



Stadt Ibbenbüren

Kurzbericht:
Machbarkeitsstudie zur weiterführenden
Elimination von Spurenstoffen auf der
KA Püsselbüren



Ruhr-Wasserwirtschafts-
Gesellschaft mbH
Kronprinzenstr. 37
D-45128 Essen

April 2019

Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2.	Datengrundlage	2
2.1	Hydraulische Belastung	2
2.2	Gewässerbelastung	2
3.	Verfahrensfestlegung	3
4.	Variantenbetrachtung	7
4.1	Variante 1: Filtration über GAK-Festbett	7
4.2	Variante 2: Ozonung mit anschließender Passage eines BAK-Festbettes	9
4.3	Variante 3: Adsorption an PAK mit dynamischer Rezirkulation	11
4.4	Variante 4: Nachgeschaltete PAK-Dosierung	13
4.5	Variantenübersicht	16
5.	Variantenbewertung	17
6.	Kosten	18
7.	Zusammenfassung	19

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Belastung von Oberflächengewässern mit anthropogen verursachten Spurenstoffen stellt ein zentrales Thema der fachlichen und politischen Diskussion dar. Inhalt der Diskussion sind die Auswirkungen, Quellen und Bekämpfungsstrategien von Spurenstoffen in Oberflächengewässern. Parallel zu dieser Diskussion schreitet die Entwicklung von Analysemethoden stetig voran. Wasserinhaltsstoffe können somit in immer geringeren Konzentrationsbereichen erfasst werden. Dem Präventionsgedanken folgend, wurden für viele Mikroschadstoffe Orientierungswerte formuliert, die unter anderem durch eine erweiterte Abwasserbehandlung der Kläranlagen eingehalten werden sollen. Um diese Bestrebungen zu unterstützen, fördert das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen entsprechende Machbarkeitsstudien zum Bau und Betrieb von vierten Reinigungsstufen.

In diesem Zusammenhang wurde die Ruhr-Wasserwirtschafts-Gesellschaft mbH (RWG) durch die Stadt Ibbenbüren beauftragt, eine Machbarkeitsstudie für den Bau einer vierten Reinigungsstufe auf der Kläranlage Püsselbüren anzufertigen. Im Rahmen dieser Aufgabenstellung soll anhand einer Variantenuntersuchung ein geeignetes Verfahren ausgewählt werden, um eine verbesserte Retention von Mikroschadstoffen zu erreichen. Gleichzeitig soll das gewählte Verfahren hinsichtlich seiner Wirtschaftlichkeit und seiner Nachhaltigkeit untersucht werden. Das Ergebnis der Machbarkeitsstudie soll der Stadt Ibbenbüren als Entscheidungsgrundlage für eine spätere bauliche Umsetzung einer Anlage zur Spurenstoffelimination dienen.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie werden die folgenden Punkte bearbeitet:

- Auswertung der vorliegenden Konzentrations- und Abflussdaten der Kläranlage;
- Auslegung von vier Verfahrenskombinationen;
- Darstellung (Fließbild, Lageplan), Beschreibung und vergleichende Bewertung der Verfahren;
- Bewertung der Wirtschaftlichkeit anhand der Jahreskosten (Investitions- und Betriebskosten);
- Zusammenfassende Bewertung von Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Anlage zur weiterführenden Elimination von Mikroschadstoffen.

2. Datengrundlage

2.1 Hydraulische Belastung

Die Ermittlung der hydraulischen Belastung der Anlage erfolgte anhand der Ablaufwerte aus den Jahren 2009 bis 2016.

Maximaler Trockenwetterzufluss	312 l/s \approx 26.957 m ³ /d
Maximaler Zufluss	694,4 l/s \approx 2.500 m ³ /h
Jahresabwassermenge (Mittelwert)	5.828.748 m ³ /a

Im Jahr 2015 erhöhte sich der Zufluss zur Kläranlage deutlich. Da die in den Jahren 2015 und 2016 festgestellten Zulaufwerte nach Angaben des Kläranlagenbetreibers auf außergewöhnlich hohe Niederschläge zurückzuführen sind, wurden sie nicht als repräsentativ betrachtet. Als Grundlage für die Auslegung der 4. Reinigungsstufe wurde daher ein Mittelwert aus den vorherigen Jahren herangezogen. Entsprechend der Vorgaben des Leitfadens zur Planung, liegt die ausgewählte Auslegungswassermenge oberhalb der Jahresschmutzwassermenge.

Auslegungswassermenge	4.792.734 m ³ /a
-----------------------	-----------------------------

2.2 Gewässerbelastung

Im Bereich der Kläranlage wird der chemische und gewässerökologische Zustand der Ibbenbürener Aa durch mehrere Faktoren beeinflusst. Zu den Maßgeblichsten zählt hierbei die Einleitung von Sumpfungswässern der RAG oberhalb der Kläranlage. Diese Einleitungen führen zu hohen Salzfrachten und Salzkonzentrationen im Gewässer. Sie verhindern, unabhängig von den Einleitungen der Kläranlage, ein Erreichen des guten ökologischen Zustandes oder des guten ökologischen Potentials im Sinne EU-Wasserrahmenrichtlinie. Die Wirksamkeit einer erweiterten Elimination von Spurenstoffen kann daher nur perspektivisch angenommen werden. Im Hinblick auf die Einleitungen der Kläranlage lässt sich feststellen, dass das Gesamtspektrum der stofflichen Gewässerbelastung dem Erwartungswert einer kommunalen Kläranlage entspricht. Hervorzuheben ist die Belastung durch PFT-haltige Abwässer, die bereits seit mehreren Jahren bekannt ist und einem engmaschigen Monitoring

unterliegt. Im Zuge dieses Monitorings zeigt sich eine positive Entwicklung und somit ein Rückgang der gemessenen Belastung.

Im Hinblick auf die Auswahl einer geeigneten Indikatorsubstanz, ist der Eintragspfad der jeweiligen Einzelstoffe zu beachten. Stoffliche Einträge, die mit Indirekteinleitern assoziiert sind müssen vor ihrer Verdünnung mit weiteren Abwasserströmen einer geeigneten Behandlung zugeführt werden. Eine End-of-pipe-Behandlung an der Kläranlage stellt somit keine geeignete Lösung dar und sorgt für einen unnötigen Einsatz zusätzlicher Ressourcen. Der Fokus ist daher auf Mikroschadstoffe zu richten, die als Emission aus der gesamten Fläche des Einzugsgebietes darstellen. Zu diesen Stoffen zählen vor allem die nicht-verschreibungspflichtigen Humanpharmazeutika. Ihr Eintrag lässt sich kaum beeinflussen und in ihrem Konsum zeichnet sich keine drastische Verringerung ab. Diclofenac wurde daher als Beispiel- und Indikatorsubstanz für die weiteren Betrachtungen ausgewählt.

