

Abwasserverband Region Frauenfeld Kanton Thurgau

ARA Frauenfeld



Vorstudie EMV

Auswahl 3 Bestvarianten

erstellt: 17.12.2017/WÜ, Zus
Visum PL: _____

nachgeführt: _____

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	Pulveraktivkohle (PAK)	7
3.4	GAK im Schwebebett	11
3.5	GAK-Filtration	12
3.6	Ozonung	13
3.7	Kombinationen	16
3.8	Andere Verfahren	16
3.9	Vergleich der Verfahren PAK, GAK und Ozonung	17
4	Layout der ausgewählten Verfahren	19
4.1	Ulmer Verfahren	19
4.2	PAK vor Sandfilter	20
4.3	GAK-Filter	21
4.4	GAK im Schwebebett	22
4.5	Ozon vor Sandfilter	23
4.6	Ozon vor GAK-Filter	24
5	Kosten	25
5.1	Vorbemerkung Bundessubventionen	25
5.2	Kostenermittlung	27
6	Fazit / Empfehlung	30

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 Departement legt in einer Verordnung 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 die die einzelnen Verfahren ausgelegt werden müssen.

Die Rückläufe des Verfahrens „GAK im Schwebebett“ belaufen sich hingegen erfahrungsgemäss (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.

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 genommen.

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 Schönau/Cham (CH), ARA Untermarch (CH) in Planung
	Dosierung in Biologie	ARA Flos/Wetzikon(CH)
GAK im Schwebebett	Aktivkohle im Schwebebett	STEP Penthaz (CH) ARA REAL/Luzern (CH) in Planung ARA Niederglatt (CH) in Planung
GAK	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

Dabei gelten aktuell v.a. die Verfahren mit PAK, GAK und Ozon als Stand der Technik. Die weiteren genannten Verfahren sind noch zu wenig erforscht und entsprechen aktuell nicht dem Stand der Technik.

3.3 Pulveraktivkohle (PAK)

3.3.1 Allgemeines

Der Einsatz von Pulveraktivkohle (PAK) als weitergehende Reinigungsstufe ist ein adsorptives Verfahren. Die Abwasserinhaltsstoffe - darunter auch Mikroverunreinigungen – lagern sich an der Oberfläche der Aktivkohle an (Adsorption) und werden somit aus dem Abwasser entfernt. Weil nicht nur Mikroverunreinigungen, sondern eine Vielfalt von Abwasserinhaltsstoffen an Aktivkohle adsorbieren, soll die PAK-Dosierung in einem Bereich der ARA mit möglichst tiefer Konzentration an gelöstem organischen Kohlenstoff (DOC) erfolgen, zum Beispiel nach dem Nachklärbecken oder kurz vor dem Ablauf aus der Belebung. Die Entfernung der beladenen Aktivkohle vom Abwasser erfolgt über eine nachgeschaltete Filterstufe.

Ähnlich wie bei der Belebtschlamm-Biologie kann eine bessere Ausnützung der Pulveraktivkohle erreicht werden, wenn ein Teil der getrennten PAK in die Biologie zurückgeführt wird, damit die effektive Kontaktzeit zwischen der Aktivkohle und den Mikroverunreinigungen erhöht wird. Dazu kann zum Beispiel ein Sedimentationsbecken vor dem Filter betrieben werden. Die beladene PAK wird in diesem Fall aus dem Nachklärbecken und über die Schlammbehandlung entsorgt. Es wurden keine negativen Auswirkungen der Aktivkohle auf der Schlammbehandlung und auf der Nitrifikationsleistung der bestehenden Biologie festgestellt (Meckes et al., 2014 und Eawag, 2010). Eine Regeneration der beladenen Pulveraktivkohle ist nicht möglich.

Weil PAK, wie bereits erwähnt, eine Vielfalt von Abwasserinhaltsstoffen adsorbiert, wird auch eine allgemeine Elimination der DOC erreicht. Für ARA mit schwierigem Abwasser (zum Beispiel mit grossem industriellen Anteil), die Probleme haben die DOC-Grenzwerte einzuhalten, hat das PAK-Verfahren grosse Vorteile. Zum Beispiel wurde auf der ARA Bachwis in Herisau wegen dem hohen Anteil an Textilabwasser für eine PAK-Stufe entschieden. Nach über 3 Jahren Betriebserfahrungen konnte eine DOC-Elimination von rund 35-40% erzielt werden.

Die dosierte Menge an Pulveraktivkohle ist entweder proportional zum momentanen Zufluss oder proportional zur DOC-Konzentration. Diese zweite Dosierungsweise zeigt eine konstantere Eliminationsleistung (Altman et al. 2014). Neben der Dosis spielt die Kontaktzeit zwischen dem zu behandelnden Abwasser und der dosierten PAK ebenfalls eine wichtige Rolle. Das Reaktionsbecken, wo die PAK-Dosierung erfolgt, wird auf ca. 20 – 30 Minuten Verweilzeit ausgelegt.

Um eine bessere Adsorption der Mikroverunreinigungen an der PAK zu erreichen, werden in den meisten Fällen auch Fäll- und Flockungshilfsmittel zudosiert.

Weil sich auch andere Parameter wie die Zusammensetzung des Abwassers (DOC, Art der Inhaltsstoffe), die Art der Aktivkohle oder ihre Dosierung auf die Eliminationsleistung auswirken, sind bei jedem Abwasser Testversuche Voraussetzung für die erfolgreiche Elimination von Mikroverunreinigungen.

