformationsprodukten gewähren soll. Die Wirbelbettanlage wird direkt an das Reaktionsbecken angeschlossen. Die Wirbelbettanlage ist mit Aufwuchskörpern gefüllt, auf denen sich ein Biofilm bilden soll. Um eine vollständige Durchmischung zu gewährleisten, muss der Kontakt-raum gerührt und gelegentlich belüftet werden.

Nach dem Durchströmen der Wirbelbettreaktoren wird das Filtrat über eine Rinne in den bestehenden Ablaufkanal geleitet. Dort wird es mit dem Rohwasservermischt und zum Auslaufschacht geleitet.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden nachfolgend kurz zusammengefasst:

- Aufenthaltszeit im Reaktionsbehälter (inkl. Ausgasungszone) 15 + 5 = 20 Min
- Ozondosierung bezogen auf QBem 2 bis 10 mg O₃/l
- Sauerstoffbedarf 10 g O₂/g O₃

Bei der Behandlung des Abwassers mit Ozon zur Oxidation von Spurenstoffen entstehen Metaboliten und Transformationsprodukte, deren öko- und humantoxikologische Wirkung bisher noch nicht ausreichend erforscht worden sind. Die zuvor genannten Forschungsprojekte befassen sich zurzeit mit dieser Fragestellung, um bei großtechnischer Anwendung der Ozonung zur Spurenstoffelimination negative Wechselwirkungen mit der Umwelt weitestgehend auszuschließen. Nach der bisherigen Erfahrung des Planers ist eine Nachbehandlung des gereinigten ozonisierten Abwassers über eine Sandfiltration hinaus i.d.R. nicht erforderlich.

Im Rahmen dieser Studie werden in nachfolgendem Kapitel zwei anerkannte Verfahren zur Nachbehandlung des Ablaufes aus der Ozonung vorgeschlagen. Diese sind als Option gegenüber der Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbetтанlage zu sehen. Die entstehenden Transformationsprodukte werden grundsätzlich mit Hilfe von allen drei Nachbehandlungsverfahren behandelt und zurückgehalten.

4.2.2 Variante 1.2: Ozonung mit nachgeschalteter Filtration

Die verfahrenstechnische Ausstattung der Ozonung sowie der Standort A dieser Variante sind analog zu den der Variante 1.1.

Lediglich die biologische Nachbehandlung ist in der Variante 1.2 unterschiedlich zur Variante 1.1. Für die Variante 1.2 wird eine Sandfiltration vorgesehen. Zusätzlich zu der baulichen und technischen Ausstattung der Ozonung werden Filterkammern, ein Filtratspeicher, Spülwasserpumpen, Spülluftgebläse Spülabwasserspeicher als auch eine Spülabwasserleitung benötigt.

Die drei Filterkammern werden über eine Verteilerrinne von oben beschickt. Nach dem abwärts durchströmen des Filters, wird das Filtrat dem Filtratspeicher zugeleitet.

Der Filtratspeicher ist notwendig, da die Sandfiltration rückgespült werden muss. Diese Spülung erfolgt mit Filtrat aus dem Speicher. Aufgrund dessen wird der Filtratspeicher mit einem Speichervolumen von zwei Filterzellen dimensioniert.

Die EMSR-Technik sowie der Ozongenerator werden in einer Halle geplant. Von dieser Halle ist der Filterkeller angeschlossen. Im Filterkeller werden die Spülwasserpumpen als auch das Spülluftgebläse aufgestellt.

Das nach der Spülung anfallende Spülabwasser wird in der Spülabwasserleitung von der Filtration zum Spülabwasserspeicher geleitet. Der Spülabwasserspeicher wird analog zum Filtratspeicher für die Speicherung von zwei Spülungen dimensioniert. Der Speicher wird dem Rücklaufschlammumpwerk vorgeschaltet, damit die Kläranlage hydraulisch nicht überlastet wird.