3. Verfahrensfestlegung

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie wurden die folgenden Verfahren und Verfahrenskombinationen untersucht:

Filtration über GAK-Festbett

Der Ablauf der Nachklärung wird bis zum Erreichen der Dimensionierungsmenge gehoben und auf einen Filter mit einem Festbett aus granulierter Aktivkohle (GAK) gegeben. Es erfolgt eine Adsorption von Mikroschadstoffen an der Aktivkohle und somit eine Verringerung der Konzentration von Mikroschadstoffen im Ablauf der Kläranlage. Mit Überschreiten der Adsorptionskapazität erfolgt ein Filterdurchbruch und somit die Notwendigkeit einer Erneuerung des Filtermaterials.

Ozonung mit anschließender Passage eines BAK-Festbettes

Der Ablauf der Nachklärung wird bis zum Erreichen der Dimensionierungsmenge gehoben und anschließend mit Ozon versetzt. In einem Kontaktbehälter reagiert Ozon mit den Mikroschadstoffen und oxidiert diese. Die Oxidationsprodukte werden im Anschluss in einem Filter mit granulierter und biologisch aktivierter Aktivkohle adsorbiert und zusätzlich durch Mikroorganismen konsumiert.

Adsorption an PAK mit dynamischer Rezirkulation

Zu dem rezirkulierten Teilstrom des Ablaufes der Nachklärung wird in einem Kontaktbecken Pulveraktivkohle (PAK) dosiert. Im Anschluss wird der Teilstrom in den Ablauf des Beckens zur biologischen Phosphorelimination gegeben. Der mit PAK beaufschlagte Teilstrom gelangt auf diesem Weg in das Belebungsbecken und kann mit dem anfallenden Schlamm in der Nachklärung abgezogen werden. Die rezirkulierte Wassermenge wird an die aktuelle Zuflusssituation der Kläranlage angepasst und eine gleichmäßige Belastung der Nachklärung erreicht.

PAK-Dosierung und anschließende Filtration

Der Kläranlagenablauf wird bis zum Erreichen der Dimensionierungsmenge mit pulverisierter Aktivkohle versetzt und in einem Kontaktbecken durchmischt. Die beladene pulverisierte Aktivkohle wird im Anschluss in einem eigenen Absetzbecken zurückgehalten und zum Teil rezirkuliert. Der überschüssige Anteil der PAK wird dem Zulauf der Belebung zugegeben. Um den Rückhalt von abfiltrierbaren Stoffen aus dem PAK-Einsatz zu gewährleisten, wird ein Tuchfilter eingesetzt.

3.1.1 Zwangspunkte und Randbedingungen

Für bauliche Erweiterungen stehen grundsätzlich zwei Flächen auf dem Gelände der Kläranlage zur Verfügung (s. Markierung in Abbildung 1).

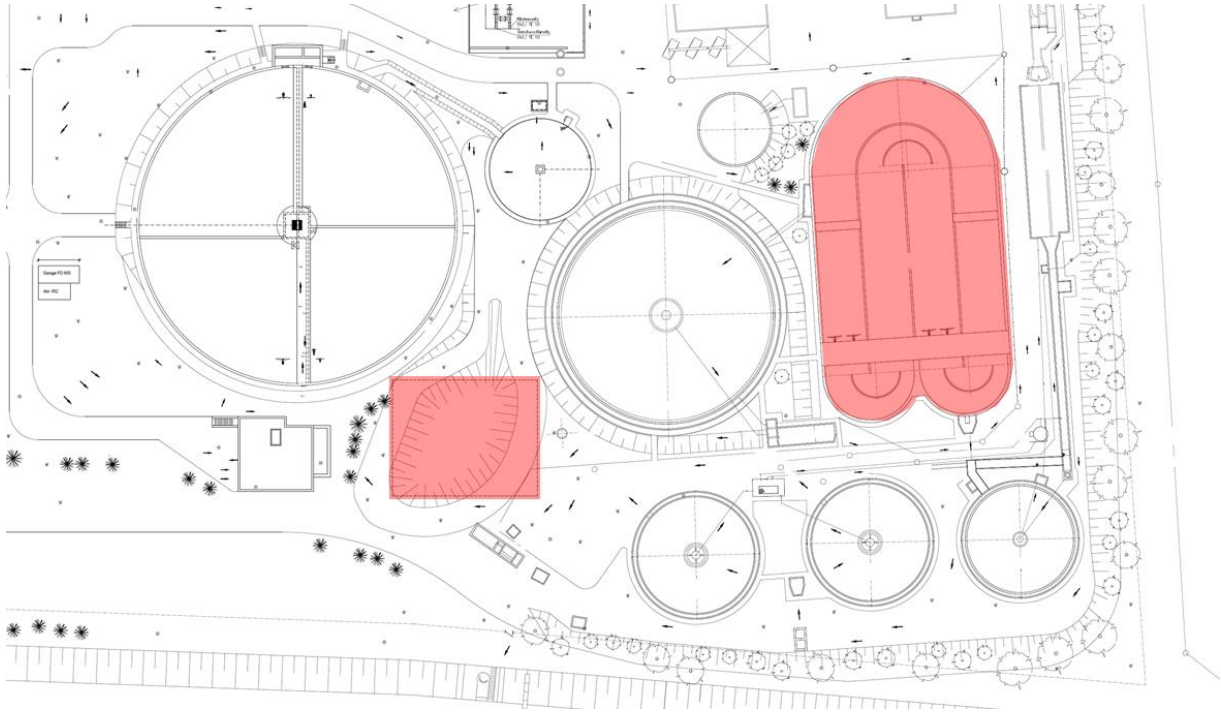


Abbildung 1: Verfügbare Flächen zum Aufbau einer vierten Reinigungsstufe

Hierbei handelt es sich zum einen um eine momentan unbebaute Fläche nahe dem Auslaufbauwerk I, die sich an der südlichen Seite der Anlage befindet.

Des Weiteren steht das ehemalige Belebungsbecken I für Erweiterungsvorhaben zur Verfügung (s. Abbildung 2).



Abbildung 2: Ehemaliges Belebungsbecken I (Quelle: Ruhrverband)

Die Nutzung des Beckens wurde aufgegeben, das Becken jedoch im gefüllten Zustand belassen, da keine Auftriebssicherheit gegeben ist.

Beide Standorte bieten die grundsätzliche Möglichkeit zum Bau einer vierten Reinigungsstufe. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die Nutzung des vorhandenen Bestandes (Belebungsbecken I) klare Vorteile bietet. Die Fläche ist aus verkehrstechnischer Sicht bereits gut angeschlossen und bietet darüber hinaus die Nutzung der vorhandenen Beckensubstanz um Aushub und Baukosten zu reduzieren. Diese Vorteile fallen jedoch nur ins Gewicht, sofern von keiner weiteren Nutzung des Belebungsbeckens I ausgegangen werden kann. Soll dieses Becken zukünftig als Reserve verfügbar bleiben, müssen die erhöhten Kosten für die Anbindung und den Bau auf der südlichen Fläche in Kauf genommen werden. Im Vorgriff auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie ist festzustellen, dass die Flächenwahl nur geringfügige Auswirkungen auf die Betriebskosten hat. Demgegenüber stellt die Nutzung der vorhandenen Substanz jedoch eine deutliche Ersparnis für ein Bauvorhaben dar.