3.3.2 Behandlung in separatem Adsorptionsreaktor (Ulmer Verfahren)

Dieses Verfahren (auch als Ulmer Verfahren bekannt) wurde auf der ARA Steinhäule in Neu-Ulm pilotiert und wird auf verschiedenen ARA in Deutschland und zwei Anlagen in der Schweiz betrieben. Die Pulveraktivkohledosierung wird bei dieser Variante der biologischen Reinigung nachgeschaltet, da die DOC-Konzentration im Ablauf des Nachklärbeckens am tiefsten ist. Die eingesetzte Menge an PAK wird so minimiert und beträgt ca. 10 – 20 mg PAK/l. Durch Sedimentation in einem zusätzlichen Absetzbecken wird die PAK vom Abwasser im Ablauf des Reaktionsbeckens getrennt und zurück in die Biologie oder in den Adsorptionsreaktor geführt, damit sie noch weiter beladen wird und sich die Eliminationsleistung des Verfahrens verbessert.

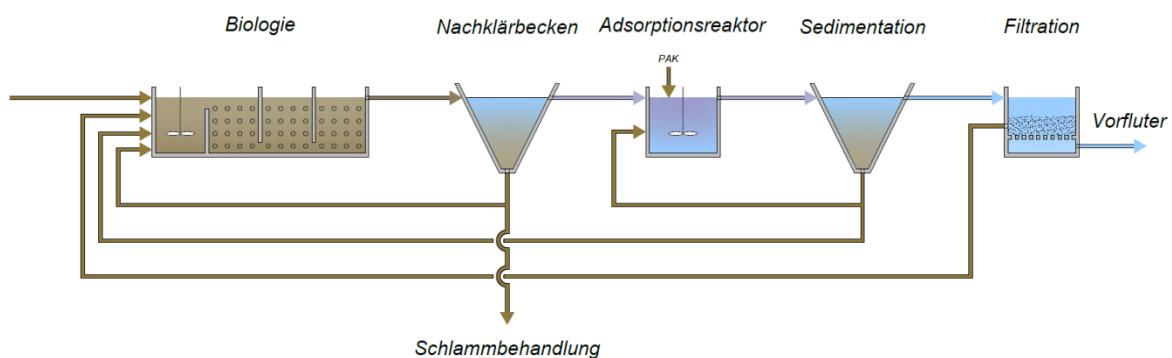


Abbildung 1:Verfahrensschema des Ulmer-Verfahrens

3.3.3 PAK-Dosierung vor Filter

Dieses Verfahren wurde auf der ARA Schönauf/Cham umgesetzt. Der Unterschied zum Ulmer-Verfahren ist die fehlende Sedimentation zur Abtrennung der Pulveraktivkohle, womit der Platzbedarf sinkt. Zudem muss das Reaktionsbecken (wo ebenfalls die Flockungsreaktion stattfindet) nur für eine hydraulische Verweilzeit von 15-30 min dimensioniert werden, da die Adsorption der Wasserinhaltsstoffe an der PAK-Oberfläche zum Hauptteil im Stauraum des Sandfilters erfolgt (Eawag, 2010). Die Filterstufe wird damit aber stärker belastet als beim Ulmer-Verfahren und muss deshalb häufiger rückgespült werden.

Die Aktivkohle wird mit der Rückspülung vom Filtermedium geräumt. Das mittlere Schlammalter der PAK im Filter entspricht deshalb nur der Hälfte des Rückspülintervalls (ungefähr bis zu 24 h) und ist somit niedriger als bei den anderen PAK-Varianten. Allerdings kann mit Rückführung des Rückspülwassers in der Biologie die Verweilzeit der PAK in der gesamten Anlage um die des Biologieschlammes erhöht werden.

Bei Anlagen, die schon über eine Flockungsfiltration verfügen, ist dieses Verfahren eine interessante Variante, da nur noch die Ausrüstung zur PAK- und Fällmitteldosierung erforderlich ist. Allerdings muss das Verfahren in dem Fall auf die gesamte Abwassermenge ausgelegt werden. Noch interessanter wird es bei Anlagen mit bestehenden Filtern mit tiefer Filtergeschwindigkeit, da die Aktivkohle länger im Filterüberstand bleibt und somit eine bessere Anlagerung der Wasserinhaltsstoffe ermöglicht.

