

Abwasserverband Region Frauenfeld Kanton Thurgau

ARA Frauenfeld



Vorstudie EMV Empfehlung Bestvariante

erstellt: 23.03.2020/WÜ, Zus
Visum PL: _____

nachgeführt: 03.04.2020/WÜ, Zus
18.05.2020/WÜ, Zus

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	3
1.1	Revision Gewässerschutzgesetz	3
2	Grundlagen	4
2.1	Dimensionierungsgrundlagen	4
3	Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen	5
3.1	Grundlagen	5
3.2	Übersicht der Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen	6
3.3	Evaluierung und Auswahl geeigneter Verfahren	7
3.4	GAK im Schwebebett	9
3.5	GAK-Filtration	10
3.6	Ozonung	11
3.7	Vergleich der Verfahren GAK und Ozonung	14
4	Koordination mit geplanten Projekten	17
4.1	Notstromgenerator	17
4.2	Traforaum und Unterwarte Biologie	17
4.3	Maschinenhaus 2	18
4.4	Anschluss Leitungsgang	18
5	Layout der drei Varianten	19
5.1	GAK im Schwebebett	19
5.2	GAK-Filter	21
5.3	Ozon vor Sandfilter	23
6	Kosten	26
6.1	Vorbemerkungen Bundesabteilungen	26
6.2	Kostenermittlung	28
7	Zusammenfassung und Empfehlung	36

Anhang

- Dimensionierungsgrundlagen EMV ARA Frauenfeld (Bericht K+H vom 20.06.2019)
- Vorstudie EMV ARA Frauenfeld zweite Stufe (Bericht K+H vom 17.12.2019)
- Beurteilung der Behandelbarkeit von Abwasser der ARA Frauenfeld mit Ozon (Bericht Envilab vom Dezember 2019)

1 AUSGANGSLAGE

1.1 Revision Gewässerschutzgesetz

In der Schweiz sollen Mikroverunreinigungen künftig gezielt aus dem Abwasser entfernt werden. Der Bund hat deshalb das eidgenössische Gewässerschutzgesetz, GSchG (SR 814.20) und die Gewässerschutzverordnung, GSchV (SR 814.201) dahingehend revidiert, dass die Inhaber von zentralen Kläranlagen verpflichtet werden, organische Spurenstoffe aus dem Abwasser zu eliminieren. Die revidierten Bestimmungen des Gesetzes sowie der Verordnung wurden auf den 1. Januar 2016 in Kraft gesetzt. Gemäss Anhang 3.1 der GSchV gilt für organische Spurenstoffe folgendes:

Der Reinigungseffekt, bezogen auf Rohabwasser und gemessen anhand von ausgewählten Substanzen, muss 80 % betragen für Abwasser aus:

Anlagen ab 80'000 angeschlossenen Einwohnern;

Anlagen ab 24'000 angeschlossenen Einwohnern im Einzugsgebiet von Seen; der Kanton kann Ausnahmen bewilligen, wenn der Nutzen einer Reinigung für die Umwelt und für die Trinkwasserversorgung klein ist;

Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, die in ein Fliessgewässer mit einem Anteil von mehr als 10 % bezüglich organische Spurenstoffe ungereinigtem Abwasser einleiten; der Kanton bezeichnet die Anlagen, die Massnahmen treffen müssen, im Rahmen einer Planung im Einzugsgebiet;

anderen Anlagen ab 8'000 angeschlossenen Einwohnern, wenn eine Reinigung aufgrund besonderer hydrogeologischer Verhältnisse erforderlich ist;

Das Amt für Umwelt Thurgau legt fest, anhand welcher Substanzen der Reinigungseffekt gemessen und wie er berechnet wird.

Die ARA Frauenfeld leitet das gereinigte Abwasser in die Murg ein. Der Anteil des gereinigten Abwassers am Gesamtabfluss des Vorfluters Murg liegt über 10%.

Kriterium 3:

Anlagen ab 8'000 Einwohnern, die in ein Fliessgewässer mit einem Abwasseranteil von mehr als 10% bezüglich organischen Spurenstoffen ungereinigtes Abwasser einleiten.

Es zeigt sich somit, dass die ARA Frauenfeld zu denjenigen Anlagen zählt, welche eine Stufe zur weitergehenden Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV-Stufe) betreiben muss.

2 GRUNDLAGEN

2.1 Dimensionierungsgrundlagen

Im Bericht „Dimensionierungsgrundlagen EMV“ (Kuster + Hager AG vom 14. Juni 2019) ist die hydraulische Auslegung der EMV-Stufe im Detail aufgeführt.

Es wurde der zweifache Trockenwetteranfall (85%-Wert) aus den Jahren 2016 und 2017 verwendet, der 586 l/s beträgt.

Da die Dimensionierungswassermenge der ARA Frauenfeld 600 l/s beträgt, ist es sinnvoll, den zweifachen Trockenwetteranfall von 586 l/s auf 600 l/s aufzurunden, um somit gleichzeitig eine Vollstrombehandlung zu generieren.

Für die Rückläufe normaler Filtersysteme werden im Normalfall 7-8% der Zulaufmenge veranschlagt. Im Falle der ARA Frauenfeld wären dies bei 8% 48 l/s.

Aufgerundet ergibt sich somit eine Zulaufmenge zur EMV-Stufe von 650 l/s, auf welche die einzelnen Verfahren ausgelegt werden müssen.

Die Rückläufe des Verfahrens „GAK im Schwebebett“ belaufen sich hingegen erfahrungs-gemäss (volltechnische Umsetzung ARA Penthaz) auf ca. 0.5 – 1% (3-6 l/s).

Somit wird aufgerundet für die Auslegung der Variante „GAK im Schwebebett“ mit einer Dimensionierungswassermenge von 610 l/s gerechnet.

Das zu behandelnde Abwasser, sprich der Ablauf der Nachklärung kann nur aus dem Kanal am Ende der Nachklärbecken entnommen werden und muss auch dort wieder eingeleitet werden (391.25 m ü. NN).

Somit muss in jedem Fall - unabhängig vom gewählten Verfahren - das Abwasser gepumpt werden. Dabei soll darauf geachtet werden, dass das Abwasser nur einmal, im Regelfall vor der EMV-Stufe, hoch gefördert werden muss.

3 VERFAHREN ZUR ELIMINATION VON MIKROVERUNREINIGUNGEN

3.1 Grundlagen

3.1.1 Einleitbedingungen MV

Die Berechnung der Eliminationsleistung einer ARA erfolgt durch die Kontrolle von mindestens sechs der zwölf Substanzen in Tabelle 1, wobei das Verhältnis der Stoffe aus Gruppe 1 zu den Stoffen aus Gruppe 2, 2:1 sein muss. Die Auswahl der auf den einzelnen ARA zu kontrollierenden Substanzen wird von den kantonalen Vollzugsbehörden festgelegt. Die Konzentration der Substanzen muss im Zulauf der ARA mindestens das Zehnfache der Bestimmungsgrenze betragen, um bei einer Elimination bis 90% zuverlässig die Eliminationsleistung berechnen zu können.

Tabelle 1: Liste der Leitsubstanzen anhand derer die Reinigungsleistung beurteilt wird.

	Substanzname	Stoffgruppe
Gruppe 1: sehr gut oxidierbare/adsorbierbare Stoffe	Amisulprid	Arzneimittel: Psychopharmakum
	Carbamazepin	Arzneimittel: Antiepileptikum
	Citalopram	Arzneimittel: Antidepressivum
	Clarithromycin	Arzneimittel: Antibiotikum
	Diclofenac	Arzneimittel: Schmerzmittel
	Hydrochlorothiazid	Arzneimittel: Diuretikum
	Metoprolol	Arzneimittel: Betablocker
	Venlafaxin	Arzneimittel: Antidepressivum
Gruppe 2: gut oxidierbare/adsorbierbare Stoffe	Benzotriazol	Korrosionsschutzmittel
	Candesartan	Arzneimittel: Antihypertonikum
	Irbesartan	Arzneimittel: Antihypertonikum
	Methylbenzotriazol	Korrosionsschutzmittel

Die Vorgaben gelten als erfüllt, wenn der Mittelwert der Eliminationsleistungen der einzelnen Substanzen insgesamt mindestens 80% beträgt (Qualitätsziel). Dieser Wert muss in Abhängigkeit der Probenahmehäufigkeit in 3 von 4 bis 21 von 24 Proben eingehalten werden. Die Häufigkeit der Probenahme ist abhängig von der Grösse der Anlage und beträgt 8-24 (im ersten Jahr bzw. nach Nichteinhaltung der Vorgaben) oder 4-12 (bei Einhaltung der Vorgaben im Vorjahr). Die Proben werden als 48h-Sammelprobe jeweils am Zu- und Ablauf der ARA entnommen.

3.2 Übersicht der Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen

Die nachfolgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick über die möglichen Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen und Beispiele ihrer Einsätze auf Referenzanlagen. Genauere Erläuterungen zu diesen Verfahren folgen in den weiteren Kapiteln. Die aufgeführten Referenzanlagen sind Beispiele und stellen keine vollständige Aufzählung dar.

Tabelle 2: Überblick Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen und Referenzanlagen

Verfahren		Referenzanlagen
PAK	Abtrennung in einem separaten Sedimentationsbecken (Ulmer Verfahren)	ARA Bachwis/Herisau (CH), ARA Thunersee (CH), KW Mannheim (D), KA Böblingen-Sindelfingen (D), KA Kressbronn (D), KW Langwiese/Ravensburg (D), KA Stockacher Aach (D), KA Albstadt-Ebingen (D)
	Dosierung vor Filter	ARA Schönauf/Cham (CH), ARA Untermarch (CH) in Planung
	Dosierung in Biologie	ARA Flos/Wetzikon(CH)
GAK im Schwebbett	Aktivkohle im Schwebbett	STEP Penthaz (CH) ARA REAL/Luzern (CH) in Planung ARA Niederglatt (CH) in Planung
GAK-Filter	Festbettfilter	ARA Moos (CH) in Planung AV Obere Lutter (D), KA Rietberg (D), KA Gütersloh-Putzhagen (D)
Ozon	Ozonung	ARA Neugut/Dübendorf (CH), ARA Werdhölzli/Zürich (CH), ARA Oberwynental/Reinach (CH), ARA Eich/Bassersdorf (CH)
Kombinationen	Kombination von Ozonung mit PAK	ARA ProRheno/Basel (CH) in Planung
	Kombination von Ozonung mit GAK	ARA Altenrhein (CH) ARA Bülach* (CH), ARA Glarnerland* (CH)
Sonstige	Dichte Membranen (Nanofiltration und Umkehrosmose)	nicht Stand der Technik
	Constructed Wetlands	
	Advanced Oxidation Processes (AOP)	
	Kombination Ferrat und Ozonung	

* Versuchsanlagen / Pilotierungen

3.3 Evaluierung und Auswahl geeigneter Verfahren

In einem ersten Vorauswahlverfahren wurde entschieden, nur Verfahren näher zu betrachten, die Stand der Technik sind.

Grundsätzlich eignen sich Ozon und Aktivkohle zur Elimination der MV.

Somit wurden sonstige Verfahren wie Dichte Membranen, Advanced Oxidation Processes und andere alternative Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen ausgeschlossen.

Des Weiteren wurde die Dosierung von PAK direkt in die Biologie ausgeschlossen, da diese Variante im Vergleich zu den anderen Verfahren zu hohe Betriebskosten generiert, da substantiell mehr PAK verwendet werden muss, um eine vergleichbare Eliminationsleistung zu erbringen.