4.2.3 Variante 1.3: Ozonung mit nachgeschalteten DynaSand-Filtern

Die verfahrenstechnische Ausstattung der Ozonung sowie der Standort A dieser Variante sind analog zu den der Variante 1.1. Lediglich die biologische Nachbehandlung ist in der Variante 1.3 eine Andere.

Für die Variante 1.3 wird eine Sandfiltration als DynaSand-Filter der Ozonung nachgeschaltet. Das Prinzip der DynaSand-Filter ist eine stetige Selbstreinigung durch Zirkulation des Filtermaterials innerhalb des Filters. Daraus resultiert eine kontinuierliche Spülung des Filters.

Der Spülabwasseranfall bei den DynaSand-Filtern ist konstant gering, deshalb kann auf einen Spülabwasserspeicher verzichtet werden und direkt in das Rücklaufschlammumpwerk eingeleitet werden. Ferner werden keine Spülluftgebläse benötigt. Aufgrund der zu erwartenden Verluste wird das Abwasser in die Filter gepumpt.

4.3 Granulierte Aktivkohle

4.3.1 Variante 2.1: granulierte Aktivkohle (GAK) in Behälterbauweise

In der Variante 2.1 wird die Filtration des Ablaufes der Nachklärung über eine granulierte Aktivkohleschüttung untersucht. Die Aktivkohle wird von dem Abwasser als Festbettreaktor durchströmt. Während des durchströmen adsorbieren die Spurenstoffe an der Aktivkohle.

Die verfahrenstechnische Ausführung der Filtration über granulierte Aktivkohle lässt eine einstufige als auch eine zweistufige Bauweise zu. Da keine bestehende Filtration auf der Kläranlage Erwitte-Nord vorhanden ist, wird eine einstufige Bauweise bevorzugt. Diese wird wie folgt in den Klärprozess eingebunden (siehe Abbildung 9).

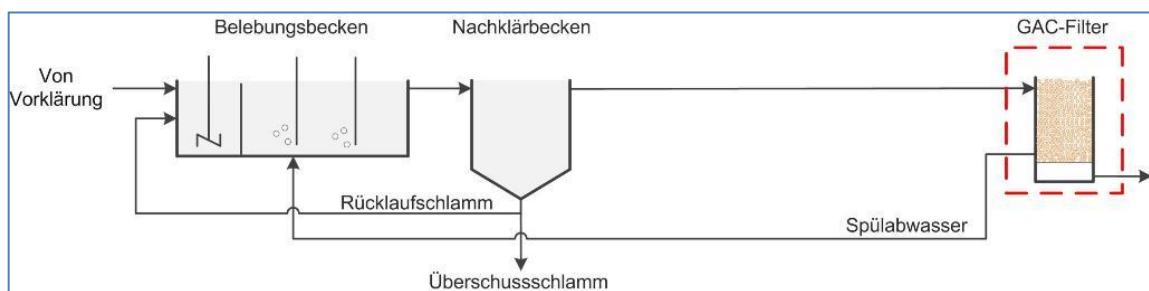


Abbildung 9: Einbindung des granulierten Aktivkohlefilters in den Klärprozess, einstufig (KomS-BW, 2017)

Bei einem einstufigen Verfahren sind insgesamt sechs Adsorber notwendig. Es bestehen zwei Möglichkeiten der Betriebsweise von einstufigen GAK-Adsorbern:

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

Letzteres ist gängige Praxis in vielen Trinkwasseraufbereitungsanlagen mit einstufigen GAK-Adsorbern, da in der Trinkwasseraufbereitung eine große Sicherheit erforderlich ist. In der Abwasserbehandlung ist, insbesondere aufgrund noch nicht vorhandener gesetzlicher Anforderungen, solch eine Sicherheit bisher nicht

erforderlich. Da bei der zweiten Betriebsweise die Standzeiten deutlich kürzer sind und dadurch die Betriebskosten stark ansteigen, wird empfohlen die erste Betriebsweise zu verfolgen. Es besteht jedoch die Möglichkeit diese Variante zu einem späteren Zeitpunkt um eine 2. Stufe zu erweitern, falls gesetzliche Anforderungen dies notwendig machen sollten.