Für die weiteren Planungen wurde daher ein Bau auf der jetzigen Fläche des Belebungsbeckens I angenommen.

4. Variantenbetrachtung

4.1 Variante 1: Filtration über GAK-Festbett

4.1.1 Allgemein

Variante 1 sieht den Einsatz mehrerer offener Rechteckfilter aus Beton vor. Diese können gemeinsam mit den dazugehörigen Becken für Spül- und Rückspülwasser im ungenutzten Belebungsbecken I realisiert werden. Wasser aus dem Ablauf der Kläranlage muss hierzu gehoben werden und zum Belebungsbecken I geleitet werden. Ein Teilstrom von maximal 700 m³/h wird aus dem Ablauf der Nachklärbecken zur Behandlung in der vierten Reinigungsstufe gehoben.

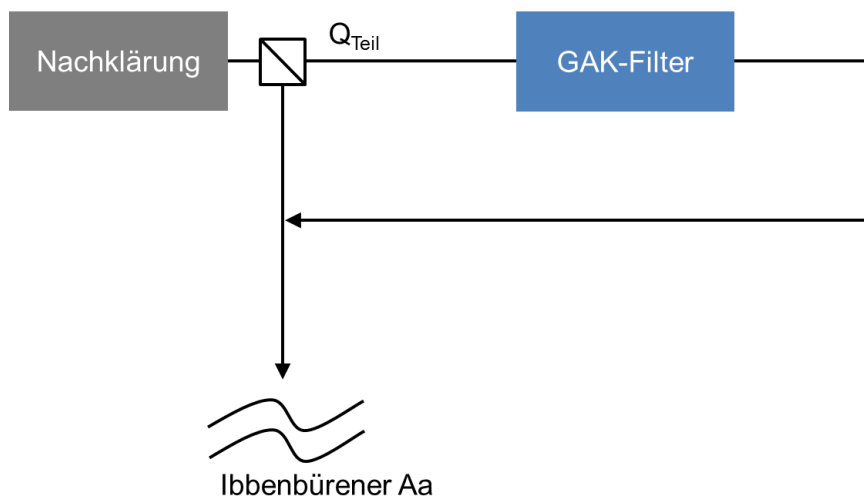


Abbildung 3: Blockschema Variante 1

4.1.2 Durchführung

Pumpwerk

Zum Heben des Wassers wird das Auslaufbauwerk I erweitert und eine Einhausung für die entsprechenden Pumpen errichtet. Das Wasser aus dem Ablauf der Anlage wird hierbei auf das Niveau der Verteilungsrinne der Filterbecken gehoben. Vorgesehen sind 5 baugleiche Pumpen, wovon eine als Reserve dient. Die eingesetzten Pumpen sind drehzahlregelt und gemeinsam in der Lage, 700 m³/h zu heben. Der Anschluss an das Filterbauwerk erfolgt über eine Druckrohrleitung.

Filterbecken

Die Filterblöcke sind abwärtsdurchströmt und werden über ein obenliegendes offenes Gerinne mit Wasser versorgt. Der Zulauf zu den einzelnen Filterblöcken wird hierbei über Schieber geregelt. Durch Schwellen wird der gleichmäßige Zufluss aller Filterblöcke erreicht.

Speicher für Spülwasser und Spülabwasser

Nach der Passage der Filterblöcke füllt das Filtrat zunächst den Vorlagebehälter zur Rückspülung und fällt in das Ablaufgerinne des Filters über. Über dieses gelangt der Filterablauf zurück in das Ablaufbauwerk I. Im Spülwasserspeicher steht somit ein ausreichendes Filtratvolumen zur Verfügung, um Mittels der eingesetzten Pumpen zwei Filtrerrückspülungen durchzuführen.

Das anfallende Rückspülwasser wird über das Verteilungsgerinne gesammelt und in den Spülabwasserspeicher geleitet. Aus diesem wird es dann über einen gedrosselten Ablauf dem Ablauf der Vorklärung zudosiert.

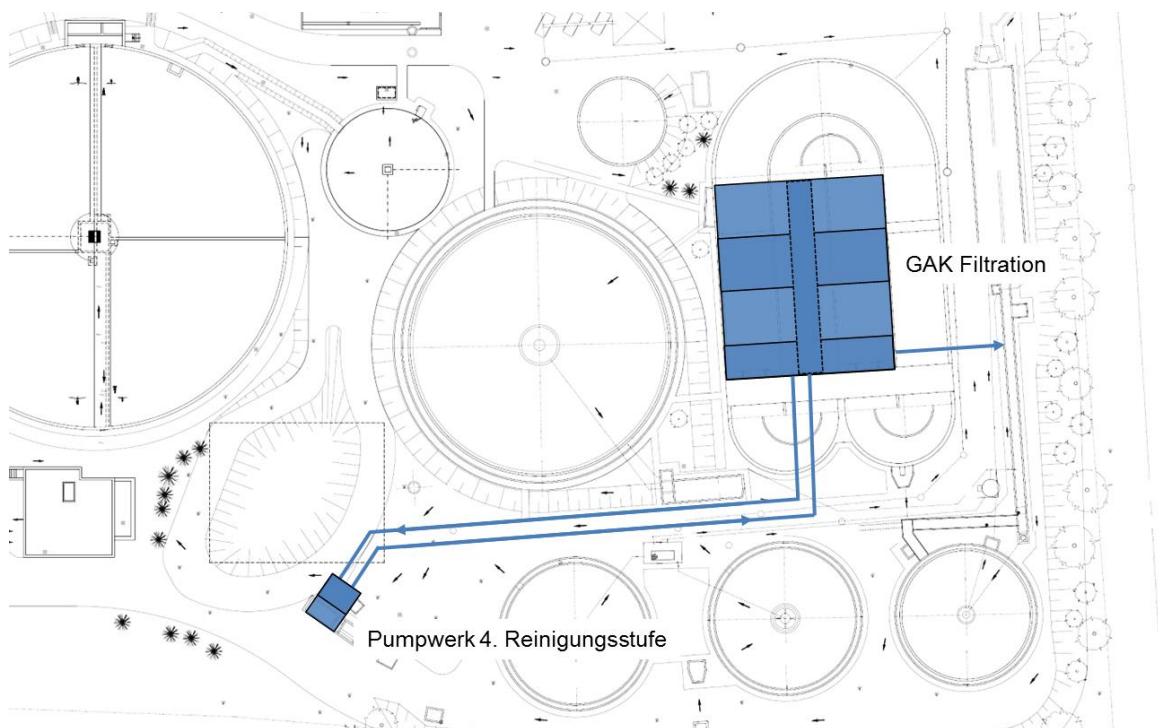


Abbildung 4: Schematische Darstellung der vierten Reinigungsstufe im Lageplanausschnitt (Variante 1)

4.1.3 Zusammenfassung

Zur baulichen Umsetzung von Variante 1 ist eine Veränderung des Ablaufbauwerkes erforderlich, um einen Aufstellungsort für die entsprechenden Pumpen zu schaffen. Der Ablauf der Kläranlage wird an dieser Stelle eingestaut, um die Förderhöhe zu reduzieren. Das Filterbauwerk selbst wird im ehemaligen Belebungsbecken 1 erstellt. Hierbei wird die bestehende Bausubstanz weitestgehend genutzt. Aufgrund der fehlenden Auftriebssicherheit wird der übrige Teil des Beckens verfüllt.