Auch die Kombination von **Ozon und PAK** wurde verworfen, da zu diesem Verfahren noch vergleichsweise wenige verlässliche Daten existieren und des Weiteren dieses Verfahren sehr aufwendig, platzraubend und bzgl. Sicherheitsaspekten sehr anspruchsvoll zu betreiben ist.

Somit wurde entschieden, in einer ersten Evaluierungsstufe folgende Verfahrensvarianten näher zu untersuchen:

- Ulmer Verfahren (PAK-Dosierung mit Sedimentation und nachgeschaltetem Sandfilter)
- PAK-Dosierung direkt vor einem Sandfilter
- GAK-Filter
- GAK im Schwebebett
- Ozondosierung vor einem Sandfilter
- Ozondosierung vor einem GAK-Filter

In einem zweiten Auswahlverfahren wurden diese sechs Verfahrensvarianten untersucht, um drei Bestvarianten zur Weiterverfolgung zu evaluieren.

Da das **Ulmer Verfahren** und die Verfahrenskombination **Ozon/GAK-Filter** kosten-, platz- und aufwandsbezogen klar am schlechtesten abschneiden, wurde entschieden, diese beiden Varianten nicht weiterzuverfolgen.

Dabei wurde auch mit berücksichtigt, dass die volle Subventionierung dieser beiden Varianten in Frage gestellt ist, da sowohl die Sedimentation beim Ulmer Verfahren als auch die Implementierung von zwei EMV-Stufen auf einer ARA vom BAFU erfahrungsgemäss sehr kritisch hinterfragt wird.

Die beiden Varianten **PAK-Dosierung vor Sandfilter** und **Ozondosierung vor Sandfilter** sind als weitgehend gleichwertig einzustufen.

Hier wurde in gemeinsamer Absprache mit dem AfU TG entschieden, die Ozondosierung vor einem Sandfilter weiterzuverfolgen.

Dabei sind die Relevanz und Einschätzung der Untersuchungen zur Ozonierbarkeit des Abwassers der ARA Frauenfeld oder Betriebssicherheit und Betriebsaufwand zu berücksichtigen. Eine durch das Labor Envilab durchgeführte Beurteilung der Behandelbarkeit von Abwasser der ARA Frauenfeld mit Ozon hat ergeben, dass sporadisch erhöhte Bromidkonzentrationen im Zulauf der geplanten Ozonung und dadurch erhöhte Bromatbildung vorkommen. Alle anderen Resultate der Untersuchung liegen im grünen Bereich.

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen ist entsprechend von entscheidender Bedeutung, wie das BAFU diese Ergebnisse wertet.

Zusätzliche Untersuchungen zur Ozonbehandelbarkeit und zu relevanten Bromidquellen im Einzugsgebiet der ARA Frauenfeld sind entsprechend für die Auswahl als Bestvariante entscheidend.

Zu beachten ist hierbei auch, dass das BAFU besonders im vorliegenden Fall ein entsprechen-des Überwachungskonzept des Zulaufs der Ozonung und zu problematischen Einleiten im Einzugsgebiet der ARA Frauenfeld anordnen wird.

Als sehr interessant erwiesen sich die Varianten mit granulierter Aktivkohle (**GAK im Schwebbett und GAK-Filter**).

Beide Varianten zeichnen sich durch einen geringen Platzbedarf und niedrige Kosten aus.

Der Betriebsaufwand für nur eine Verfahrensstufe ist im Vergleich zu den anderen Varianten, die jeweils immer mindestens zwei Verfahrensstufen aufweisen (MV-Elimination und anschliessende Filtration), entsprechend geringer. Auch Sicherheitsaspekte wie Explosionsschutz (PAK) und Umgang mit problematischen/gefährlichen Stoffen (Reinsauerstoff, Ozon) fallen hier nicht ins Gewicht.

Deshalb wurde entschieden, auf alle Fälle auch diese beiden Varianten weiterzuverfolgen.

Somit ergab die erste Stufe des Auswahlverfahrens den Entscheid, folgende Verfahren in einer **zweiten Evaluierungsstufe** weiterzuverfolgen:

- ***GAK im Schwebbett***
- ***GAK-Filter***
- ***Ozondosierung vor einem Sandfilter***

In dieser zweiten Phase wurden nun Richtofferten für die verfahrensrelevante Maschinentechnik eingeholt und die Angaben der Lieferanten in der Disposition berücksichtigt. Das bedeutet, dass das Layout der drei Varianten komplett überarbeitet wurde, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Im Layout wurden entsprechend auch die Vorgaben des Betriebes wie die Koordination mit weiteren geplanten Projekten berücksichtigt und integriert.

3.4 GAK im Schwebebett

Dieses Verfahren nutzt sogenannte mikrogranulierte Aktivkohle (μ GAK), dessen Durchmesser zwischen dem der GAK (ab ca. 1 mm) und der PAK (unter ca. 100 μ m) liegt. Die Elimination der Mikroverunreinigungen erfolgt wie bei anderen Aktivkohle-Verfahren durch Adsorption.

Im Reaktor wird die μ GAK aufwärts durchströmt. Dabei wird das μ GAK-Bett in Schwebelage gehalten, ähnlich einem Schwebebett. Vor der Dosierung wird die gelieferte μ GAK konditioniert, wobei der Feinanteil und der Schwimmkohleanteil abgetrennt werden. Die konditionierte μ GAK ist gross genug, dass die μ GAK auch bei maximaler Beschickung (ca. 20 m/h) alleine durch die Schwerkraft im Reaktor bleibt, ohne Einsatz von Fäll- oder Flockungsmitteln. Es bildet sich eine klare Grenze zwischen dem μ GAK-Schwebebett und der Klarwasserzone darüber.

Gemäss dem VSA-Dokument «Aktueller Stand Beurteilung Aktivkohle-Rückhalt» vom Juni 2019 erlauben die bis zum damaligen Zeitpunkt verfügbaren Resultate für GAK im Schwebebett keine abschliessende Beurteilung, ob nach dem Verfahren noch eine zusätzliche Filtrationsstufe nötig ist. Deshalb wird aktuell der Bau eines nachgeschalteten Polzeifilters (z.B. Polstofffiltration) als sinnvoll und daher seitens BAFU als grundsätzlich abgeltungsberechtigt erachtet.

Daher wird in der Studie eine anschliessende Filtrationsstufe über Polstofffilter eingerechnet.

Aufgrund der aktuellen Ergebnisse von der ARA Penthaz ist aber eine zusätzliche Filtration unseres Erachtens nach grundsätzlich nicht notwendig.

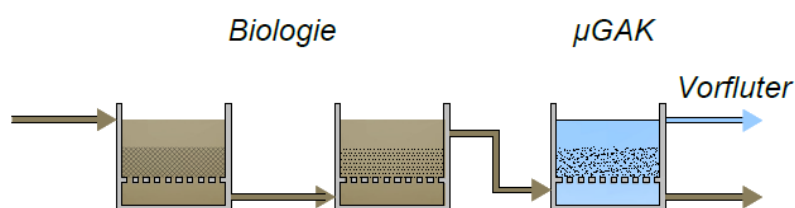


Abbildung 1: Verfahrensschema GAK im Schwebebett

Im Gegensatz zum GAK-Filter wird die Reaktorleistung konstant aufrechterhalten, indem frische μ GAK kontinuierlich zudosiert wird (10-15 mg/L). Die gleiche Menge wird dem Reaktor entzogen, und zwar an denjenigen Stellen, wo die μ GAK am meisten aufgebraucht ist. Die mittlere Aufenthaltszeit der μ GAK im Reaktor beträgt 90 – 100 Tage, je nach Dosierung und Mächtigkeit des Bettes (Mailler, 2016). Nach der Nutzung wird μ GAK separat gelagert und kommt daher nicht in die Biologie bzw. in die Schlammbehandlung. Die μ GAK kann anschliessend regeneriert und wiederverwendet werden.

Das Verfahren wird erfolgreich auf der ARA Penthaz betrieben und ist für die ARA Niederglatt, die ARA REAL/Luzern und diversen weiteren Kläranlagen aktuell in Planung.

3.5 GAK-Filtration

Dieses Verfahren wird derzeit auf der ARA Moos (AV Aachtal, Kt. TG) im Grossmassstab pilotiert. Zusätzlich zur adsorptiven Elimination der MV wird davon ausgegangen, dass durch die langen Filterstandzeiten und hohen Aufenthaltszeiten zumindest bei einigen Substanzen ein biologischer Abbau stattfindet. In der Schweiz haben insbesondere die Versuche auf der ARA Bülach gezeigt, dass GAK im Festbett sehr wartungsarm ist und gute Eliminationsraten erreicht werden können (Bitterwolf et al., 2017). Der GAK-Filter kann aber auch bei einem kontinuierlich beschickten Filter (System DynaSand resp. DynaGAK) betrieben werden (Versuche ARA Moos). Auf der Kläranlage Rietberg in Nordrhein-Westfalen wurden verschiedene Verfahren mit GAK zum Einsatz mit bestehender DynaSand-Filtration beurteilt und teilweise untersucht. Nebst einer Beurteilung des Umbaus der DynaSand-Filter zu herkömmlichen Filterzellen wurden auch Versuche mit der Umrüstung des Filtermaterials zu GAK bei gleichbleibendem Verfahren gemacht. Dieses System ist laut Hersteller bereits in etwa 20, überwiegend industriellen Anlagen im Einsatz.

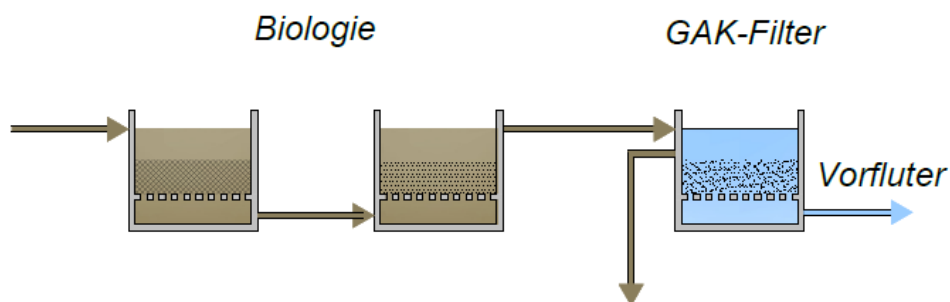


Abbildung 2: Das Verfahrensschema GAK-Filter

Die Betriebskosten der GAK-Filter hängen massgeblich von den erreichten Bettvolumina ab. Ein Bettvolumen entspricht dem pro Filtervolumen durchgesetzten Abwasservolumen. Bei ausreichender Aufenthaltszeit gelten 30'000 Bettvolumina oder höher als erreichbar. Derzeit laufen in der Schweiz Versuche auf den beiden Kläranlagen Glarnerland und Bülach. Ein wesentlicher Faktor für den Betrieb von GAK-Filtern ist deren Parallelschaltung. Dafür werden die Filterzellen gestaffelt in Betrieb genommen und das Filtermaterial gestaffelt ausgetauscht. Die verminderte Eliminationsleistung der älteren Filterzellen kann somit durch die sehr hohe Abbauleistung der noch frischen Kohle kompensiert werden, sodass die Kohle insgesamt längere Zeit genutzt werden kann und somit höhere Bettvolumina erreicht werden. Die Kontrolle der Filterzustände erfolgt über die Messung des Zuflusses (Bettvolumina) und zur Qualitätskontrolle mit UV-Messungen, die ein guter Indikator für die Elimination von MV sind.