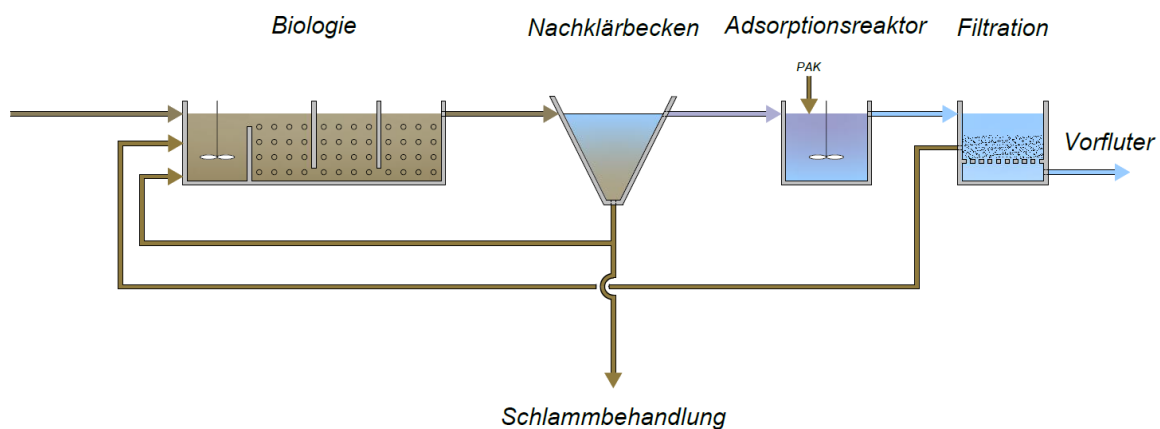


Abbildung 2:Verfahrensschema der Dosierung vor dem Filter

3.3.4 PAK-Dosierung in die Biologie

Dieses Verfahren wurde auf der ARA Flos in Wetzikon umgesetzt. Die Aktivkohle und die Fäll-/Flockungshilfsmittel werden bei dieser Variante direkt in die biologische Stufe dosiert, womit auf den Bau von Reaktions- und Sedimentationsbecken verzichtet wird. Von Nachteil ist, dass die DOC-Konzentration in dieser Stufe höher als im Ablauf des Nachklärbeckens ist und damit die Anlagerung von Mikroverunreinigungen an der Aktivkohle beeinträchtigt wird. Deshalb ist zu erwarten, dass die notwendige PAK-Dosierung höher als bei den anderen Varianten (etwa die doppelte Menge als beim Ulmer-Verfahren, Eawag 2011 b; BAFU, 2012) ist. Bei genügend grossen Belebungsbecken erfolgt die Dosierung allerdings erst kurz vor dem Ablauf des Belebungsbeckens. Die DOC-Konzentration wäre damit tief genug, um die Adsorption von Mikro-verunreinigungen nur mässig zu beeinflussen. Zum Beispiel reichte bei den Versuchen auf der ARA Flos (Boller, 2014; Böhler, 2014; Thomann, 2014) eine Dosierung von 19 mg PAK/l um eine Reinigungsleistung von > 80 % zu erreichen. Dazu wurden die Absetzeigenschaften des mit PAK angereicherten Belebtschlammes verbessert (kleinerer Schlammvolumenindex). Es konnten ausserdem höhere Belebtschlammkonzentrationen im Belüftungsbecken erreicht und das ursprüngliche Schlammalter eingehalten werden.

Dank der Einsparungen der Investitionskosten für das Reaktionsbecken und das Sedimentationsbecken, kann die direkte Dosierung in die Biologie für kleinere Anlagen mit genügend grossen Belebungsbecken und bestehendem Filter eine interessante Variante sein, auch wenn die Betriebskosten eventuell durch höheren PAK-Bedarf und höheren Schlammfall höher ausfallen als bei den anderen PAK-Verfahren (Eawag, 2010; Thomann, 2014). Bei dieser Variante muss das Verfahren ausserdem auf die gesamte Abwassermenge ausgelegt werden. Die Filterstufe wird somit grösser ausgelegt als bei beiden anderen Verfahren.

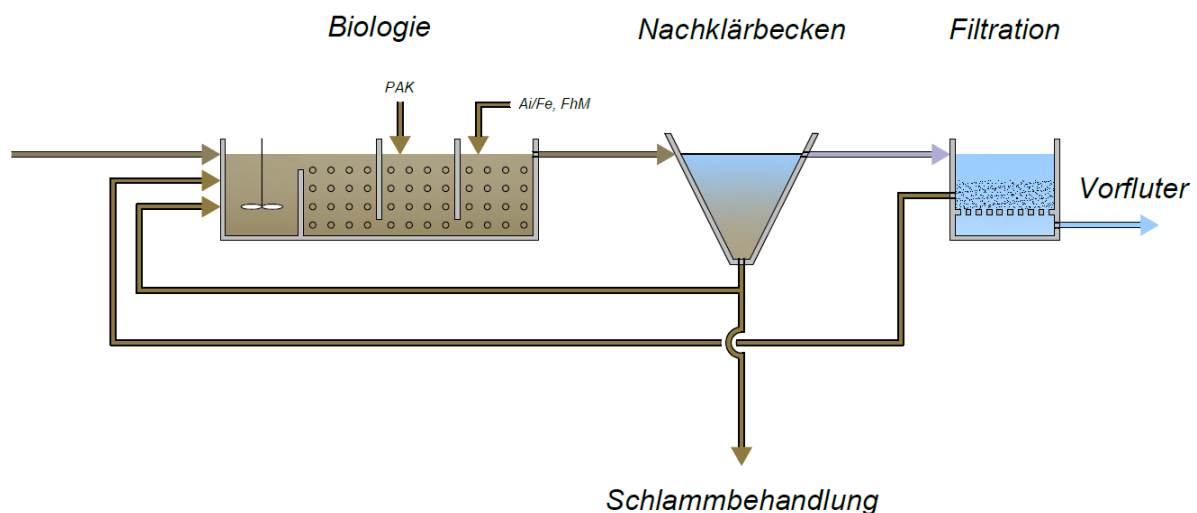


Abbildung 3: Verfahrensschema der Direkt dosierung in die Biologie

3.3.5 Nachbehandlungsstufe

Folgende Typen der Filtration kommen zur Nachbehandlung des mit PAK beladenen Abwassers in Frage:

- Sandfilter: Filtrationsstufe mit biologischer Aktivität
- Ultrafiltration: wurde auf den ARA Lausanne und Birsfelden pilotiert. Vorteile sind der vollständige Rückhalt der zuvor dosierten PAK sowie eine weitgehende Desinfektion. Der Energiebedarf steigt allerdings um 10 – 20 %.
- Flotation: Einsatz bei Pilotversuchen (NRW, 2012), jedoch nur geringe Leistung
- Mikrosieb: Einsatz bei Pilotversuchen (NRW, 2012); gute Leistung, vor allem ohne Fällmittel; könnte zur Entlastung von Flockungsfiltren eingesetzt werden
- Lamellenabscheider: platzsparendes Sedimentationsverfahren
- Tuchfiltration (Scheibenfilter): Gute Alternative zum Sandfilter, Versuche unter anderem auf dem Klärwerk Mannheim 2011/12. Investitionskosten sind niedriger als beim Sandfilter (Eawag, 2010); sehr gute Abscheideleistungen, aber niedrige Filterlaufzeiten (NRW, 2012)

Es ist zu bemerken, dass diese Nachbehandlungsstufe auch beim Ulmer Verfahren nötig ist, zur Sicherstellung, dass keine beladene Pulveraktivkohle in den Vorfluter eingeleitet wird.