Der Teilstrom für die Behandlung in der GAK-Anlage wird über eine Leitung vom neugebauten Abschlagsbauwerk über drei Pumpen, davon eine als Reserve, zu den GAK-Adsorbern gefördert. Die Druckbehälter werden freistehend oder in einer neu zu errichtenden Halle auf der Freifläche am Standort A aufgestellt.

Der Ablauf erfolgt zurück in den neu errichteten Vorschacht des Ablaufmessbauwerks. Zum Spülen der Adsorber sind zwei Spülwasserpumpen mit einer maximalen Spülwassergeschwindigkeit von 25- 30 m/h und 1 + 1 Spülluftgebläse mit einer maximalen Spülluftgeschwindigkeit von 60 m/h vorgesehen.

Die wesentlichen verfahrenstechnischen Bemessungsgrundlagen werden im Weiteren kurz zusammengefasst:

- Verfahrenstechnik GAK-Filter einstufig
- 1. Stufe 6 Reaktoren mit Ø 3,0 m
- Filterbetthöhe 3,00 m
- Aufenthaltszeit 10 - 30 min

Mess-, Steuer-, Regeltechnik

Wie bereits erwähnt, ist für den Betrieb in Druckreaktoren mit granulierter Aktivkohle in einer einstufigen Ausführung keine Karussellschaltung erforderlich. Eine weitgehende Automatisierung der Betriebs- bzw. evtl. Spülintervalle ist jedoch trotzdem notwendig. Hierfür sind grundsätzlich folgende technischen Einrichtungen zu berücksichtigen:

- Druckmessungen im Zu- und Einlauf der Filter (online)
- Volumenstrom pro Filter (online)
- Start- und Endzeit Filtrationsbetrieb
- Start- und Endzeit Filtrationszyklus bis Spülung
- Spülzeitpunkt und Spülparameter (Art, Dauer, Volumenströme)

- Druck Filterspülphasen

Im Rahmen der weiteren Planung ist auch für den Betrieb eines einstufigen Verfahrens zu entscheiden, welcher Leitparameter für die Ermittlung der Eliminationsleistung der Adsorber besonders geeignet ist.