3.6 Ozonung

Bei der Behandlung von Abwasser mit Ozon handelt es sich um ein oxidatives Eliminationsverfahren. Ausgangssubstanzen werden dabei in Teil- oder Gesamtoxidation in weniger komplexe Zwischen- oder Endprodukte umgewandelt (Von Sonntag et al., 2012). Ein geringer Teil des DOC wird dabei mineralisiert (Böhler et al., 2016). Durch die Oxidation verlieren die MV ihre ursprüngliche Wirksamkeit, die entstehenden Oxidationsprodukte sind kleiner, polarer und grösstenteils leichter biologisch abbaubar (Schumacher, 2006; Von Sonntag et al., 2012). Ein weiterer Vorteil des Verfahrens ist die Abnahme der Keimzahlen, darunter auch pathogener Keime wie *E. coli*. (Abegglen et al., 2009).

3.6.1 Wirkungsweise der Ozonung

Im Wasser kann die Oxidation von MV auf zwei Arten geschehen. Zum einen reagiert das Ozon direkt und selektiv mit elektronenreichen Molekülstrukturen wie Kohlenstoffdoppelbindungen, Aminen und Aromaten. Daneben werden über Kettenreaktionen mit Wasser OH-Radikale gebildet, die ihrerseits nicht selektiv mit den Wasserinhaltsstoffen reagieren. Die Eliminationsleistung des Verfahrens hängt weitestgehend von der applizierten Ozondosis ab, die üblicherweise in g O₃/g DOC angegeben wird. Eine wesentliche Bedeutung für die Effizienz des Verfahrens haben die DOC und Nitrit Konzentrationen, die ihrerseits sehr schnell mit Ozon reagieren und es somit verbrauchen. Entsprechend begünstigen eine tiefe DOC-Konzentrationen und eine vollständige Nitrifikation in den vorausgegangenen Reinigungsstufen den Einsatz einer Ozonung (Von Sonntag et al., 2012). Darüber hinaus ist die Effizienz der Ozonung von verschiedenen Prozessbedingungen wie dem pH und der Temperatur abhängig, die in der Abwasserreinigung aber nicht speziell für die Ozonung gesteuert werden.

3.6.2 Verfahrensbeschreibung

Die Ozonung erfolgt nach der biologischen Abwasserbehandlung. Der Verfahrensablauf einer Ozonung ist wie folgt:

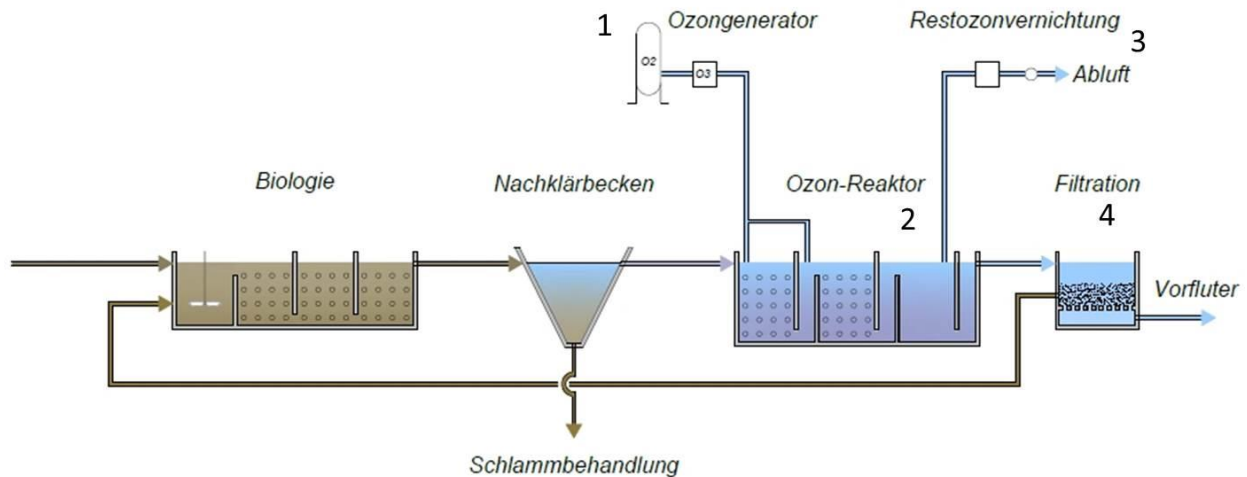


Abbildung 3: Verfahrensschema Ozonung mit nachgeschalteter Filtration

- 1) **Ozongenerator:** Da Ozon sehr instabil ist, kann es nicht gelagert werden und muss vor Ort produziert werden. Bei der Ozonproduktion wird das Ozon entweder aus Umgebungsluft oder aus reinem flüssigen Sauerstoff mittels elektrischer Entladung erzeugt. Auf der ARA Neugut in Dübendorf wie auch auf der ARA Altenrhein wird das Ozon (O_3) aus reinem Sauerstoff (O_2) produziert, da bei dieser Variante die Abdeckung der Frachtspitzen besser ist. Die Ozonproduktion ist energieaufwendig.
- 2) **Ozonreaktor:** Der Ozonreaktor zur Ozondosierung besteht aus mindestens zwei Kammern. In einem wird das Ozon dosiert und im nächsten kann das Restozon reagieren. Um das Ozon optimal nutzen zu können, empfiehlt sich ein Röhrenreaktor, resp. eine Rührkesselskaskade. Um eine Gefährdung des Betriebspersonals zu verhindern, muss der Reaktor gasdicht abgeschlossen sein.
- 3) **Abluftreinigung (Restozonvernichter):** Dies ist notwendig, damit kein Restozon mit der Abluft abgeleitet wird. Ozonvernichter können eine katalytische oder eine thermische Funktionsweise haben.
- 4) **Nachbehandlung (Filter):** Das behandelte Abwasser muss in einer biologisch aktiven Stufe nachbehandelt (z.B. Sandfilter) werden, um die reaktive Oxidationsprodukte und allenfalls das im Wasser noch enthaltene Restozon abzubauen.

3.6.3 Oxidationsnebenprodukte

Ein Problem der Ozonung ist, insbesondere bei industriell geprägtem Abwasser und hohen Ozondosen, die Entstehung von teils toxischen Oxidationsprodukten wie Bromat und Nitrosodimethylamin (NDMA), die, wie im Fall von Bromat, auch mit einer biologischen Nachbehandlung nicht entfernt werden können (Von Sonntag et al., 2012).

3.6.4 Eignung von Abwasser zur Behandlung mit Ozon

Um abschätzen zu können, ob Abwasser sich für die Behandlung mit Ozon eignet, wurde an der Eawag ein dafür spezielles Testverfahren entwickelt. Dieses besteht aus den folgenden fünf Modulen (Schindler Wildhaber et al., 2015; Wunderlin et al., 2015):

- 1) Stabilität des Ozons im Abwasser
- 2) Eliminationsleistung von Mikroverunreinigungen
- 3) Bildung von Nebenprodukte (z.B. Bromat, Dimethylnitrosamin)
- 4) Biologische Versuche (ökologische Tests)
- 5) Pilotversuche vor Ort

3.6.5 Arbeitssicherheit

Ozon ist ein reizendes und toxisches Gas. Es müssen entsprechend umfangreiche Sicherheitsmassnahmen getroffen werden, um das Personal und Anwohner bei Störfällen zu schützen. In wenig belüfteten Räumen muss eine kontinuierliche Messung von Sauerstoff- und Ozonkonzentration mit automatischem Stillstand der Anlage bei Überschreitung des Expositionsgrenzwertes installiert werden. Auf der ARA Neugut wurden ausserdem die Installationsräume der Ozonung so klein wie möglich gehalten, um die schnelle Erneuerung der Luft bei Störfällen mittels einer sogenannten Sturmlüftung zu ermöglichen. Der Ozongenerator, die ozonführenden Leitungen und die Kontaktbecken müssen zudem wie bereits erwähnt komplett luftdicht sein. Allgemein muss das Personal spezifisch für die Ozonbenutzung ausgebildet werden.

3.6.6 Nachbehandlungsstufe

Für die Nachbehandlung des ozonierten Abwassers ist zwingend eine Reinigungsstufe mit biologischer Aktivität erforderlich, um allfällige bei der Ozonung auftretende Metaboliten zu reduzieren resp. zu eliminieren. Dazu wird der Ozondosierung ein Sandfilter nachgeschaltet, der gleichzeitig als Filtrationsstufe als auch infolge seiner auf dem Filterbett vorhandenen biologischen Aktivität als Reinigungsstufe bzgl. Metaboliten dient.

3.7 Vergleich der Verfahren GAK und Ozonung

3.7.1 Allgemeiner Verfahrensvergleich

Eine allgemeine Beurteilung der adsorptiven Verfahren mit GAK sowie der Ozonung ist in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Allgemeine Beurteilung der Verfahren GAK und Ozonung

	Vorteile	Nachteile
GAK	Entfernung der MV sehr einfache Verfahrenstechnik keine Nebenprodukte (Umwandlung) Regenerierung der GAK möglich (geringer CO ₂ -Fussabdruck) wartungsarm keine weiteren Reaktionsbecken notwendig bei GAK im Schwebebett stossbelastungs- und frachtabhängige Dosierung möglich!	wenige Erfahrungen im grosstechnischen Bereich in kommunalen ARA keine Dosierung und folglich Anpassung an aktuelle Belastung (nur bei GAK-Filter) keine Anpassung der Elimination bei Auswahl unterschiedlicher Leitsubstanzen durch Erhöhung der Dosis o.ä. möglich (nur bei GAK-Filter)
Ozonung	Entfernung der MV keine zusätzliche Belastung des Filters geringerer Platzbedarf als bei PAK Desinfektions-Wirkung breite Erfahrung vorhanden	komplexe Verfahrenstechnik (Personalbedarf) hoher Sicherheitsaufwand MV werden in teilweise unbekannte Nebenprodukte umgewandelt (Probleme bei ARA mit hohem Industrieanteil) eingeschränkte EMV-Leistung durch Reaktion von Ozon mit DOC und Nitrit (unvollständige Nitrifikation).

Nachfolgend werden die in der zweiten Triage für die ARA Frauenfeld ausgewählten Verfahren GAK-Filter, GAK im Schwebbett und Ozonung vor Sandfilter in Bezug auf „weiche“ Faktoren beurteilt.