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. Eine anschliessende Filtration ist nicht notwendig.

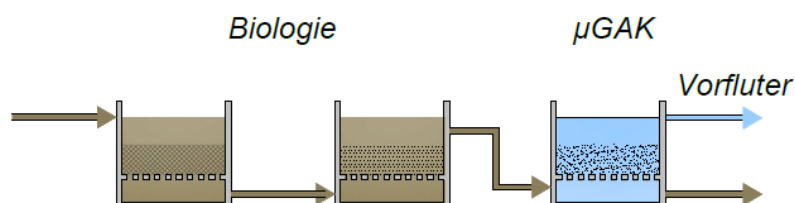


Abbildung 4: Verfahrensschema μ GAK-Reaktor

Im Gegensatz zum GAK-Filter wird die Reaktorleistung konstant aufrechterhalten, indem frische μ GAK kontinuierlich zu dosiert 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 und die ARA REAL/Luzern in Planung.

3.5 GAK-Filtration

Dieses Verfahren wird derzeit auf der ARA Moos getestet. 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 haben gezeigt, dass GAK im Festbett sehr wartungsarm ist und gute Eliminationsraten erreicht werden können (Bitterwolf et al., 2017). Der GAK-Filter kann aber auch mit einer kontinuierlich beschickten Filter (System DynaSand) betrieben werden (Versuche ARA Moos, CH). 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.

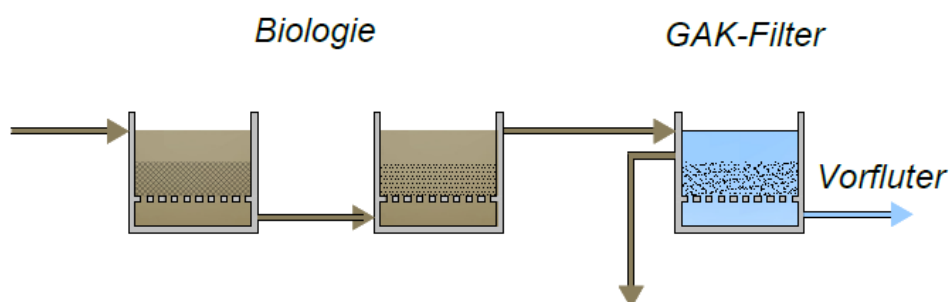


Abbildung 5: Das Verfahrensschema einer Festbettfiltration mit GAK.

3.5.1 Filter Betriebszeit

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 im Glarnerland und in 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 relativ neuen ausgeglichen werden, sodass die Filter länger betrieben werden können und höhere Bettvolumina erreichen. 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 ein niedriger DOC 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:

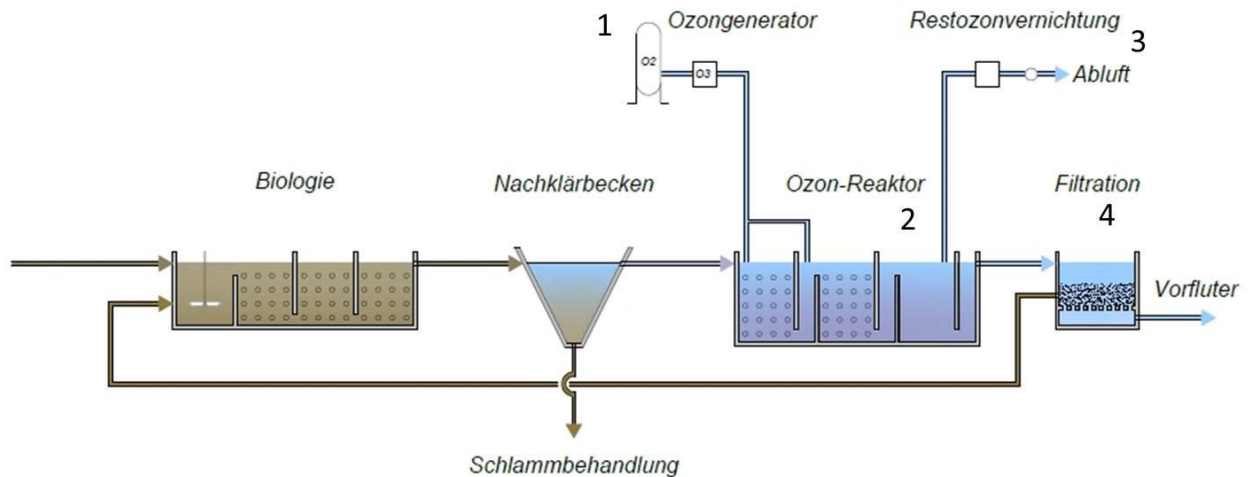


Abbildung 6: Verfahrensschema der Ozonung.

- 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 purem flüssigem Sauerstoff mittels elektrischer Entladung erzeugt. Auf der ARA Neugut wird beispielsweise das Ozon aus purem Sauerstoff 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 (bspw. Sandfilter) werden um die reaktive Oxidationsprodukte und allenfalls im Wasser enthaltenes 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 Testverfahren, bestehend aus den folgenden fünf Modulen entwickelt (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 zu ermöglichen. Der Ozongenerator, die ozonführenden Leitungen und die Kontaktbecken müssen zudem luftdicht sein. Allgemein muss das Personal spezifisch für die Ozonbenutzung weitergebildet werden.