4.2 Variante 2: Ozonung mit anschließender Passage eines BAK-Festbettes

4.2.1 Allgemein

Im Gegensatz zur bereits beschriebenen Adsorption und Rückhalt an einem Filterbett aus granulierter Aktivkohle, wird in dieser Variante eine deutlich höhere Standzeit der eingesetzten Aktivkohle erwartet. Hierzu wird auch hier ein Teil des Ablaufes der Kläranlage über ein Pumpwerk gehoben, vor der Filtration jedoch mit Ozon versetzt. Durch die Zugabe von Ozon wird eine Oxidation von Wasserinhaltsstoffen erreicht. Durch diesen Schritt werden organische Bestandteile, die zuvor nicht durch Mikroorganismen abgebaut werden konnten, biologisch verfügbar. Die nötigen Mikroorganismen sammeln und vermehren sich auf den Oberflächen der granulierten Aktivkohle, wo sie ihren Kohlenstoff- und Energiebedarf aus den oxidierten Wasserinhaltsstoffen decken.

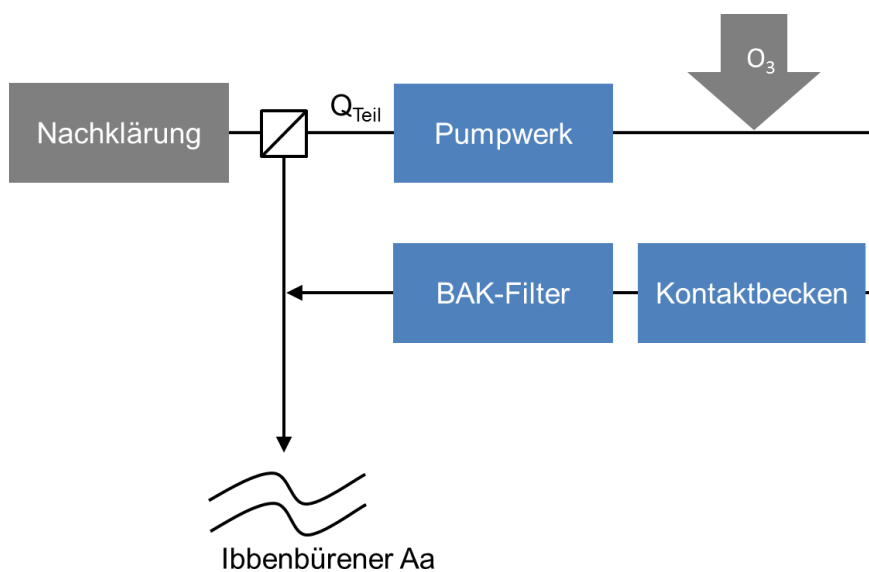


Abbildung 5: Blockschema Variante 2

4.2.2 Durchführung

Pumpwerk

Zum Heben des Wassers wird das Ablaufbauwerk I erweitert und eine Einhausung für die entsprechenden Pumpen errichtet. Das Wasser aus dem Ablauf der Anlage wird hierbei auf das Niveau der Verteilungsrinne der Filterbecken gehoben. Vorgesehen sind 5 baugleiche Pumpen, wovon eine als Reserve dient. Die eingesetzten Pumpen sind drehzahl geregelt und gemeinsam in der Lage, 700 m³/h zu heben.

Ozongenerator

Für die zwei eingesetzten Ozonreaktoren ist eine Leistung von je 5.000 g/h vorgesehen. Sie werden in einem Container aufgestellt, der darüber hinaus die nötigen Pumpen für die Kühlung der Ozongeneratoren beherbergt. Als Kühlwasser wird Filtrat genutzt. Zusätzlich wird ein Tank für flüssigen Sauerstoff aufgestellt, der die Ozongeneratoren versorgt.

Kontaktbecken

Die beiden Kontaktbecken werden als separate Straßen parallel betrieben. Jedes Becken ist durch eine unterströmte Tauchwand unterteilt. Hierbei wird der größere, vordere Teil des Beckens zur Ozonung und der Bereich hinter der Tauchwand als Beruhigungszone genutzt. Zum Ozoneintrag werden Diffusoren eingesetzt.

Biologisch aktivierter Filter

Die Filterblöcke sind abwärtsdurchströmt und werden über ein oberliegendes offenes Gerinne mit Wasser versorgt. Der Zulauf zu den einzelnen Filterblöcken wird hierbei über Schieber geregelt. Durch Schwellen wird der gleichmäßige Zufluss aller Filterblöcke erreicht.

Speicher für Spülwasser und Spülabwasser

Nach der Passage der Filterblöcke füllt das Filtrat zunächst den Vorlagebehälter zur Rückspülung und fällt in das Ablaufgerinne des Filters über. Über dieses gelangt der Filterablauf zurück in das Ablaufbauwerk I. Im Spülwasserspeicher steht somit ein ausreichendes Filtratvolumen zur Verfügung, um Mittels der eingesetzten Pumpen zwei Filtrerrückspülungen durchzuführen.

Das anfallende Rückspülwasser wird über das Verteilungserinne gesammelt und in den Spülabwasserspeicher geleitet. Aus diesem wird es dann über einen gedrosselten Ablauf dem Ablauf der Vorklärung zudosiert.