Tabelle 4: Beurteilungsmatrix

	GAK im Schwebbett	GAK	Ozon vor Sandfilter
Reduktion EMV gemäss GSchG			
Flexibilität Abwasseränderung			
Einfluss auf Reinigungsleistung bestehende ARA			
Unterhaltsarbeiten			
Kosten / Nutzenverhältnis			
Energieverbrauch			
Jahreskosten			
Platzbedarf			
Erweiterbarkeit			
Bewilligungspraxis BAFU			
CO ₂ -Footprint			
Arbeitssicherheit			
Integration in Landschaft			

Erläuterungen zur Beurteilung

- Reduktion EMV gemäss GSchG
 - alle Verfahren erfüllen die geforderte Elimination von Mikroverunreinigungen
- Flexibilität Abwasseränderung
 - GAK im Schwebbett: Dosierung kann der Belastung angepasst werden
 - GAK-Filter: kann nicht auf Frachtschwankungen reagieren
 - Ozonung: bei Ansiedlung problematischer Abwassereinleiter ist die Ozonung allenfalls nicht mehr geeignet (Oxidationsnebenprodukte)
- Einfluss auf Reinigungsleistung bestehende ARA
 - GAK-Filter und Ozon vor Sandfilter: erhöhte Rückläufe (v.a. hydraulische Zusatzbelastung)
- Unterhaltsarbeiten
 - erhöhter Aufwand bei allen drei Varianten durch zusätzliche Verfahrensstufen

- Kosten / Nutzenverhältnis
 - GAK-Filter: Unsicherheiten bzgl. Standzeit GAK (Unsicherheit Betriebskosten)
- Energieverbrauch
 - GAK im Schwebbett: insgesamt geringer Energieverbrauch
 - GAK-Filter: erhöhter Energieverbrauch als GAK im Schwebbett infolge höheren Pumpkosten
 - Ozonung: hoher Stromverbrauch bei der Ozonherstellung (Ozongeneratoren)
- Jahreskosten
 - GAK-Filter: höhere Jahreskosten infolge höheren Betriebskosten auf Basis von 30'000 Bettvolumina (Annahme)
- Platzbedarf
 - GAK im Schwebbett: kompakter realisierbar als GAK-Filter und Ozonung
- Erweiterbarkeit
 - GAK im Schwebbett und GAK-Filter: Bau von zusätzlichen Zellen relativ einfach möglich
 - Ozonung: Kapazitätserweiterung infolge der Bauform sowie den maschinellen Ausrüstungen wie Ozongeneratoren komplexer und anspruchsvoller
- Bewilligungspraxis BAFU
 - GAK-Filter: noch wenig Betriebserfahrungen vorhanden, daher ist das BAFU eher zurückhaltend
- CO₂-Footprint
 - Ozonung: nur grün, bei Nutzung von sauberem Strom (Ökostrom), ansonsten gelb
- Arbeitssicherheit
 - Ozonung: wesentlich höhere Auflagen bzgl. Arbeitssicherheit (z.B. Sturmlüftung), anspruchsvoll für das Betriebspersonal
- Integration in Landschaft
 - Alle Varianten können gut in die bestehende Anlage und Landschaft integriert werden.
 - Die Höhe der Bauwerke liegt je nach Filterart zwischen 6 und 12 m über Terrain.

4 KOORDINATION MIT GEPLANTEN PROJEKTEN

Mit dem ARA-Betrieb wurde eine Besprechung durchgeführt, um allfällige zukünftige Projekte, die auf der ARA Frauenfeld anstehen, in der vorliegenden Studie zu integrieren.

Dabei ging es vor allem darum, mögliche Synergien mit der Erstellung der MV-Stufe aufzuzeigen, so dass diese entsprechend bei der Planung der EMV-Stufe (Layout etc.) berücksichtigt werden können.

4.1 Notstromgenerator

Der bestehende Notstromgenerator mit einer Leistungskapazität von 80 kW hat seine Lebensdauer erreicht und soll ersetzt werden. Dabei soll gleichzeitig dessen Kapazität signifikant erhöht werden, um im Notstrombetrieb alle notwendigen Aggregate gesichert mit Strom versorgen zu können.

Der Raum, in dem das bestehende Notstromaggregat derzeit betrieben wird, ist vom Platz her gerade ausreichend für das bestehende Aggregat. Für ein für die Zukunft notwendiges grösseres Aggregat ist dieser Raum jedoch viel zu klein. Deshalb ist in diesem Fall geplant, den Notstromgenerator neu im Gebäude der EMV-Stufe unterzubringen.

In der Planung der EMV-Stufe wird entsprechend ein Raum mit ausreichender Grösse vorgesehen. Der Raumdimensionierung zugrunde gelegt wurde ein Aggregat der Firma Avesco (Lieferant des bestehenden BHKW's) mit einer Leistung von 180 kW (CAT C7.1 / DE200E3). Dies resultiert in einer Raumgrösse von 6.0 x 8.0 m, um genügend Freiraum (2 m) um die Anlage zu schaffen. Der Raum wird im unteren Geschoss des zweistöckigen Gebäudes (Erdgeschoss) angeordnet, um so einen ebenerdigen Montagezugang für dieses relativ grosse Aggregat zu gewährleisten.

4.2 Traforaum und Unterwarte Biologie

Der Traforaum sowie die Unterwarte Biologie befinden sich derzeit im UG zwischen Belebungs- und Nachklärbecken. Da die Anlagen ihre Lebensdauer erreicht haben, sollen diese ersetzt werden.

Der Trafo ist leistungsmässig ziemlich ausgelastet. Auch die Unterwarte Biologie ist platzmässig eingeschränkt. Deshalb wird überlegt, diese beiden Anlagen in ein neues Gebäude zu zügeln.

Es ist daher geplant, diese Anlagen neu ebenfalls im Gebäude der neuen EMV-Stufe zu integrieren. Dabei wird der Traforaum Erdgeschoss des Gebäudes platziert, um einen eben-erdigen Zugang zu schaffen.

Die Unterwarte Biologie wird über diesem Raum im oberen Geschoss angeordnet.

4.3 Maschinenhaus 2

Das alte Maschinenhaus 2, welches noch vom Erstausbau im Jahr 1969 stammt und in dem das Betriebsgebäude, die Werkstatt und das Labor untergebracht sind, muss in den nächsten Jahren saniert werden. Es gilt allenfalls zu überlegen, dass anstelle einer Sanierung ein Neubau erstellt wird. Der Betrieb zieht dabei in Erwägung, dass diese Räumlichkeiten in einem neuen Gebäude auf dem Areal einzurichten, welches für den Bau der EMV-Stufe vorgesehen ist.

Deshalb wird die EMV-Stufe so auf dem zur Verfügung stehenden Areal angeordnet, dass noch genügend Platz für den Neubau eines neuen Betriebsgebäudes (Sitzungszimmer, Büros, Werkstatt, Labor, etc.) vorhanden ist.

4.4 Anschluss Leitungsgang

Der bestehende Leitungsgang zwischen den Nachklärbecken soll in Richtung EMV-Stufe erweitert werden und an das Gebäude der EMV-Stufe angeschlossen werden. Über diesen Leitungsgang soll die Erschliessung der EMV-Stufe erfolgen (Zuleitungen etc.).

Dies wird in der Disposition der EMV-Stufe entsprechend berücksichtigt.

5 LAYOUT DER DREI VARIANTEN

5.1 GAK im Schwebebett

5.1.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter: 15 m/h
- Dosierung GAK: 10 mg/L
- Silo Frischkohle 50 m³ (ca. 3-4 Monate Kapazität)
- Mulde 20 t für beladene Kohle

5.1.2 Disposition

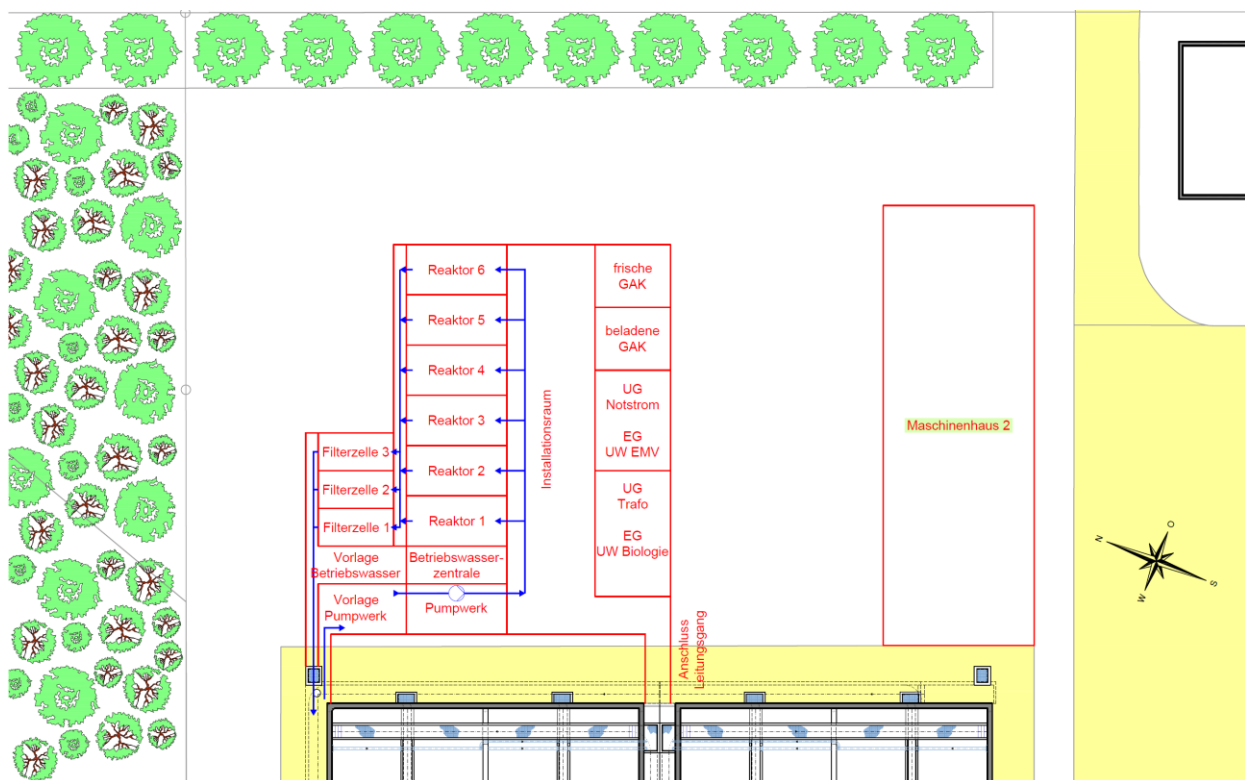


Abbildung 4: Übersichtsplan GAK im Schwebebett

Das Verfahren GAK im Schwebebett ist ein aufwärts durchströmtes Filtrationsverfahren.

Der Ablauf der Filterstufe kann deshalb optimal im Verhältnis zum Entnahme- und Rückführungspunkt auf 391.25 m ü. NN auf ca. 392 m ü. NN platziert werden. Damit kann das tiefere Terrain des zu bebauenden Areals ausgenutzt werden.

Das Filtrationsgebäude wird im nordwestlichen Bereich des zur Verfügung stehenden Areals angeordnet. Eine allfällige zukünftige Erweiterungsmöglichkeit der EMV-Stufe ist in nordöstlicher Richtung vorgesehen.

Aufgrund der kompakten Grösse der Filterzellen resp. der relativ geringen notwendigen Filteroberfläche bei einer Filtergeschwindigkeit von 15 m/h konnten die Filterzellen trotzdem kompakt einstrassig angeordnet werden.

Die Filterspülpumpen können im Installationsraum vor den Filterzellen angeordnet werden.

Gemäss derzeitigem Stand der Technik wurde in Absprache mit dem AfU TG nach der Behandlung des Abwassers in den Schwebebett-Reaktoren eine abschliessende Tuchfiltration mit Polstofffiltern der Firma Mecana eingeplant. Auch für diese Maschinentechnik wurde eine Richtofferte eingeholt. Der Bau dieser zusätzlichen Filtrationsstufe als «Polzeifilter» ist gemäss Rückmeldung des BAFU aktuell noch subventionsberechtigt.

Für die Vorlage Pumpwerk sind 100 m³ geplant. Dies ist entsprechend der verfahrens- und regeltechnischen Aspekte in den nächsten Planungsphasen zu verifizieren.

Für das Pumpwerk (trocken aufgestellte Kreispumpen) sind 35 m² vorgesehen, da die Pumphöhe hier nur ca. 2.50 m beträgt.