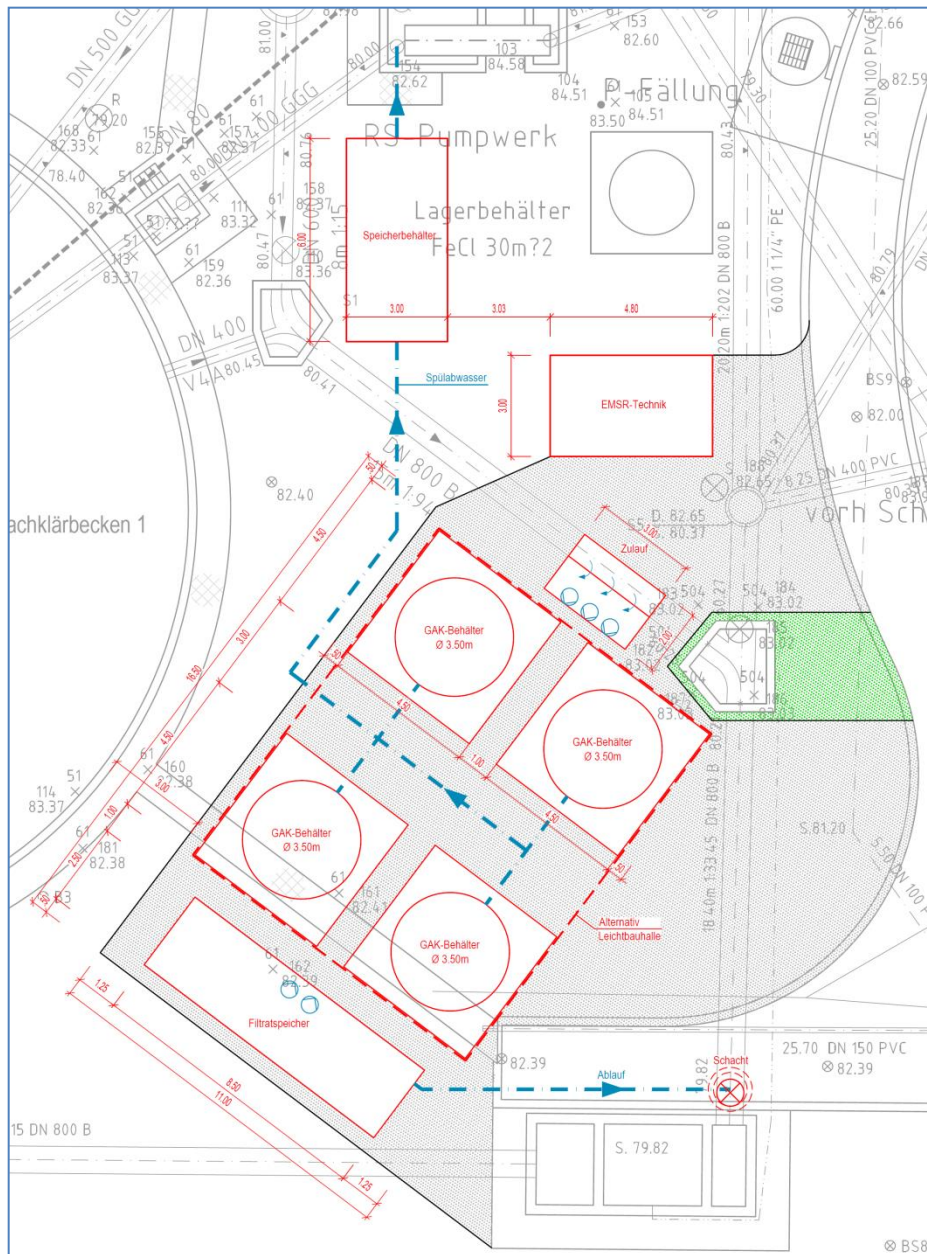


Abbildung 10: Einsatz von granulierter Aktivkohle in Stahlkessel

Betriebliche Aspekte

Die geplante Verfahrenskonzeption einer einstufigen GAK-Filtration weist im Hinblick auf eine weitergehende Entnahme von organischen Mikroschadstoffen

deutlich geringere Betriebssicherheiten auf als ein zweistufiges Verfahren. Es wird jedoch aus Kostengründen empfohlen die Adsorber trotz der Einstufigkeit bis zur kompletten Beladung zu betreiben und erst bei vollständigem Durchbruch das Filtermaterial herauszuholen und durch reaktiviertes Material zu ersetzen. Während des Wechsels des granulierten Aktivkohlematerials fällt der betroffene Filter komplett aus. Weitergehende Untersuchungen zur Feststellung des optimalen granulierten Aktivkohlematerials im Fall weitergehender Planung sind bei dieser Lösungskonzeption ebenfalls von besonderem Interesse.

Aufgrund des Transportes ist der Durchmesser des Filterbehälters eine begrenzende Randbedingung für die Variante 2.1. Die EMSR-Technik wird in einer separaten Halle aufgestellt.

4.3.2 Variante 2.2: granuliert Aktivkohle (GAK) in DynaSand-Filtern

Variante 2.2 stellt die Filtration über GAK in DynaSand-Filtern dar. Die Wahl des Standortes ist, wie in Variante 2.1, der Standort A.

Das Prinzip der GAK in DynaSand-Filtern ist gleich dem des DynaSand-Filters zur Nachbehandlung der Ozonung. Ferner ist die Bemessungswassermenge als auch die EMSR-Technik gegenüber der Variante 2.1 gleich geblieben.

Die Betriebsweise und Standzeit wird durch den kontinuierlichen Spülprozess im DynaSand-Filter maßgeblich beeinflusst. Da die Ausbildung einer Durchbruchskurve in einem DynaSand-Filter nicht möglich ist, werden die Standzeit der Filter und somit auch die Betriebskosten negativ beeinflusst.