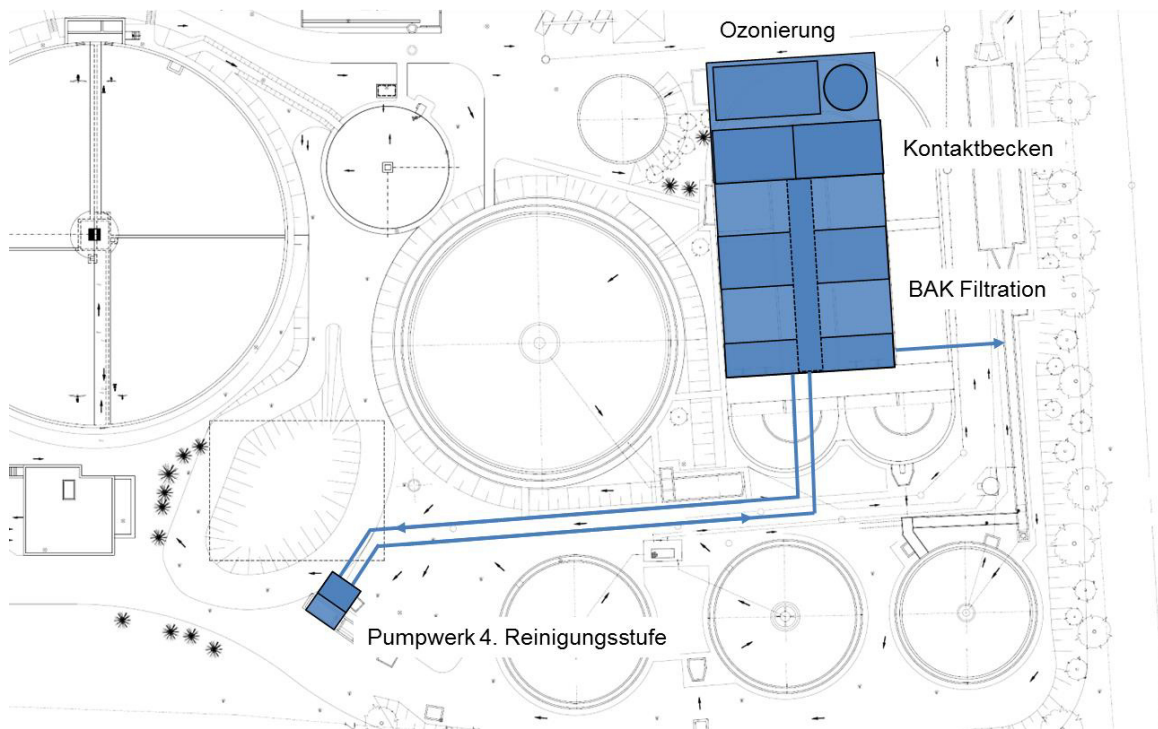


Abbildung 6: Schematische Darstellung der vierten Reinigungsstufe im Lageplanausschnitt (Variante 2)

4.2.3 Zusammenfassung

Zur baulichen Umsetzung von Variante 2 ist eine Veränderung des Ablaufbauwerkes erforderlich, um einen Aufstellungsort für die entsprechenden Pumpen zu schaffen. Der Ablauf der Kläranlage wird an dieser Stelle eingestaut, um die nötige Förderhöhe zu reduzieren. Das Filterbauwerk sowie die Kontaktbecken und der Aufstellungsort für die Ozonanlage werden im ungenutzten Belebungsbecken 1 erstellt. Hierzu werden Teile der bestehenden Bausubstanz genutzt oder abgetragen. Der verbleibende ungenutzte Teil des Belebungsbeckens muss verfüllt werden, um die Auftriebssicherheit zu gewährleisten. Die Ozonerzeugung sowie der dazugehörige Tank für flüssigen Sauerstoff sind infrastrukturell gut angebunden.

4.3 Variante 3: Adsorption an PAK mit dynamischer Rezirkulation

4.3.1 Allgemein

In Variante 3 wird ein Teilstrom des Kläranlagenablaufes gehoben und mit pulverisierter Aktivkohle versetzt. Die entnommene Wassermenge wird hierbei dynamisch an die aktuelle hydraulische Belastung der Kläranlage. Das Gemisch aus pulverisierter Aktivkohle und

behandeltem Abwasser wird in das Ablaufgerinne des Bio-P-Beckens zurückgeführt und der Kohleanteil in der Nachklärung durch Sedimentation mit der Schlammflocke abgetrennt.

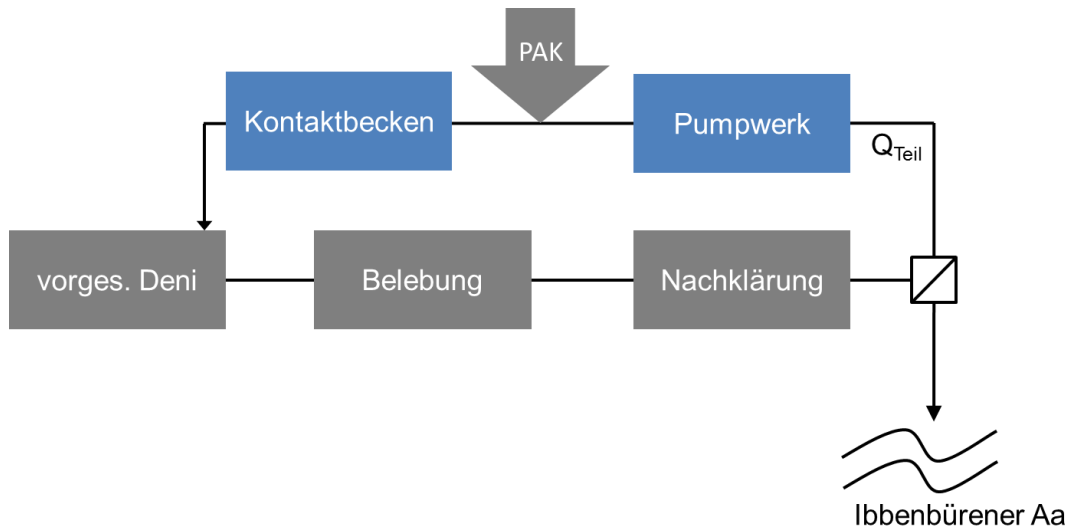


Abbildung 7: Blockschema Variante 3

4.3.2 Durchführung

Pumpwerk

Zum Heben des Wassers wird das Auslaufbauwerk I erweitert und eine Einhausung für die entsprechenden Pumpen errichtet. Das Wasser aus dem Ablauf der Anlage wird hierbei auf das Niveau der Verteilungsrinne der Filterbecken gehoben. Vorgesehen sind 5 baugleiche Pumpen, wovon eine als Reserve dient. Die eingesetzten Pumpen sind drehzahlregelt und gemeinsam in der Lage, 1.800 m³/h zu heben. Sie sind drehzahlregelt und eine weitere Pumpe steht als Reserve zur Verfügung.

Kontaktbecken

Es wurden zwei Kontaktbecken zum zweistraßigen Betrieb geplant. In den Becken befindet sich je ein Rührwerk, um eine Einmischung der PAK zu gewährleisten.

PAK-Lagerung

Das Silo zur Lagerung der benötigten PAK-Menge soll auf dem nördlichen Teil des neuen Bauwerkes errichtet werden. Somit ist eine Anbindung zur Straße hin sichergestellt. Das Silo ist mit der Dosierstation und den Treibwasserpumpen verbunden.