Die Vorlage für das Betriebswasser wurde mit 80 m³ bemessen.

Die Betriebswasserzentrale erhält eine Grundfläche von 25 m².

Im unteren Geschoss sind der Notstromgenerator auf 50 m² und der Traforaum auf 60 m² untergebracht.

Über dem Notstromgenerator ist die Unterwarte für die EMV-Stufe geplant. Hier hat es Platz für ca. 25 Schaltschränke.

Über dem Traforaum soll die Unterwarte der Biologie installiert werden. Hier ist Platz für ca. 40 Schaltschränke, was sicherlich ausreichend ist.

Der Anschluss an den Leitungsgang zwischen den Nachklärbecken erfolgt am südwestlichen Ende des geplanten Filtergebäudes.

Die Sohle des Leitungsgangs liegt auf 388.40 m ü. NN. Die Sohle des Filtrationsgebäudes ist ebenfalls auf diesem Niveau geplant. Somit kann das untere Geschoss der EMV-Stufe ebenerdig an den Leitungsgang angeschlossen werden.

Das Obergeschoss des EMV-Gebäudes kann über einen Aufgang von ca. 1 m Höhenunterschied von der Strasse um die Nachklärbecken aus zugänglich gemacht werden.

Für den Neubau des Gebäudes mit den Räumlichkeiten des Maschinenhauses 2 ist genügend Platz im südlichen Bereich des Areals vorhanden. Es wurde die komplette Grösse des vorhandenen Maschinenhauses 2 auf das Areal als Platzhalter projiziert. Die tatsächliche Grösse des Gebäudes wird bei der Ausarbeitung des Projektes «Zügeln Räumlichkeiten Maschinenhaus 2» eruiert werden.

5.2 GAK-Filter

5.2.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter: 7 m/h
- Mindestverweilzeit im Filterbett: 15 min
- Filterstandzeit 30'000 Bettvolumina

5.2.2 Disposition

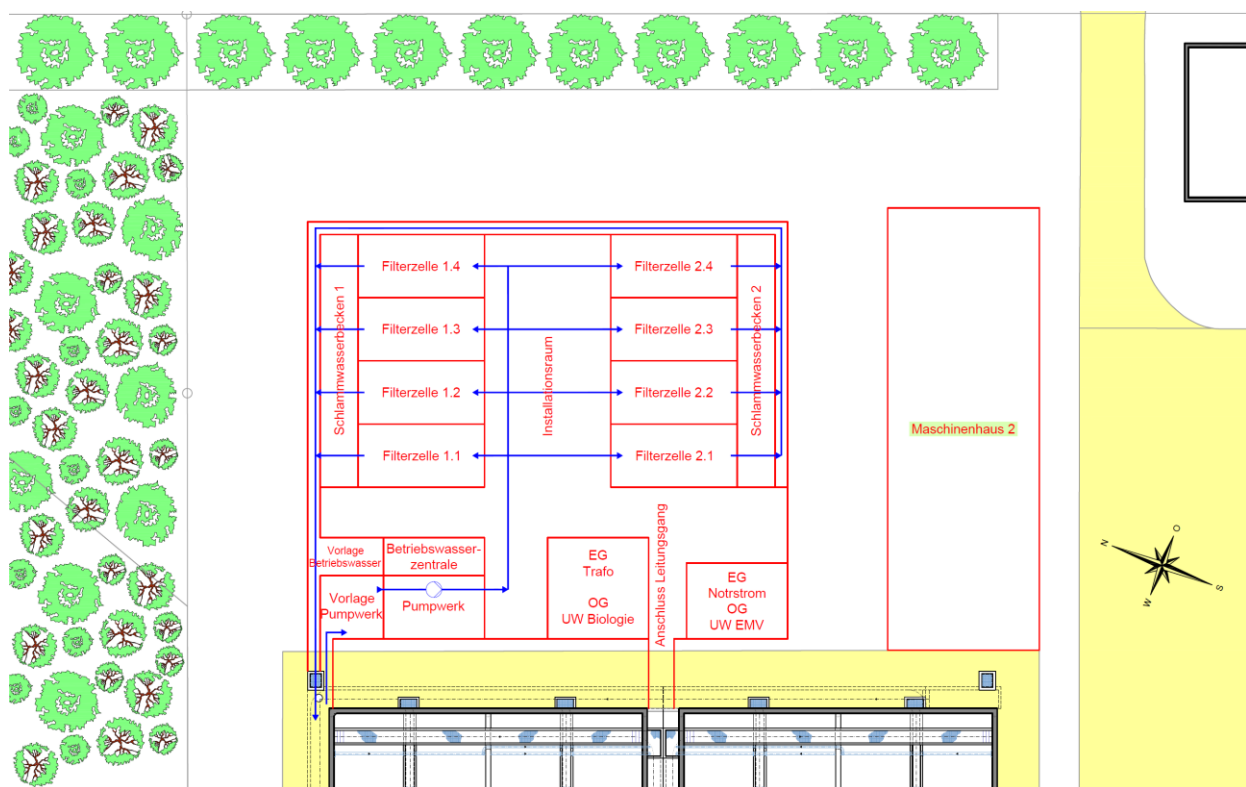


Abbildung 5: Übersichtsplan GAK-Filtration

Ein konventioneller Raumfilter wird gravitativ von oben nach unten durchströmt.

Dazu wird das zu behandelnde Abwasser auf den Filter gepumpt, durchströmt diesen und gelangt vom Klarwasserbecken wieder zurück in den Ablauf.

Dementsprechend ist das Spülwasser – resp. Auffangbecken für den Klarwasserablauf der Filtration unter der Filterzelle und dem Polsterraum angeordnet.

Da vermieden werden soll, dass sowohl vor als auch nach der Filtrationsstufe gepumpt werden muss, muss die Sohle des EMV-Gebäudes entsprechend auf ca. 391 m ü. NN angeordnet werden. Dadurch ist es notwendig, das tieferliegende Terrain des zu bebauenden Areals aufzuschütten (Abtrag der Oberschicht bis auf tragfähiges Bodenmaterial, danach Einbau von entsprechend tragfähigem Untergrundmaterial).

Eine allfällige zukünftige Erweiterungsmöglichkeit der EMV-Stufe ist auch hier in nordöstlicher Richtung möglich. Deshalb wurde die GAK-Filtration der EMV-Stufe zweistrassig geplant.

Im Installationsgang am Kopf der beiden Filterzellenstrassen können die Schlammwasserpumpen installiert werden.

Die Filterspülpumpen können im Installationsraum zwischen den beiden Filterstrassen aufgestellt werden.

Für die Vorlage vom Pumpwerk sind 100 m³ geplant. Dies ist entsprechend der verfahrens- und regeltechnischen Aspekte in den nächsten Planungsphasen zu verifizieren. Dieser Behälter muss im Gegensatz zum restlichen EMV-Gebäude unter Terrain angeordnet werden, damit genug Volumen als Vorlage generiert werden kann (freier Zulauf aus Ablauf Nachklärung).

Für das Pumpwerk (trocken aufgestellte Kreiselumpen) sind 40 m² geplant, Das Wasser muss hier auf 8 m Höhe gepumpt werden.

Die Vorlage für das Betriebswasser wurde hier mit 50 m³ eingeplant.

Die Betriebswasserzentrale erhält eine Grundfläche von 25 m².

Im unteren Geschoss des Gebäudes sind der Notstromgenerator auf 50 m² und der Traforaum auf 60 m² untergebracht.

Über dem Notstromgenerator ist die Unterwarte für die EMV-Stufe geplant. Hier hat es Platz für ca. 25 Schaltschränke.

Über dem Traforaum soll die Unterwarte der Biologie installiert werden. Hier können ca. 40 Schaltschränke aufgestellt werden.

Der Anschluss an den Leitungsgang zwischen den Nachklärbecken erfolgt am westlichen Rand der GAK-Filtration.

Die Sohle des Leitungsgangs liegt auf 388.40 m ü. NN.

Dies bedeutet, dass der Leitungsgang via Aufgang auf das Niveau der Sohle des EMV-Gebäudes (391 m ü. NN) angeschlossen werden muss.

Das untere Geschoss der EMV-Stufe kann über einen Abgang mit ca. 1 m Höhenunterschied von der Strasse um die Nachklärbecken aus direkt zugänglich gemacht werden.

Für den Neubau des Gebäudes mit den Räumlichkeiten des Maschinenhauses 2 ist genügend Platz im südlichen Bereich des Areals vorhanden. Es wurde die komplette Grösse des vorhandenen Maschinenhauses 2 auf das Areal als Platzhalter projiziert. Die tatsächliche Grösse des Gebäudes wird bei der Ausarbeitung des Projektes «Zügeln Räumlichkeiten Maschinenhaus 2» eruiert werden.

5.3 Ozon vor Sandfilter

5.3.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- Verweilzeit im Kontaktreaktor: 20 min
- maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter: 12 m/h
- Sauerstoffsilo: 30 m³
- Dosierung Ozon: 5 mg/L

Die tatsächlich benötigte Menge Ozon kann im Betrieb optimiert werden.

5.3.2 Disposition

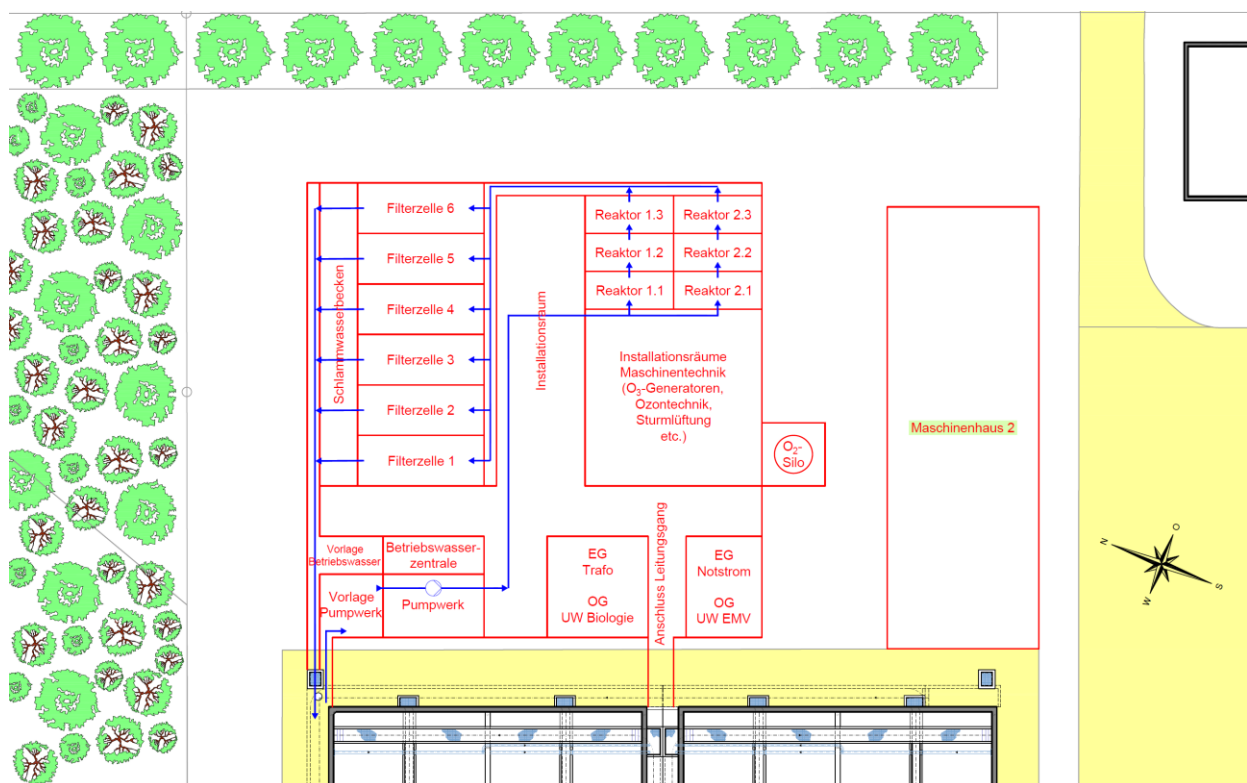


Abbildung 6: Übersichtsplan Ozonung

Auch die Ozonung benötigt einen konventionellen Raumfilter als Nachbehandlungsstufe, um allfällige Metaboliten aus der Ozonbehandlung biologisch zu eliminieren. Dieser funktioniert analog einem GAK-Filter (siehe Kapitel 5.2.2).