Der Zulauf wird über ein neues Abschlagsbauwerk im Kanal sichergestellt. Aus der Vorlage fördern 2 + 1 Zulaufpumpen das Abwasser in die DynaSand-Filter. Nach dem Durchströmen der Filter wird das GAK-Filtrat über das Auslaufbauwerk, welches an dem Abschlagbauwerk grenzt, in Richtung Auslaufmessbauwerk geleitet.

4.4 Auswahl der Vorzugsvarianten

Die zuvor beschriebenen Varianten besitzen Vor- und Nachteile zur Elimination von Spurenstoffen auf der Kläranlage Erwitte-Nord. Für die Kostenschätzung ist es nötig Vorzugsvarianten zu definieren. Die Variante 1.2 (Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett) sowie 2.1 (GAK in Stahlbehältern ohne Maschinenhalle) werden für die Kläranlage als Vorzugsvarianten vorgesehen. Zusätzlich wird für

die Variante 2.1 in der Variante 2.1.2 die Aufstellung der GAK-Filter in einer Maschinerhalle betrachtet.

In Abstimmung mit der Stadt Erwitte wurden wirtschaftliche und betriebliche Gründe zur Auswahl der Vorzugslösung berücksichtigt.

5 KOSTENSCHÄTZUNG

Es wurde eine Wirtschaftlichkeitsanalyse der drei zu untersuchenden Vorzugsvarianten für die Spurenstoffelimination durchgeführt. Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten ermittelt und daraus die Jahreskosten errechnet. Die Ergebnisse werden im Folgenden dargestellt. Die Kostenschätzung ist in Anlage 3 beigefügt. Für die Varianten 2.1 sowie 2.1.2 wurde die Kostenschätzung mit dem ungünstigeren Lastfall von sechs Filtern berechnet.

5.1 Investitionskosten

Basierend auf den klärtechnischen Berechnungen (siehe Anlage 2.1) und den Lageplanskizzen wurden die Investitionskosten für die verschiedenen Lösungsvarianten geschätzt. Hierbei wurden Kosten für Bau-, Maschinen- sowie EMSR-Technik unterschieden. Die Kosten wurden anhand spezifischer Preise, basierend auf aktuellen Submissionsergebnissen sowie aktuellen Einheitspreisen ermittelt. Die Ergebnisse der Investitionskostenschätzung sind in Tabelle 8: Investitionskosten in € der Varianten 1.1 bis 2.1.2 unten zusammengefasst.

Kurztext	Variante 1.1 Teilstrombehandlung mit Ozon und nachgeschaltetem Wirbelbett	Variante 2.1 Teilstrombehandlung mit GAK	Variante 2.1.2 Teilstrombehandlung mit GAK in Maschinenhalle
Bau	570.810,01	530.616,06	726.937,38
Maschinen	656.180,00	674.179,17	540.566,97
EMSR	306.747,50	301.198,81	316.876,09
Summe netto	1.533.737,51	1.505.994,04	1.584.380,44
19 % MwSt.	<u>291.410,13</u>	<u>286.138,87</u>	<u>301.032,28</u>
Summe brutto	1.825.147,63	1.792.132,90	1.885.412,72
Prozente	102 %	100 %	105 %

Tabelle 8: Investitionskosten in € der Varianten 1.1 bis 2.1.2

Die Investitionskosten für Variante 2.1 – Teilstrombehandlung mit granulierter Aktivkohle sind mit knapp 1,8 Mio. € brutto die Niedrigsten. Die Kosten für die Varianten 1.1 und 2.1.2 liegen zwischen 1,8 und 1,9 Mio. € brutto 2 - 5 % höher. Bei der granulierten Aktivkohle in Stahlkessel nach Variante 2.1 verbleibt noch ein wirtschaftlicher Vorteil von brutto ca. 33.000 € – 94.000 € gegenüber dem Aktivkohleverfahren in einer Maschinenhalle und der Ozonung mit nachgeschaltetem Wirbelbett.