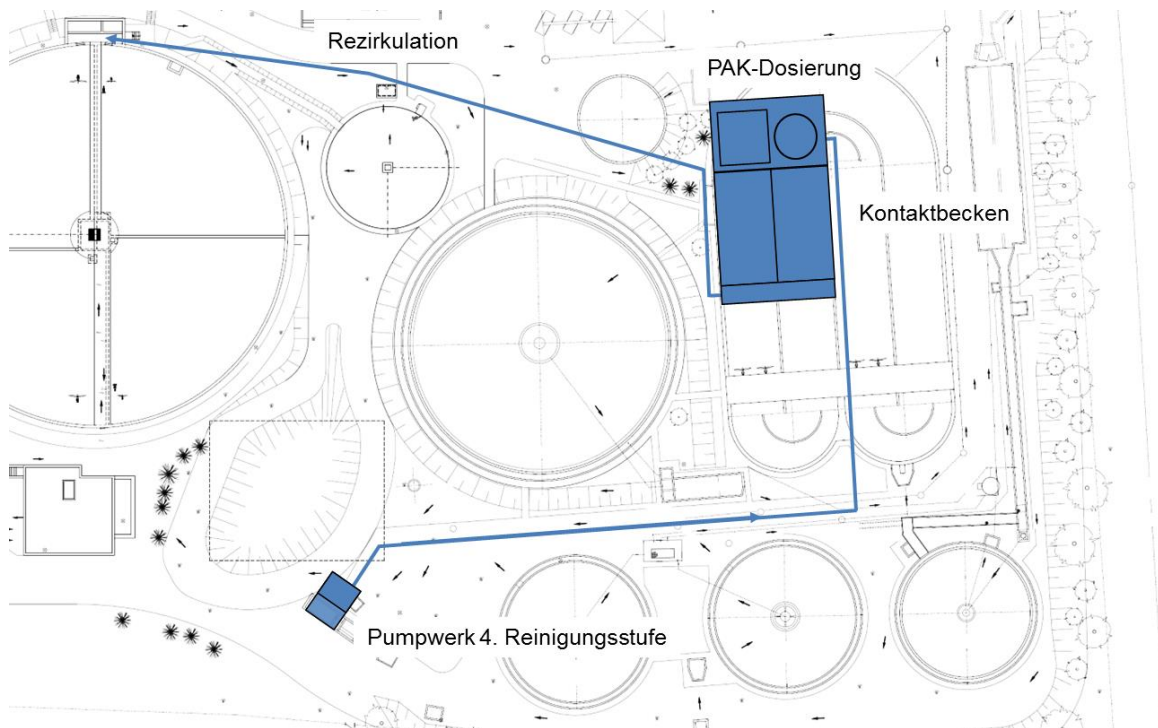


Abbildung 8: Schematische Darstellung der vierten Reinigungsstufe im Lageplanausschnitt (Variante 3)

4.3.3 Zusammenfassung

Im Gegensatz zu den übrigen untersuchten Varianten muss etwa 1 m mehr an Druckverlust am Pumpwerk überwunden werden. Das Wasser wird soweit gehoben, dass es im Anschluss an die PAK-Dosierung im Freispiegel in den Zulauf der Belebungsbecken gelangen kann. Soweit nötig, wird die vorhandene Bausubstanz des Belebungsbeckens I genutzt und der übrige Teil des Beckens verfüllt.

4.4 Variante 4: Nachgeschaltete PAK-Dosierung

4.4.1 Allgemein

Variante 4 sieht den „üblichen“ Ansatz zum Einsatz von PAK zur erweiterten Elimination von Spurenstoffen vor. Hierzu wird wie in den Varianten 1 und 2 ein Teilstrom des Kläranlagenablaufes mit pulverisierter Aktivkohle versetzt. Die Aktivkohle wird in einem eigenen Absetzbecken entfernt und zum Teil in das Kontaktbecken zurückgeführt. Durch den Einsatz eines Tuchfilters wird der Abtrieb von pulverisierter Aktivkohle verhindert.

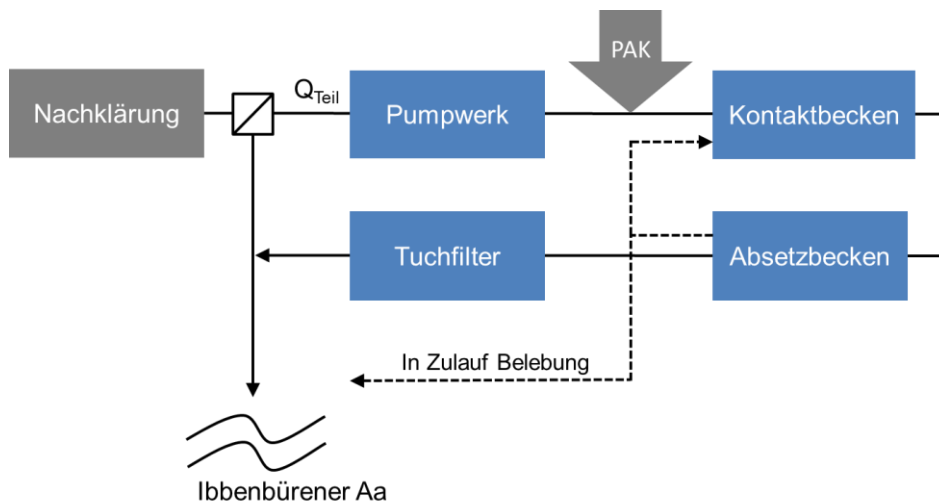


Abbildung 9: Blockschema Variante 4

4.4.2 Durchführung

Pumpwerk

Zum Heben des Wassers wird das Auslaufbauwerk I erweitert und eine Einhausung für die entsprechenden Pumpen errichtet. Das Wasser aus dem Ablauf der Anlage wird hierbei auf das Niveau der Verteilungsrinne der Filterbecken gehoben. Vorgesehen sind 5 baugleiche Pumpen, von denen eine als Reserve dient. Die eingesetzten Pumpen sind drehzahl geregelt und gemeinsam in der Lage, 700 m³/h zu heben.

Kontaktbecken

Es wurden zwei Kontaktbecken zum 2-straßigen Betrieb geplant. In den Becken befindet sich je ein Rührwerk um eine Einmischung der PAK zu gewährleisten.

Absetzbecken

Für jede Straße ist ein Kontaktbecken vorgesehen, in dem der Großteil der eingesetzten PAK abgesetzt wird. Der Schlamm wird durch Bandräumer in die Abzugstrichter gefördert und von dort zurück in das jeweilige Kontaktbecken gepumpt.

Tuchfilter

Dem Absetzbecken jeder Straße wird ein Tuchfilter nachgeschaltet. Diese Technik hat sich als geeignet erwiesen, feine Schwebstoffe aus der PAK-Dosierung zurückzuhalten und so eine zusätzliche Belastung des Gewässers zu verhindern.