Somit gelten dieselben Aspekte zur Anordnung der Sohle des EMV-Gebäudes wie bei der GAK-Filtration.

Da vermieden werden soll, dass sowohl vor als auch nach der Filtrationsstufe gepumpt werden muss, muss die Sohle des EMV-Gebäudes entsprechend auf ca. 391 m ü. NN angeordnet werden. Dadurch ist es notwendig, das tieferliegende Terrain des zu bebauenden Areals aufzuschütten (Abtrag der Oberschicht bis auf tragfähiges Bodenmaterial, danach Einbau von entsprechend tragfähigem Untergrundmaterial).

Eine allfällige zukünftige Erweiterungsmöglichkeit der EMV-Stufe ist auch hier in nordöstlicher Richtung möglich. Allerdings ist nicht so viel Platz wie bei den anderen Varianten vorhanden.

Im Installationsgang am Kopf der Filterzellen werden die Schlammwasserpumpen platziert.

Die Filterspülpumpen können im Installationsraum vor den Filterzellen aufgestellt werden.

Für die Vorlage vom Pumpwerk sind 100 m³ geplant. Dies ist entsprechend der verfahrens- und regeltechnischen Aspekte in den nächsten Planungsphasen zu verifizieren. Dieser Behälter muss analog wie beim GAK-Filter ebenfalls unter Terrain angeordnet werden, damit genug Volumen als Vorlage generiert werden kann (freier Zulauf aus Ablauf Nachklärung).

Für das Pumpwerk (trocken aufgestellte Kreiselumpen) sind 40 m² geplant, Das Wasser muss hier auf 8 m Höhe gepumpt werden.

Die Vorlage für das Betriebswasser wurde hier mit 50 m³ eingeplant.

Die Betriebswasserzentrale erhält eine Grundfläche von 25 m².

Die Installationsräume für die Maschinenteknik, die für eine Ozonung notwendig sind, sind entsprechend grosszügig bemessen, um der umfangreichen notwendigen Technik (insbesondere Ozongeneratoren, umfangreiche Sicherheitstechnik, voluminöse Sturmlüftung etc.) genügend Platz zu bieten.

Das Sauerstoffsilo wird ausserhalb des Gebäudes platziert, mit entsprechendem Sicherheitsumschwingung.

Im unteren Geschoss des Gebäudes sind der Notstromgenerator auf 50 m² und der Traforaum auf 60 m² untergebracht.

Über dem Notstromgenerator ist die Unterwarte für die EMV-Stufe geplant. Hier hat es Platz für ca. 25 Schaltschränke.

Über dem Traforaum soll die Unterwarte der Biologie installiert werden. Hier können ca. 40 Schaltschränke aufgestellt werden.

Der Anschluss an den Leitungsgang zwischen den Nachklärbecken erfolgt am westlichen Rand der GAK-Filtration.

Die Sohle des Leitungsgangs liegt auf 388.40 m ü. NN.

Dies bedeutet, dass der Leitungsgang via Aufgang auf das Niveau der Sohle des EMV-Gebäudes (391 m ü. NN) angeschlossen werden muss.

Das untere Geschoss der EMV-Stufe kann über einen Abgang mit ca. 1 m Höhenunterschied von der Strasse um die Nachklärbecken aus direkt zugänglich gemacht werden.

Für den Neubau des Gebäudes mit den Räumlichkeiten des Maschinenhauses 2 ist genügend Platz im südlichen Bereich des Areals vorhanden. Es wurde die komplette Grösse des vorhandenen Maschinenhauses 2 auf das Areal als Platzhalter projiziert. Die tatsächliche Grösse des Gebäudes wird bei der Ausarbeitung des Projektes «Zügeln Räumlichkeiten Maschinenhaus 2» eruiert werden.

5.3.3 Behandelbarkeit mit Ozon

Das Abwasser der ARA Frauenfeld wurde bzgl. der Behandelbarkeit mit Ozon durch das Labor Envilab eingehend untersucht.

Die Untersuchung ergab, dass sporadisch erhöhte Bromidkonzentrationen im Zulauf der geplanten Ozonung und dadurch erhöhte Bromatbildung vorkommen. Alle anderen Resultate der Untersuchung liegen im grünen Bereich.

Eine Rückmeldung des BAFU zu den Untersuchungsergebnissen des Labors Envilab liegt inzwischen vor.

Zusammengefasst steht das BAFU einer Ozonung des Abwassers der ARA Frauenfeld eher kritisch resp. ablehnend gegenüber. Die Bromatbildung bei der Ozonung wird als kritisch eingestuft. Eine allfällige Ozonung wäre mit Auflagen verbunden (Identifizierung und Beseitigung industrieller Bromidquellen).

Deshalb empfiehlt das BAFU, ein Aktivkohleverfahren – namentlich GAK im Schwebebett – weiterzuverfolgen. Es wurde seitens BAFU auch darauf hingewiesen, dass der Bau einer nachgeschalteten Filtration aktuell noch abgeltungsberechtigt ist.

6 KOSTEN

6.1 Vorbemerkungen Bundesabgeltungen

Die Investitionskosten für die EMV werden zu 75% durch den Bund subventioniert. Nicht alle anfallenden Kosten werden jedoch subventioniert (z.B. architektonische Beratung, Abbrucharbeiten und dgl.). Wir schätzen, dass rund 95% der Investitionskosten abgeltungsberechtigt sind.

Die Bestimmungen zur Finanzierung von EMV-Stufe können dem Umwelt-Vollzugs-Dokument vom Bundesamt für Umwelt (BAFU, 2016) „Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen, Finanzierung von Massnahmen“ entnommen werden.

Seit dem 1. Januar 2016 zahlt die ARA Frauenfeld eine Abgabe an den Bund zur Finanzierung von EMV-Stufen von CHF 9.- pro angeschlossenen Einwohner und Jahr. Nach Erstellung der EMV-Stufe fällt dieser Betrag weg. Geht man von angeschlossenen 36'000 Einwohnern gemäss Geschäftsbericht aus, fallen entsprechend nach Erstellung der EMV-Stufe Bundesbeiträge von rund CHF 324'000.- weg. Hingegen fallen in der Folge die Kosten für den Betrieb und Unterhalt sowie allfällige Finanzierungskosten an.

Das Verfahren zur Gewährung der Subventionen durch das BAFU ist nachfolgend dargestellt.

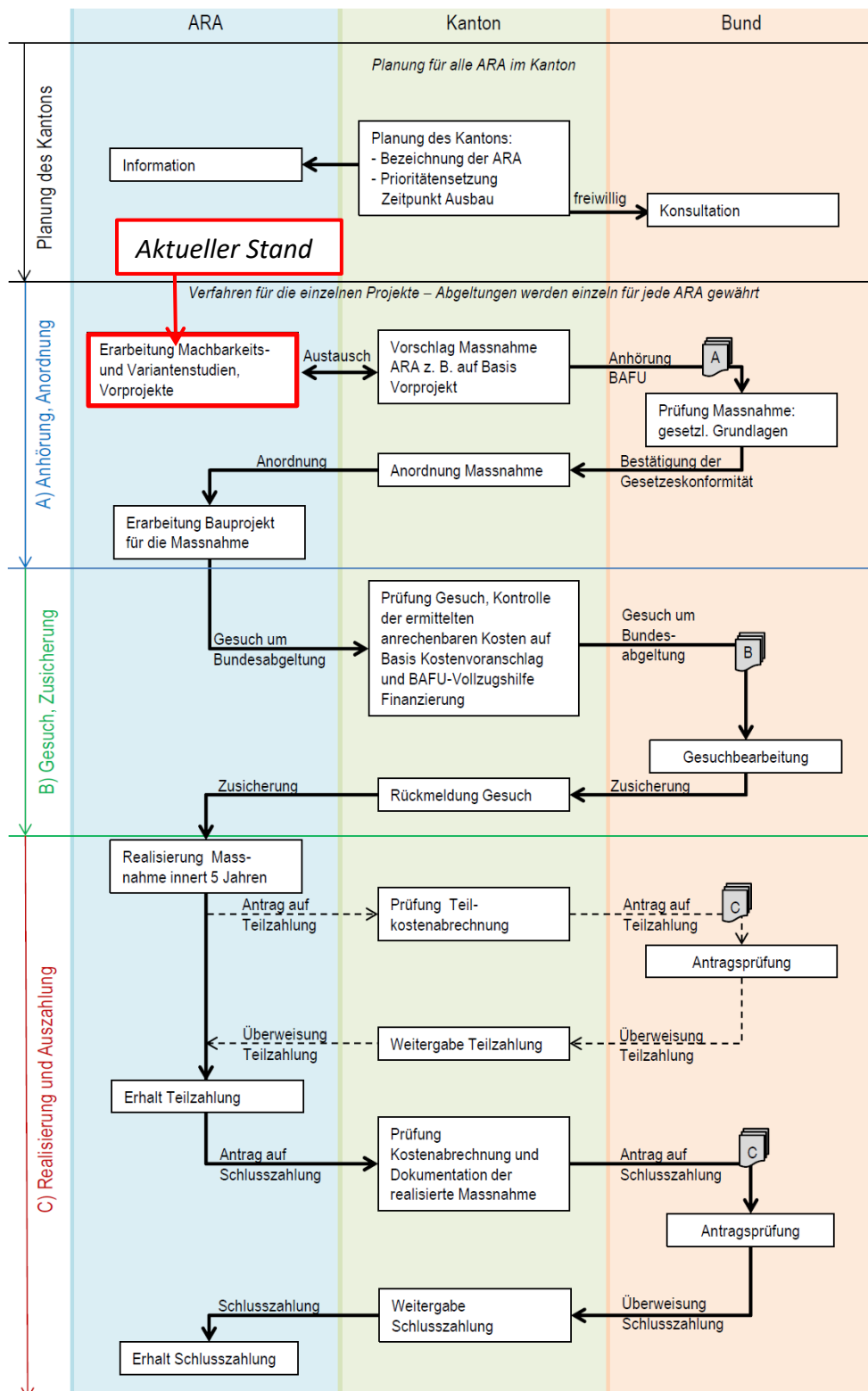


Abbildung 7: Verfahren zur Gewährung von Abteilungen

Quelle: Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasseranlagen, Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern 2016