5.2 Betriebskosten

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

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

Nachfolgende Randbedingungen wurden bei der Ermittlung der Betriebskosten zugrunde gelegt.

- Energiekosten 0,191 €/kWh (brutto) = 0,162 €/kWh (netto)
- Facharbeiter 40.000 €/a
- Wartung/Versicherung 1 % bzw. 2,5 % der Investitionskosten

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

Als spezifischer Preis für die granulierten Aktivkohle wurden 1.260 €/t angesetzt. Bei der Berechnung der Investitionskosten wurden für die erste Füllung der granulierten Aktivkohlefilter die Kosten für neue Aktivkohle angesetzt. Die erforderlichen Mengen der GAK wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt. Zur Betriebskostenberechnung wurden die mittleren Dosierraten bzw. mittleren Standzeiten der Aktivkohlefilter angesetzt.

Bei Variante 1.1 wurden Kosten in Höhe von 0,30 €/kg Sauerstoff angesetzt. Dies beinhaltet den Sauerstoff sowie die Tankmiete. Die erforderlichen Sauerstoffmengen wurden in der klärtechnischen Berechnung ermittelt.

In Tabelle 9 sind die Betriebskosten der unterschiedlichen Varianten zusammengefasst.

Kurztext	Variante 1.1 Teilstrombe- handlung Ozon mit nachge- schaltetem Wirbelbett	Variante 2.1 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern ohne Halle	Variante 2.1.2 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern mit Halle
Personal	8.000,00	8.000,00	8.000,00
Energie	33.959,32	16.527,64	16.527,64
Chemikalien	49.579,49	52.290,00	52.290,00
Wartung/ standhaltung In-	20.365,44	20.295,74	19.665,09
Summe netto	111.904,24	97.113,37	96.482,73
19 % MwSt.	<u>21.261,81</u>	<u>18.451,54</u>	<u>18.331,72</u>
Summe brutto	133.166,05	115.564,91	114.814,45
Prozente	116 %	101 %	100 %

Tabelle 9: Betriebskosten in €/a der Varianten 1.1 bis 2.1.2

Die Betriebskosten der Variante 2.1.2 sind mit ca. 114.814,45 €/a am geringsten. Die Betriebskosten der Variante 1.1 liegen mit etwa 133.166,05 €/a um ca. 16 % mit größerem Abstand darüber. Die Variante 2.1 ist mit 115.564,91 €/a lediglich 1 % größer als die Betriebskosten der Variante 2.1.2.

Die Betriebskosten setzen sich im Wesentlichen aus Energiekosten und Kosten für Chemikalien (Sauerstoff, Aktivkohle) zusammen. Während bei den Aktivkohlevarianten (GAK ohne Maschinenhalle/Variante 2.1 und GAK mit Maschinenhalle/Variante 2.1.2) die höheren Kosten bei den Chemikalien auftreten, sind bei Variante 1.1 (Ozonanlage) die Energiekosten für die Ozonerzeugung der wesentliche Kostenfaktor.

5.3 Jahreskosten

Die Jahreskosten wurden unter Berücksichtigung der nachfolgenden Randbedingungen ermittelt.

- Betrachtungszeitraum 20 Jahre
- Nutzungsdauer Bau 20 Jahre
- Nutzungsdauer Maschinenteknik 20 Jahre
- Nutzungsdauer EMSR-Technik 10 Jahre
- kalkulatorischer Zinssatz 3 %

Die Jahreskosten sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Kurztext	Variante 1.1 Teilstrombe- handlung Ozon mit nachge- schaltetem Wirbelbett	Variante 2.1 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern ohne Halle	Variante 2.1.2 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern mit Halle
Jahreskosten netto	230.337,00	213.404,00	218.826,00
19 % MwSt.	<u>43.764,00</u>	<u>40.547,00</u>	<u>41.577,00</u>
Jahreskosten brutto	274.102,00	253.951,00	260.404,00
Prozente	108 %	100 %	103 %

Tabelle 10: Jahreskosten in €/a der Varianten 1.1 bis 2.1.2

Anhand der Jahreskostenberechnung wird deutlich, dass sich die Varianten 1, 2.1 und 2.1.2 in den Kosten nur geringfügig unterscheiden. Sie liegen zwischen 254.000 €/a und 274.000 €/a. Deutlich am günstigsten schneidet die Teilstrombehandlung mit GAK in Stahlbehältern ohne Maschinenhalle mit 253.951 €/a und einem prozentualen Unterschied von 3 - 8 % ab.