3.6.6 Nachbehandlungsstufe

Für die Nachbehandlung des ozonierten Abwassers können folgende Filter/Verfahren zum Einsatz kommen:

- 1) Sandfilter: Filtrationsstufe mit biologischer Aktivität
- 2) Wirbelbett: Da die Oxidationsnebenprodukte der Ozonung in der Regel einfacher biologisch abzubauen sind, ist ein Wirbelbettreaktor eine Alternative zur Filterstufe. Die ARA Duisburg-Vierlinden in Deutschland betreibt eine solche Stufe.
- 3) GAK-Filter (siehe Kapitel 3.7)

3.7 Kombinationen

Möglich sind die Kombination von Ozon und PAK sowie Ozon und GAK. Der Gedanke dabei ist die Kombination eines adsorptiven Verfahrens und eines oxidativen Verfahrens, um ein möglichst breites Spektrum an Mikroverunreinigungen eliminieren zu können. Die PAK- oder GAK-Stufe wird dabei der Ozonung nachgeschaltet. Wird die Ozonung mit dem Einsatz von PAK kombiniert, so benötigt das Verfahren noch einen nachgeschalteten Filter als „Polizeistufe“.

Die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes eines GAK-Filters war als alleinige Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen bei den durchgeführten Pilotversuchen nicht immer befriedigend. Durch die Kombination der Ozonung mit einem nachgeschalteten GAK-Filter wird dieser entlastet und es können gute Filterlaufzeiten erreicht werden (> 5 Jahre). Der Einsatz eines GAK-Filters anstelle eines Sandfilters hat den Vorteil, die biologische Aktivität der Filtrationsstufe mit dem adsorptiven Verhalten der Aktivkohle zu kombinieren.

Für beide Verfahrenskombinationen liegen bisher wenige Erfahrungen vor. Die Kombination von Ozon mit PAK wird zurzeit auf der ARA ProRheno/Basel umgesetzt. Für die Kombination von Ozon und GAK werden auf der ARA Altenrhein umgesetzt. Auf der ARA Bülach und der ARA Glarnerland werden zurzeit Versuche durchgeführt.

3.8 Andere Verfahren

Weitere Verfahren sind z.B.

- 1) Einsatz von dichten Membranen (Nanofiltration und Umkehrosmose)
- 2) Constructed Wetlands (Behandlung des Abwassers über eine mit Pflanzen bewachsene Fläche)
- 3) Advanced Oxidation Processes (AOP)
- 4) Kombination von Ferrat und Ozonung

Diese Verfahren sollen an dieser Stelle nur ergänzend genannt werden, da diese (noch) nicht Stand der Technik sind.

3.9 Vergleich der Verfahren PAK, GAK und Ozonung

3.9.1 Allgemeiner Verfahrenvergleich

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

Tabelle 3: Allgemeine Beurteilung der Verfahren PAK, GAK und Ozonung

	Vorteile	Nachteile
PAK	Entfernung der MV Einfache Verfahrenstechnik Keine Nebenprodukte (Umwandlung) Verbesserter SVI bei Rückführung in die Biologie Breite Erfahrung vorhanden Geringerer Energieverbrauch als bei der Ozonung (auf ARA) Adsorptionskapazität und –geschwindigkeit höher als bei GAK	höherer Schlammanfall (ca. 5-10%) keine Desinfektions-Wirkung Einfluss (Erosion, Korrosion) der Kohle auf Bauwerke (Pumpen) zusätzliche Belastung der (bestehenden) Filtration Adsorption von gelösten organischen Stoffen (DOC) führt zu einer eingeschränkte EMV-Leistung Platzbedarf Ulmer Verfahren
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 kein Einfluss auf Biologie und Nachklärung keine zusätzliche Belastung des Filters geringerer Platzbedarf als bei PAK keine zusätzlichen Schlammmentsorgungskosten Desinfektions-Wirkung breite Erfahrung vorhanden im Normalfall kostengünstiger als PAK-Verfahren	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). Höherer Energieverbrauch als beim PAK-Verfahren (im Betrieb)

Nachfolgend werden die in einer ersten Triage für die ARA Frauenfeld ausgewählten Verfahren in Bezug auf „weiche“ Faktoren beurteilt.

	Ulmer Verfahren	PAK vor Sandfilter	GAK	GAK im Schwebbett	Ozon vor Sandfilter	Ozon / GAK
Reduktion EMV gemäss GSchG						
Ressourcenschonung						
Flexibilität Abwasseränderung						
Reinigungsleistung bestehende ARA						
Rückläufe max 50 l/s						
Unterhaltsarbeiten						
Kosten / Nutzenverhältnis						
Tiefer Energieverbrauch						
Tiefe Jahreskosten						
Geringer Platzbedarf						
Optimale Dimensionierung bezügl. Entwicklung Verband						
Bewilligungspraxis BAFU						
CO2-Footprint						
Arbeitssicherheit						