6.2 Kostenermittlung

6.2.1 Baukosten

Tabelle 5: Ermittlung der Baukosten

	GAK im Schwebebett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Pumpwerk			
Breite (m)	4	5	5
Länge (m)	15	14	14
Fläche (m ²)	60	70	70
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	300	350	350
Kontaktbecken			
Breite (m)			11
Länge (m)			16
Fläche (m ²)	0	0	176
Höhe (m)			7
Bauvolumen (m ³)	0	0	1'232
Filtration			
Breite (m)	18	22	18
Länge (m)	24	32	26
Fläche (m ²)	432	704	468
Höhe (m)	10	10	10
Bauvolumen (m ³)	4'320	7'040	4'680
Silos			
Breite (m)	10		5
Länge (m)	6		5
Fläche (m ²)	60	0	25
Höhe (m)	10		5
Bauvolumen (m ³)	600	0	125
Installationsräume			
Breite (m)	6	6	12
Länge (m)	12	38	34
Fläche (m ²)	72	228	408
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	360	1'140	2'040

	GAK im Schwebbett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Trafo			
Breite (m)	6	8	8
Länge (m)	10	8	8
Fläche (m ²)	60	64	64
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	300	320	320
Notstrom			
Breite (m)	6	6	6
Länge (m)	8	8	8
Fläche (m ²)	48	48	48
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	240	240	240
UW EMV			
Breite (m)	6	6	6
Länge (m)	8	8	8
Fläche (m ²)	48	48	48
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	240	240	240
UW Biologie			
Breite (m)	6	8	8
Länge (m)	10	8	8
Fläche (m ²)	60	64	64
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	300	320	320
Betriebswasser			
Breite (m)	3	3	3
Länge (m)	16	16	16
Fläche (m ²)	48	48	48
Höhe (m)	5	5	5
Bauvolumen (m ³)	240	240	240
Total Bauvolumen (m ³)	6'900	9'890	9'787
Kosten	4'140'000	5'934'000	5'872'200
Fläche (m ²)	888	1'274	1'419
Aushub / Aufschüttung	200'000	400'000	400'000
Umgebungsarbeiten	400'000	400'000	400'000
Summe Baukosten brutto	4'740'000	6'734'000	6'672'200

6.2.2 Investitionskosten

Tabelle 6: Investitionskosten

	GAK im Schwebbett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Summe Baukosten brutto	4'740'000	6'734'000	6'672'200
Elektro- und Maschinentechnik			
Pumpwerk	150'000	200'000	200'000
Ozonung			1'200'000
PAK-Stufe			
Filtration	4'400'000	2'800'000	1'600'000
HLKS	500'000	800'000	1'300'000
EMSRL	1'400'000	1'400'000	1'800'000
Betriebswasser	100'000	100'000	100'000
Summe EMT brutto	6'550'000	5'300'000	6'200'000
Total brutto	11'290'000	12'034'000	12'872'200
Generalplaner 15%	1'693'500	1'805'100	1'930'830
Baunebenkosten 5%	564'500	601'700	643'610
Unvorhergesehenes 10%	1'129'000	1'203'400	1'287'220
Summe Nebenkosten brutto	3'387'000	3'610'200	3'861'660
Investitionskosten brutto exkl. MwSt.	14'677'000	15'644'200	16'733'860
ca. 95% durch BAFU abgeltungsberechtigt	13'943'150	14'861'990	15'897'167
75% Subventionsbeitrag BAFU	10'457'363	11'146'493	11'922'875
Investitionskosten netto exkl. MwSt.	4'219'638	4'497'708	4'810'985

Kostengenauigkeit $\pm 30\%$

EMT = Elektro- und Maschinentechnik

6.2.3 Betriebskosten

Tabelle 7: Betriebskosten

	GAK im Schwebebett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Betriebskosten			
Q (m3/a, 2016/2017)	6'466'000	6'466'000	6'466'000
Strom			
Pumpwerk Wh/m3	8	24	24
Ozon 5 mg/l Wh/m3			50
GAK Wh/m3	20	20	
Filter Wh/m3			10
Summe Wh/m3	28	44	84
Stromverbrauch kWh/a	181'048	284'504	543'144
Stromkosten	21'726	34'140	65'177
LOX kg/a			323'300
Kosten LOX			80'825
PAK/GAK	10 mg/l	30'000 BV	
PAK/GAK kg/a	64'660	96'990	
Kosten PAK/GAK	129'320	193'980	
Fällmittel (1 mg/l) kg/a			
Total Betriebsmittel	151'046	228'120	146'002
Schlamm Entsorgung	8'000	8'000	8'000
Wartung Bau 0.5%	23'700	33'670	33'361
Wartung EMT 2%	131'000	106'000	124'000
Personal 30%	27'000	27'000	27'000
Summe Betriebskosten	340'746	402'790	338'363

Vergleich zur Abwasserabgabe

Gemäss der revidierten Gewässerschutzgesetzgebung kann der Bund bis zu 75% der Investitionskosten übernehmen. Zur Finanzierung dieser Beiträge erhebt der Bund seit dem Jahr 2016 eine Abwasserabgabe von CHF 9.00 pro Einwohner und Jahr. Die Abgabe entfällt gemäss der aktuellen Gesetzgebung spätestens am 31. Dezember 2040. Kläranlagen, welche die zusätzliche Reinigungsstufe realisiert haben, werden von dieser Abwasserabgabe befreit. Wie die nachfolgende Abschätzung zeigt, liegen die zu erwartenden Betriebskosten in der gleichen Grössenordnung wie die derzeitigen Kosten für die Abwasserabgabe.

Angeschlossene Einwohner AV Region Frauenfeld:	ca. 36'000
Abwasserabgabe pro Einwohner:	CHF 9.00/E · a
Abwasserabgabe AV Region Frauenfeld:	CHF 324'000.00/a
Betriebskosten GAK im Schwebebett:	CHF 340'746.00/a

6.2.4 Jahreskosten

Tabelle 8: Jahreskosten

	GAK im Schwebbett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Jahreskosten ohne Subvention			
Betriebskosten	340'746	402'790	338'363
Annuität Bau (40 Jahre, 3%)	4.33%	4.33%	4.33%
Kosten	205'242	291'582	288'906
Annuität EMT (20 Jahre, 3%)	6.72%	6.72%	6.72%
Kosten	440'160	356'160	416'640
Annuität Nebenkosten (30 Jahre, 3%)	5.10%	5.10%	5.10%
Kosten	172'737	184'120	196'945
Summe Jahreskosten o. Subv.	1'158'885	1'234'653	1'240'854
	GAK im Schwebbett	GAK-Filter	Ozon vor Sandfilter
Jahreskosten mit Subvention			
Betriebskosten	340'746	402'790	338'363
Annuität Bau (40 Jahre, 3%)	4.33%	4.33%	4.33%
Kosten	59'007	83'830	83'061
Annuität EMT (20 Jahre, 3%)	6.72%	6.72%	6.72%
Kosten	126'546	102'396	119'784
Annuität Nebenkosten (30 Jahre, 3%)	5.10%	5.10%	5.10%
Kosten	49'662	52'935	56'622
Summe Jahreskosten m. Subv.	575'961	641'951	597'829

EMT = Elektro- und Maschinentechnik

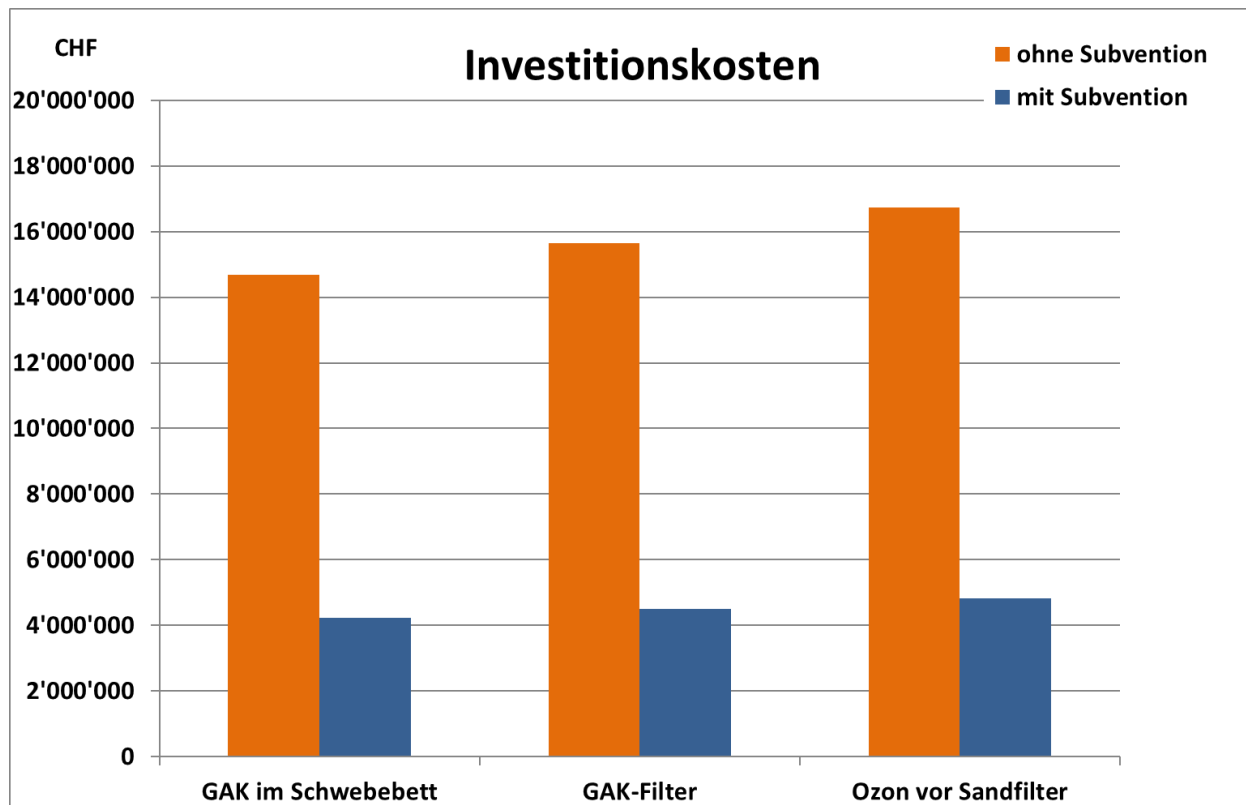


Abbildung 8: Vergleich der Investitionskosten

Die Investitionskosten wurden mit einer Kostengenauigkeit von $\pm 30\%$ ermittelt.