5.4 Projektkostenbarwert

Der Projektkostenbarwert wurde nach LAWA ermittelt, unter Berücksichtigung eines Betrachtungszeitraums von 30 Jahren und einem Zinssatz von 3 %

Kurztext	Variante 1.1 Teilstrombe- handlung Ozon mit nachge- schaltetem Wirbelbett	Variante 2.1 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern ohne Halle	Variante 2.1.2 Teilstrombe- handlung GAK in Stahlbehäl- tern mit Halle
Projektkostenbar- wert netto (€)	4.533.073	3.269.331	3.269.082
19 % MwSt.	<u>892.824</u>	<u>621.173</u>	<u>621.126</u>
Projektkostenbar- wert brutto (€)	5.591.897	3.890.504	3.890.207
Prozente	144 %	100 %	100 %

Tabelle 11: Projektkostenbarwert in € der Varianten 1.1 bis 2.2

Die Auswertung der Projektkostenbarwertermittlung ergibt ein ähnliches Ergebnis wie die Jahreskosten, jedoch wird auch noch einmal deutlich das die Variante 2.1 und 2.1.2 mit der Errichtung der GAK-Behälter 44 % günstiger ist als die Ozonvariante.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

Die Stadt Erwitte betreibt die Kläranlage Erwitte-Nord mit einer Ausbaugröße von 16.500 EW. Anlässlich der aktuellen Diskussionen über die Auswirkungen von Spurenstoffen auf die Gewässerökologie und die Möglichkeiten der Elimination dieser Spurenstoffe auf kommunalen Kläranlagen, hat die Stadt Erwitte die Hydro-Ingenieure GmbH beauftragt im Rahmen einer Machbarkeitsstudie die Möglichkeiten des Baus einer Anlage zur Spurenstoffelimination auf der Kläranlage Erwitte-Nord zu untersuchen.

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

- Variante 1.1
Teilstrombehandlung mit Ozon und nachgeschaltetem Wirbelbett
- Variante 2.1
Teilstrombehandlung mit granulierter Aktivkohle in Stahlbehältern ohne Maschinenhalle
- Variante 2.1.2
Teilstrombehandlung mit granulierter Aktivkohle in Stahlbehältern mit Maschinenhalle

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

Ergebnis und Empfehlung:

Im Ergebnis schneiden die Varianten 1: „Teilstrombehandlung mit Ozon und nachgeschaltetem Wirbelbett“ sowie 2: „Teilstrombehandlung mit granulierter Aktivkohle in Stahlbehältern mit/ohne Maschinenhalle“ in etwa gleich gut ab. Den betrieblichen Vorteilen und das einfache Handling des Ozon-Verfahrens stehen die wirtschaftlichen Vorteile und ausreichender Redundanz bei den GAK-Varianten gegenüber. Die hygienisierende Wirkung (Desinfektion) als Nebenerscheinung der Ozonung kann als weiterer Vorteil für das Verfahren gewertet werden.

Damit stehen der Stadt Erwitte zwei machbare und wirtschaftlich interessante Lösungsvorschläge zur Verfügung, die als bedeutender Schritt zur nachhaltigen

Vorsorge bzw. Investitionsstrategie zur Optimierung der Kläranlage bezeichnet werden können.

In diesem Zusammenhang wird empfohlen, eine CFD-Simulation nach der Methode der Strömungsmechanik zur Optimierung der Nachklärbecken und Minimierung des Flockenabtriebs sowie evtl. einen Pilotversuch zur Spurenstoffelimination (Voraussetzung ist die Förderung des Landes NRW) zu berücksichtigen.