4 LAYOUT DER AUSGEWÄHLTEN VERFAHREN

4.1 Ulmer Verfahren

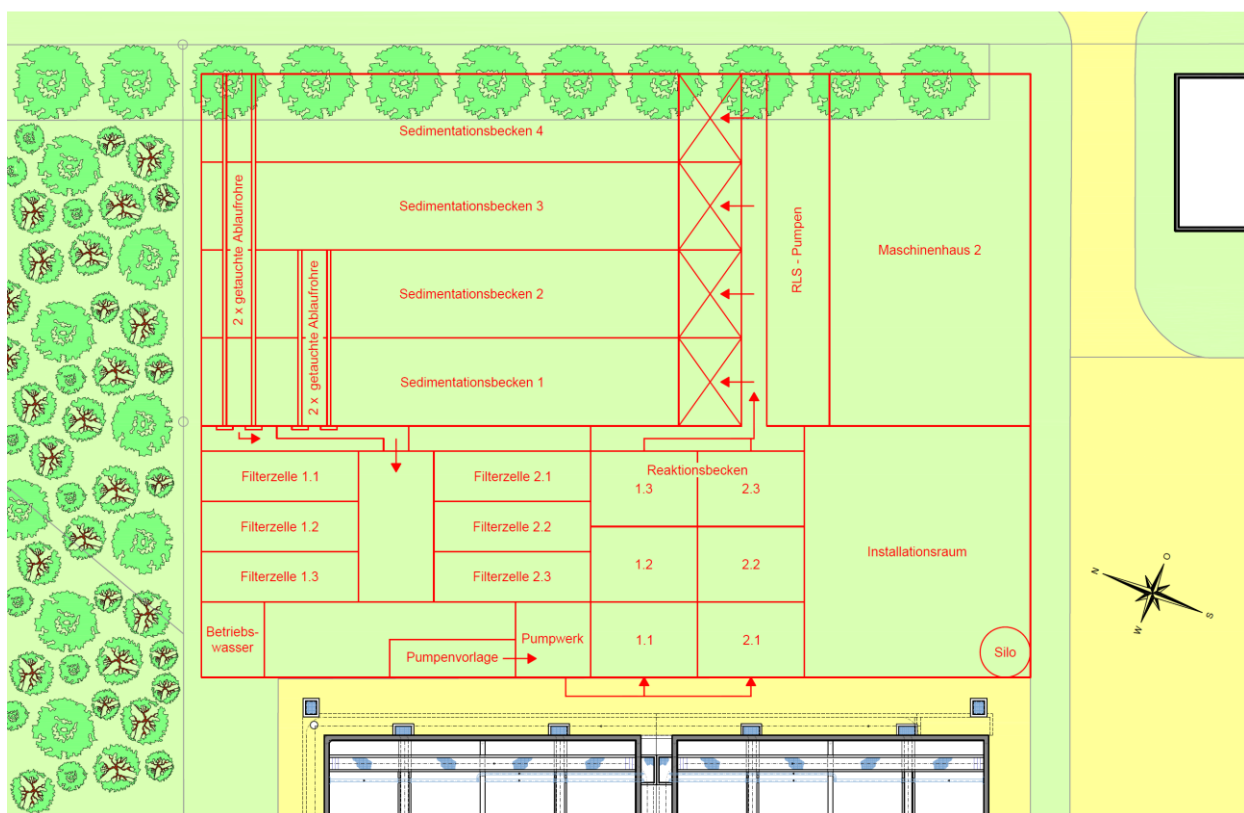
4.1.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- Verweilzeit im Kontaktreaktor: 30 min
- Verweilzeit in der Sedimentation 2 h (Oberflächenbeschickung 2 m/h)
- Maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter: 12 m/h
- Kohlesilo: 75 m³
- Dosierung PAK: 12 mg/L
- Dosierung Fällmittel 1 mg Fe(III)/m³

Die tatsächlich benötigte Menge PAK kann im Betrieb optimiert werden.

4.1.2 Layout



4.2 PAK vor Sandfilter

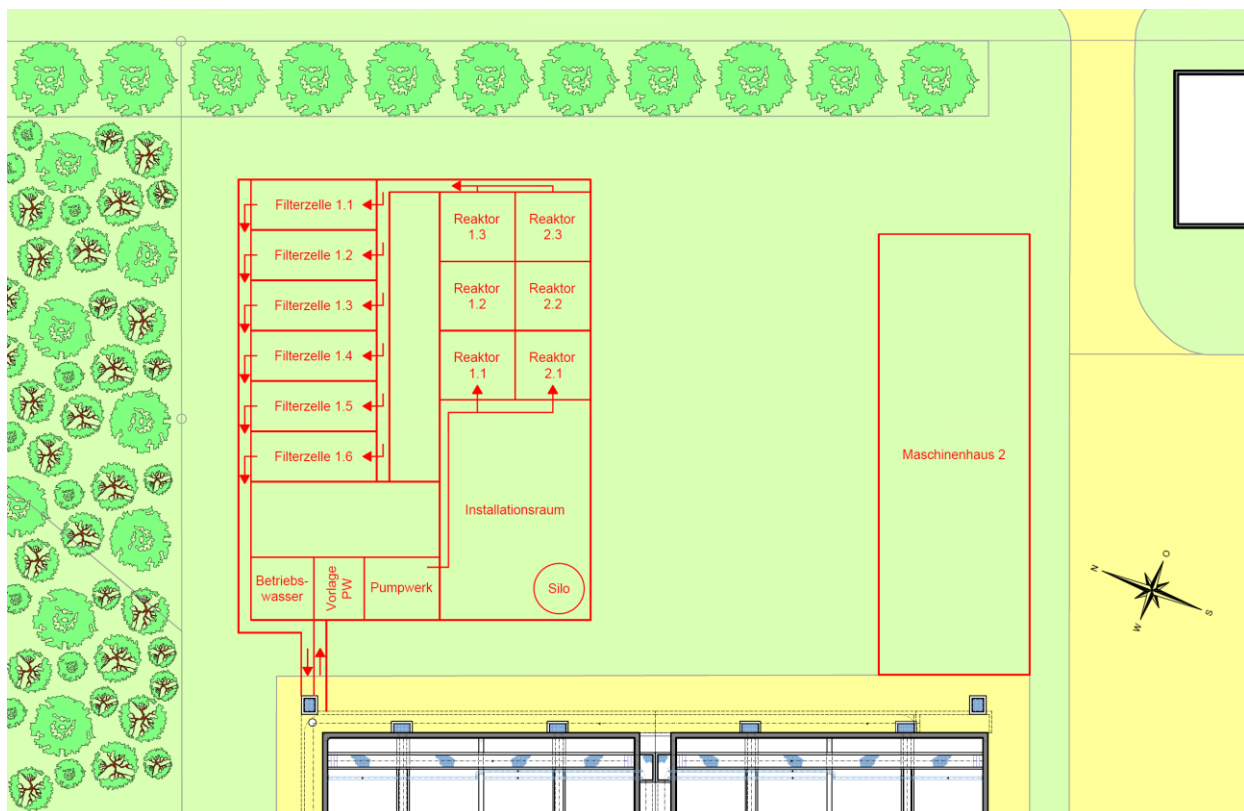
4.2.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- Verweilzeit im Kontaktreaktor: 30 min
- Maximale Filtergeschwindigkeit im Raumfilter: 12 m/h
- Kohlesilo: 75 m³
- Dosierung PAK: 12 mg/L
- Dosierung Fällmittel 1 mg Fe(III)/m³