PAK-Lagerung

Das Silo zur Lagerung der benötigten PAK-Menge soll auf dem nördlichen Teil des neuen Bauwerkes errichtet werden. Somit ist eine Anbindung zu Straße hin sichergestellt. Das Silo ist mit der Dosierstation und den Treibwasserpumpen verbunden.

Polymere Flockungsmittel

Für das Absetzbecken ist eine Dosierung von polymeren Flockungsmitteln vorgesehen, um ein sicheres Absetzverhalten des PAK-Schlammes zu erreichen.

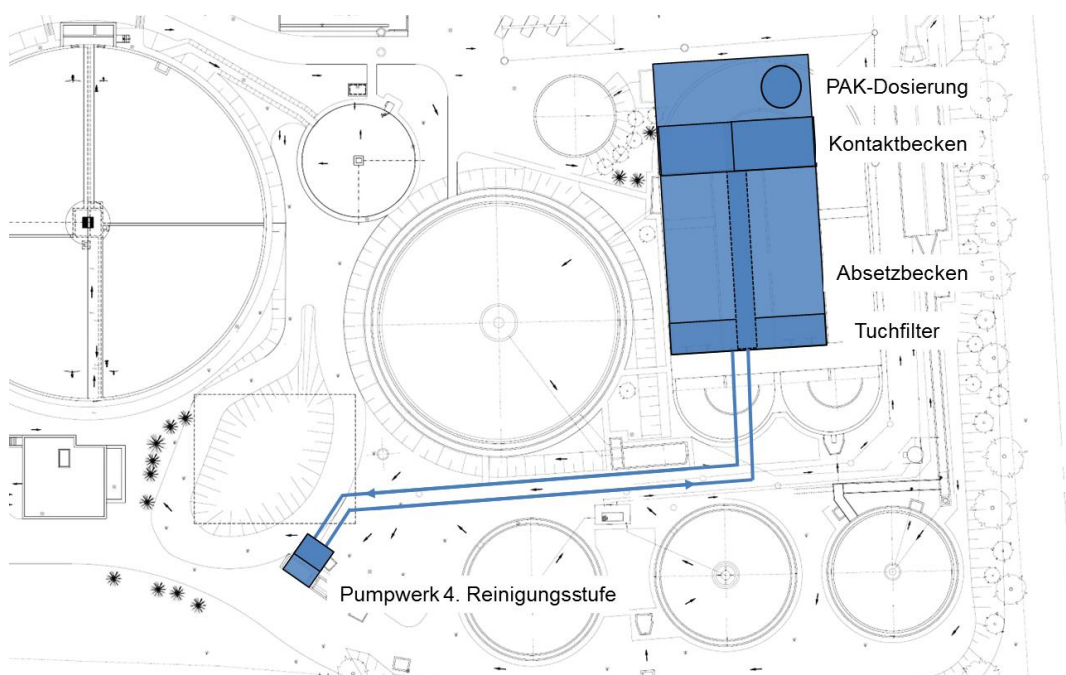
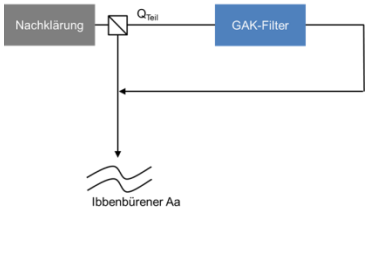
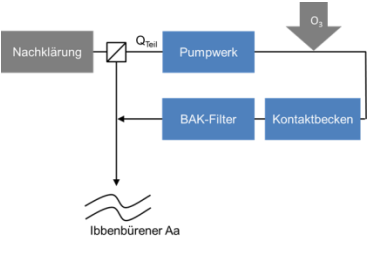
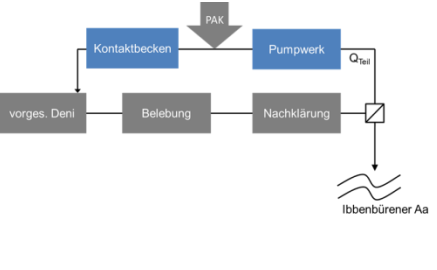
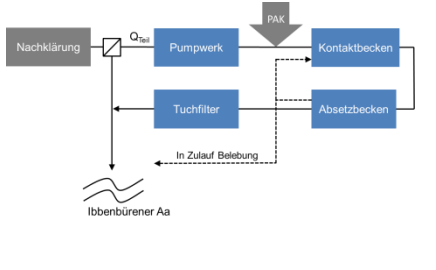


Abbildung 10: Schematische Darstellung der vierten Reinigungsstufe im Lageplanausschnitt (Variante 4)

4.4.3 Zusammenfassung

Zur baulichen Umsetzung von Variante 4 ist eine Veränderung des Ablaufbauwerkes erforderlich, um einen Aufstellungsort für die entsprechenden Pumpen zu schaffen. Der Ablauf der Kläranlage wird an dieser Stelle eingestaut, um die nötige Förderhöhe zu reduzieren.

4.5 Variantenübersicht

Variante 1: GAK-Filtration	Variante 2: Ozonung + BAK	Variante 3: PAK-Rezirkulation	Variante 4: PAK-Nachgeschaltet
			
<p>Pumpwerk: 700 m³/h</p> <p>6 GAK-Filter: 5 x 4 m (B x L); 360 m³ (V_{tot})</p>	<p>Pumpwerk: 700 m³/h</p> <p>Ozongenerator: 10 kg O₃/h</p> <p>2 Kontaktbecken: 4 x 7 m (B x L), 196 m³ (V_{tot})</p> <p>6 BAK-Filter: 5 x 4 m (B x L); 360 m³ (V_{tot})</p>	<p>Pumpwerk: 1.800 m³/h</p> <p>2 Kontaktbecken: 5 x 9 m (B x L), 450 m³ (V_{tot})</p>	<p>Pumpwerk: 700 m³/h</p> <p>2 Kontaktbecken: 6 x 5 m (B x L), 180 m³ (V_{tot})</p> <p>2 Absetzbecken: 16 x 7 m (B x L); 3,3 m (h_{Rand}); 739,2 m³ (V_{tot})</p> <p>2 Tuchfilter: 100 m² (A_{Filter;ges})</p>

5. Variantenbewertung

	Variante 1: GAK-Filtration	Variante 2: Ozonung + BAK	Variante 3: PAK-Rez.	Variante 4: PAK-Nachgesch.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Keine Bildung von Reaktionsprodukten Hohe Betriebssicherheit Erhöhter Rückhalt von suspendierten Stoffen 	<ul style="list-style-type: none"> Erhöhter Rückhalt von suspendierten Stoffen Zusätzliche biologische Wirkung 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Bildung von Reaktionsprodukten Keine Limitierung der Standzeit Zusätzliche Elimination von P_{ges} und CSB 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Bildung von Reaktionsprodukten Keine Limitierung der Standzeit Zusätzliche Elimination von P_{ges} und CSB
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Bedarf an granulierter Aktivkohle Limitierte Standzeit des Filterbettes 	<ul style="list-style-type: none"> Produktion von teilweise unbekanntem Nebenprodukten Hohe Anforderungen in der Betriebsführung und Sicherheit Hoher Energiebedarf 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Anforderungen in der Betriebsführung (Bsp. PAK-Anbackungen) Vergrößerung Schlammvolumen Hoher Energiebedarf Hoher Bedarf PAK 	<ul style="list-style-type: none"> Höhere Anforderungen in der Betriebsführung (Bsp. PAK-Anbackungen) Vergrößertes Schlammvolumen