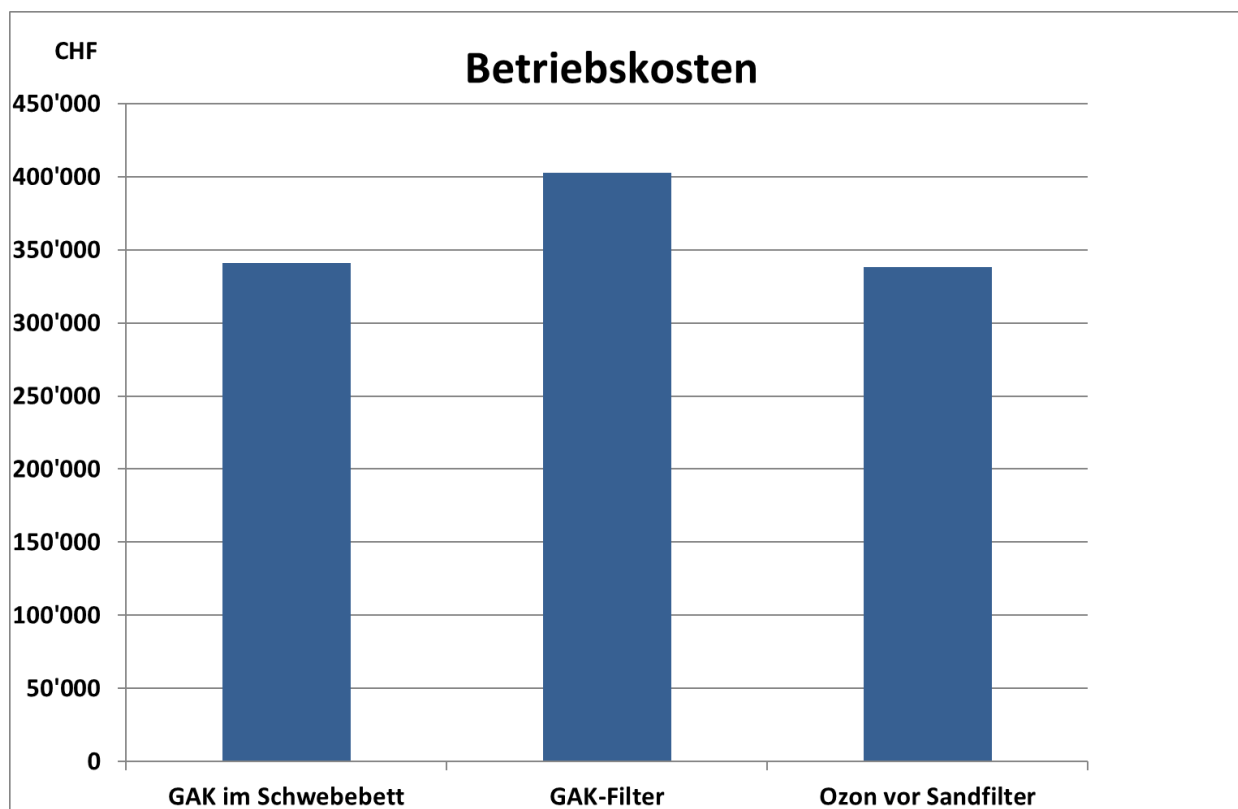


Abbildung 9: Vergleich der Betriebskosten

Die Betriebsmittel wurden anhand von bereits realisierten Anlagen und deren Betriebserfahrungen abgeschätzt.

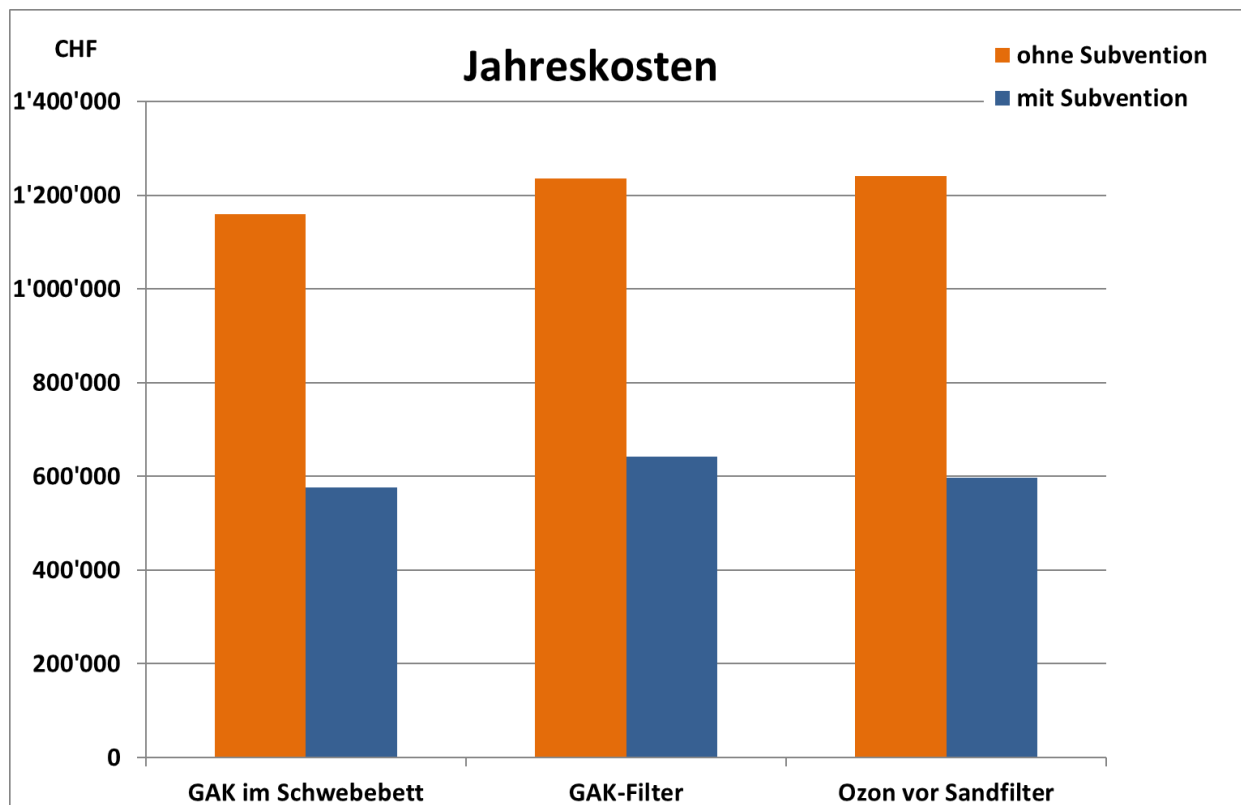


Abbildung 10: Vergleich der Jahreskosten

Für die Maschinentechnik wurden bei spezialisierten Lieferfirmen Richtofferten eingeholt.

Die Ausrüstung für das Verfahren GAK im Schwebebett wird aktuell nur von einem Anbieter aus Frankreich offeriert (Stereau SA, F-92130 Issy-les-Moulineaux), der dieses System zurzeit exklusiv vertreibt.

Bei der Verfahrenswahl ist somit zu bedenken, dass man beim System GAK im Schwebebett aktuell von diesem einen Anbieter abhängig ist. Damit die Garantien gewährt werden, gibt die Firma zudem auch den Typ der Kohle resp. GAK vor, welcher einzusetzen ist. Dies schlägt sich allenfalls auf die Betriebskosten nieder.

Allgemein gilt es zu beachten, dass es sich bei sämtlichen eingeholten Preisen für die drei Varianten um Richtpreise handelt, welche von den Kosten bei der definitiven Submission allenfalls noch erheblich abweichen können.

7 ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNG

Rückstände von Medikamenten, Reinigungsmitteln, Pflegeprodukten und dgl. belasten unsere Gewässer. Die Schweizerische Gewässerschutzgesetzgebung verlangt darum seit 2016 für ausgewählte ARA eine zusätzliche Reinigungsstufe.

Der Ausbau der ARA wird in der aktualisierten Gewässerschutzgesetzgebung geregelt, die seit Januar 2016 in Kraft ist. Der Bau zusätzlicher Reinigungsstufen erfolgt dort, wo der Nutzen am grössten ist. Die ARA Frauenfeld fällt unter das in der Gesetzgebung aufgeführte Kriterium 3:

- *Anlagen ab 8'000 Einwohnern, die in ein Fliessgewässer mit einem Abwasseranteil von mehr als 10% bezüglich organischen Spurenstoffen ungereinigtes Abwasser einleiten.*

Grundsätzlich eignen sich Ozon und Aktivkohle zur Elimination der Mikroverunreinigungen.

In einem zweistufigen Evaluationsverfahren wurden die folgenden drei Verfahrensvarianten gewählt, welche genauer betrachtet und miteinander verglichen wurden:

- GAK im Schwebebett
- GAK-Filter
- Ozondosierung vor einem Sandfilter

Für alle Varianten wurden Richtofferten für die verfahrensrelevante Maschinentechnik eingeholt. Die Angaben der Lieferanten wurden in der Disposition entsprechend berücksichtigt. Beim AV Region Frauenfeld sind noch diverse weitere Projekte in Planung (Notstromaggregat, Traforaum und Unterwarte Biologie, Maschinenhaus 2). Bei der Disposition der drei Varianten wurden diese Projekte berücksichtigt und integriert.

Die zwischenzeitlich erfolgten Untersuchungen zur Ozonierbarkeit des Abwassers der ARA Frauenfeld (Bericht Envilab vom Dezember 2019) führten zu einer ablehnenden Haltung des Subventionsgebers BAFU gegenüber einer Ozonbehandlung auf der ARA Frauenfeld. Die Bromatbildung bei der Ozonung wird durch das BAFU als kritisch eingestuft. Eine allfällige Ozonung wäre mit Auflagen verbunden (Identifizierung und Beseitigung industrieller Bromidquellen).

Das BAFU empfiehlt daher in seiner Beurteilung, das Verfahren Ozonung mit anschliessendem Sandfilter zu verwerfen. Es sei ein Aktivkohleverfahren – namentlich GAK im Schwebebett – weiterzuverfolgen.

Das Verfahren GAK im Schwebebett ist erst auf wenigen Anlagen im Einsatz. Langzeiterfahrungen im Abwasser sind daher nicht vorhanden. Neben der geforderten Reinigungsleistung der organischen Spurenstoffe (80% bezogen auf Rohabwasser) darf auch ein maximaler Aktivkohleschlupf (Verlust von mit Spurenstoffen beladener Aktivkohle im ARA-Auslauf) von 1% nicht überschritten werden.

Gemäss dem VSA-Dokument „Aktueller Stand Beurteilung Aktivkohle-Rückhalt“ vom Juni 2019 erlauben die bisherigen Resultate für GAK im Schwebebett noch keine abschliessende Beurteilung, ob eine zusätzliche Abtrennstufe z.B. mittels Tuchfiltration erforderlich ist. Seitens BAFU wurde deshalb darauf hingewiesen, dass der Bau einer nachgeschalteten Filtration aktuell noch abgeltungsberechtigt ist.

Die Erfahrungen der ARA Penthaz (GAK im Schwebbett ohne nachgeschaltete Filtration) zeigen hingegen, dass der maximale Kohleschlupf jederzeit sehr gut eingehalten werden kann.

Sowohl vom Platzbedarf als auch von der Höhenlage des EMV-Gebäudes ist das Verfahren GAK im Schwebbett gegenüber dem GAK-Filter zu favorisieren. Die Eliminationsleistungen sind sehr gut. Zudem vermag das Verfahren durch dessen Einfachheit (Betreiberfreundlichkeit) und Betriebssicherheit zu überzeugen.

Im Kostenvergleich schneidet das Verfahren GAK im Schwebbett gegenüber dem GAK-Filter ebenfalls besser ab. Allerdings ist hierbei zu beachten, dass man mit diesem System derzeit von einem einzigen Lieferanten abhängig ist. Es bleibt abzuwarten, wie der Markt spielt resp. ob andere Ausrüster ein ähnliches System entwickeln und auf den Markt bringen.

Basierend auf den vorangegangenen Erwägungen erweist sich somit das Verfahren GAK im Schwebbett als die Bestvariante, die aber mit gewissen kostenrelevanten Risiken behaftet ist.

Gemäss all diesen Überlegungen empfehlen wir der Bauherrschaft, auf der ARA Frauenfeld das Verfahren GAK im Schwebbett umzusetzen.

St. Gallen, 18. Mai 2020

KUSTER + HAGER
Ingenieurbüro AG
9014 St. Gallen

F. Wüthrich/St. Zuleeg