Die tatsächlich benötigte Menge PAK kann im Betrieb optimiert werden.

4.2.2 Layout



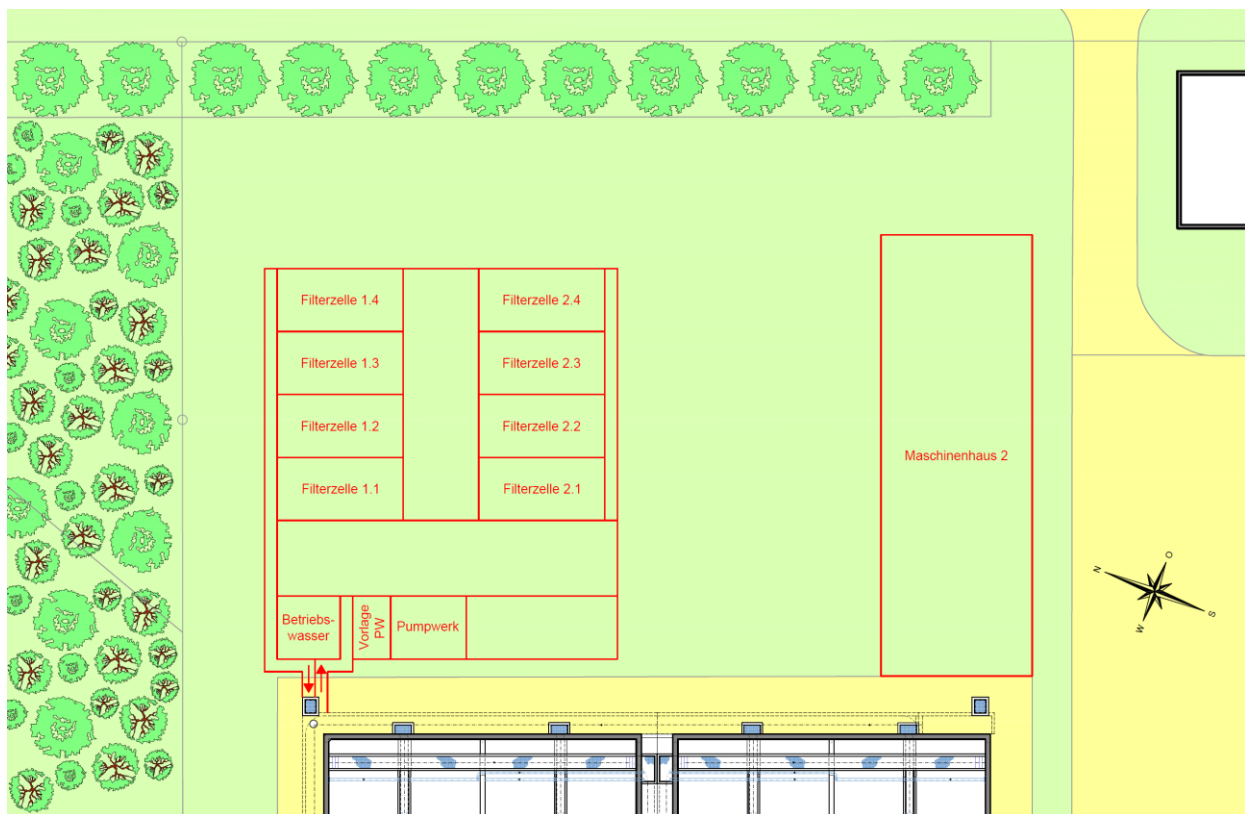
4.3 GAK-Filter

4.3.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

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

4.3.2 Layout



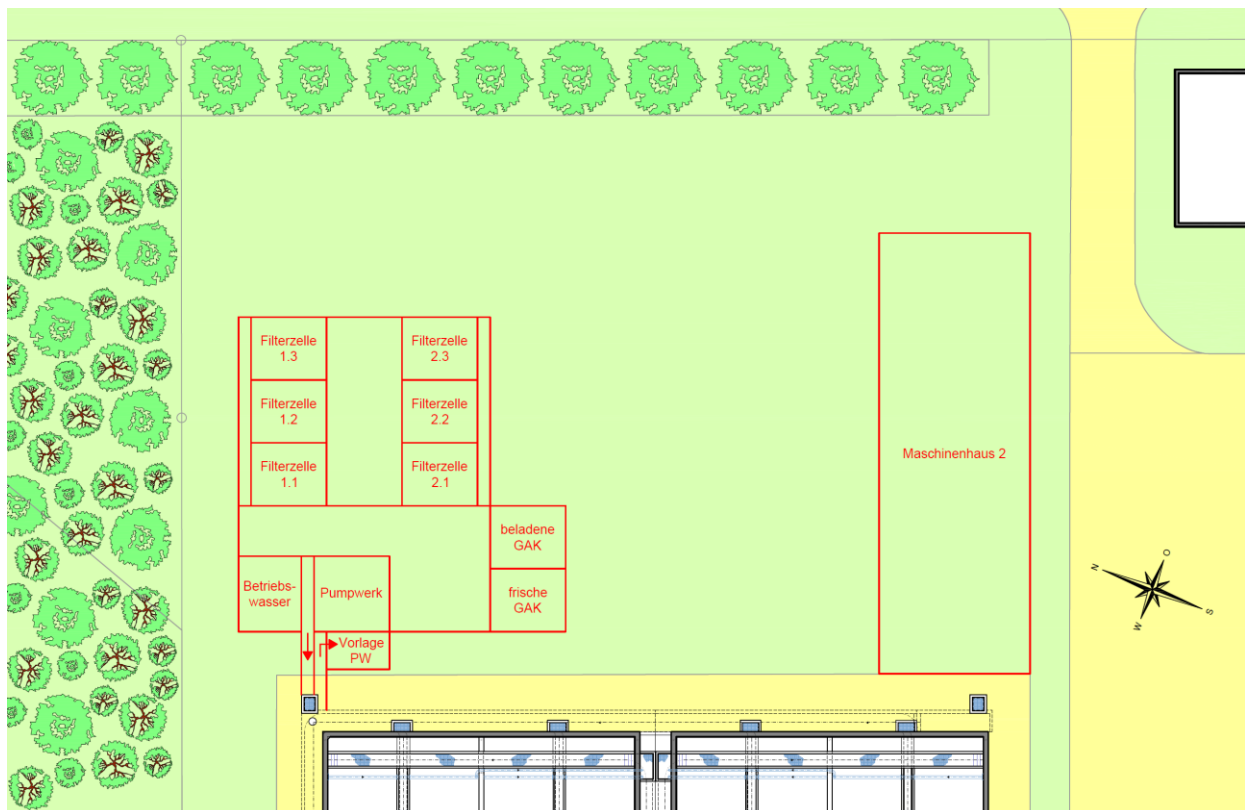