6. Kosten

Tabelle 1: Jahreskosten der Einzelvarianten

Position	Inhalt	Einheit	Variante 1 GAK-Filtration	Variante 2 Ozonung mit BAK-Filtration	Variante 3 PAK-Dosierung (Belebung)	Variante 4 PAK-Dosierung (Ablauf)
1	Kapitalkosten	€/a	170.000,00	300.000,00	120.000,00	280.000,00
2	Betriebskosten	€/a	210.000,00	300.000,00	380.000,00	250.000,00
Jahreskosten (netto)		€/a	380.000,00	600.000,00	500.000,00	530.000,00
MwSt		€/a	70.000,00	110.000,00	90.000,00	100.000,00
Jahreskosten (brutto)		€/a	450.000,00	710.000,00	590.000,00	630.000,00
Behandelter Teilstrom (90%)		m³/a	4.313.461			
Spezifische Nettokosten (jahresdurchschnittlich)		€/m³	0,087	0,139	0,116	0,123
Spezifische Bruttokosten (jahresdurchschnittlich)		€/m³	0,104	0,166	0,138	0,146

Die geringsten Jahreskosten werden für die Umsetzung von Variante 1 erwartet. Der Einsatz einer Filtration in einem Filter aus granulierter Aktivkohle führt zu spezifischen Bruttokosten von 0,094 €/m³.

Abbildung 11 zeigt den grafischen Vergleich der jährlichen Kosten sowie deren Zusammensetzung aus verbrauchsgebundenen Kosten, betriebsgebundenen Kosten und Kapitalkosten.

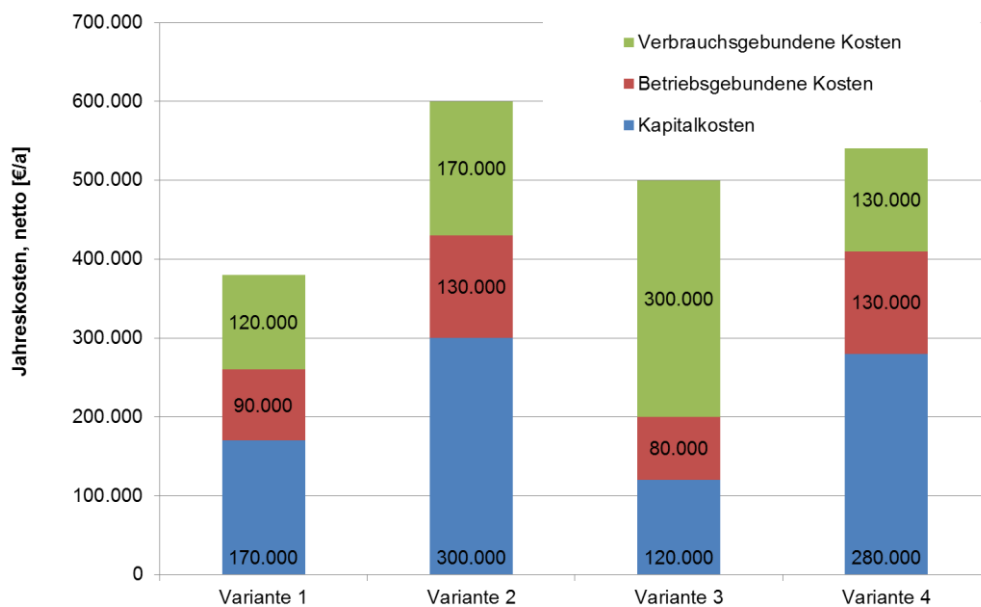


Abbildung 11: Vergleich der Varianten anhand ihrer Jahreskosten

7. Zusammenfassung

Im Rahmen der hier vorgestellten Studie wurde anhand von vier möglichen Varianten die Machbarkeit zur baulichen Umsetzung einer Anlage zur weitergehenden Elimination von Spurenstoffen auf der Kläranlage Püßelbüren geprüft. Bei den untersuchten Varianten handelte es sich um:

Variante 1: GAK-Filtration

Variante 2: Ozonung mit anschließender Passage einer BAK-Filtration

Variante 3: PAK-Dosierung mit dynamischer Rezirkulation

Variante 4: PAK-Dosierung mit Nachklärung und Filtration

Zu den einzelnen Varianten wurden Fließschemata und Skizzen angefertigt, um ihre Einbindung in die bestehende Anlage abzubilden und die entsprechenden Kosten zu ermitteln.

Es wurde festgestellt, dass die Umsetzbarkeit aller Varianten gegeben ist. Das ehemalige Belebungsbecken 1 bietet den nötigen Raum zur baulichen Umsetzung und den Betrieb der Anlagen. Der Aufstellungsort aller Varianten befindet sich nahe dem Ablaufbauwerk. Aufwendige Leitungsführungen sind somit nicht nötig. Mit Ausnahme von Variante 3 ist in allen Varianten eine Filtration vorgesehen, die sich reduzierend auf den Abtrieb von abfiltrierbaren Stoffen auswirkt. Der in den Varianten 3 und 4 geplante Einsatz von pulverisierter Aktivkohle schlägt sich in einer Erhöhung der anfallenden Schlammmenge nieder.

Um eine Vorzugsvariante auszuwählen, wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt und auf alle Varianten angewandt. Hierbei flossen die folgenden acht Bewertungskriterien ein:

- Jahreskosten
- Zusätzliche Reinigungsleistung
- Bildung von Transformationsprodukten
- Betriebs- und Wartungsaufwand
- Betriebssicherheit
- Sensitivität
- Nachhaltigkeit
- Erfahrungswerte

Anhand der Ergebnisse aus der gewichteten Bewertung wurde festgestellt, dass **Variante 1** zu favorisieren ist. Neben den geringen Jahreskosten (450.000 €), ist dieses Ergebnis auf die hohe Betriebssicherheit, die fehlende Bildung von Transformationsprodukten und den geringen Betriebs- und Wartungsaufwand zurückzuführen. Tabelle 2 fasst die ermittelten Kosten der Vorzugsvariante zusammen.

Tabelle 2: Kostenübersicht zu Variante 1

Position	Kosten (brutto)	Einheit
Baukosten	2.880.000,00	€
Kapitalkosten	200.000,00	€/a
Betriebskosten	250.000,00	€/a
Jahreskosten	450.000,00	€/a