4.4 GAK im Schwebebett

4.4.1 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

4.4.2 Layout



4.5 Ozon vor Sandfilter

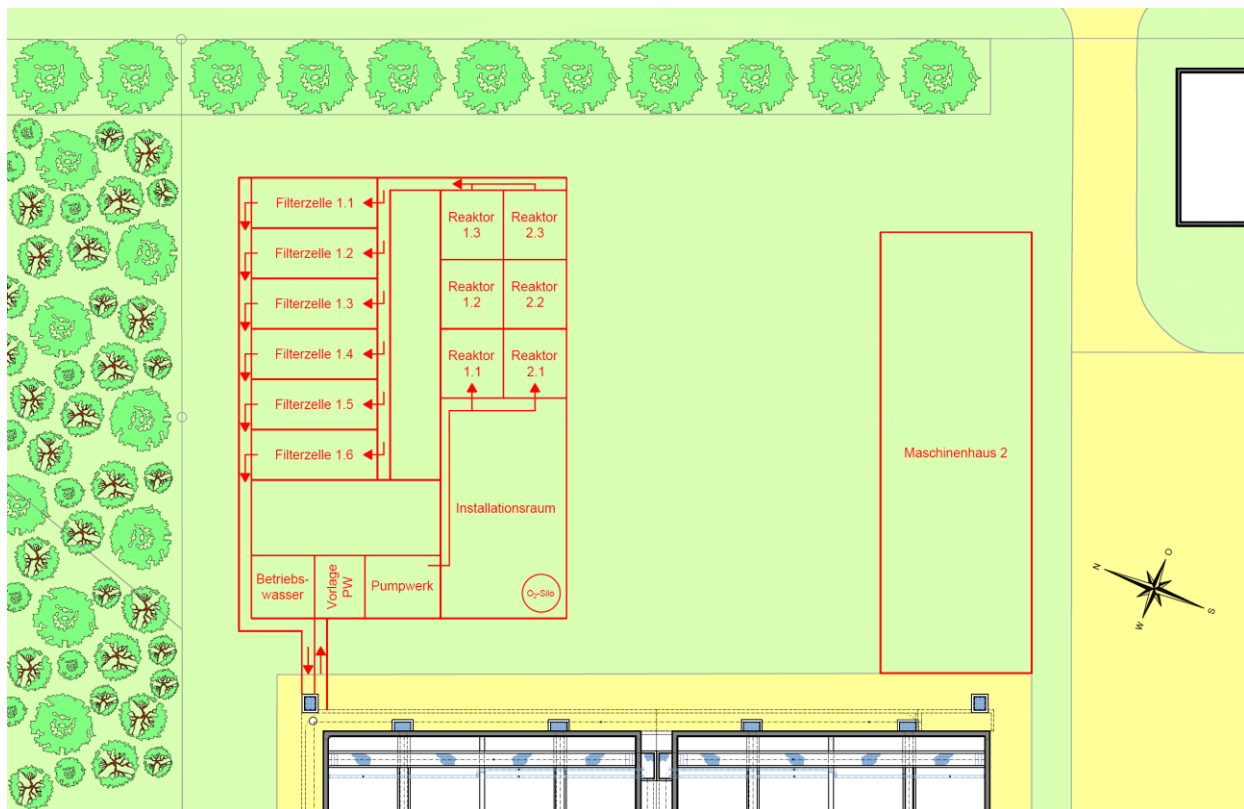
4.5.1 Dimensionierung

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.

4.5.2 Layout



4.6 Ozon vor GAK-Filter

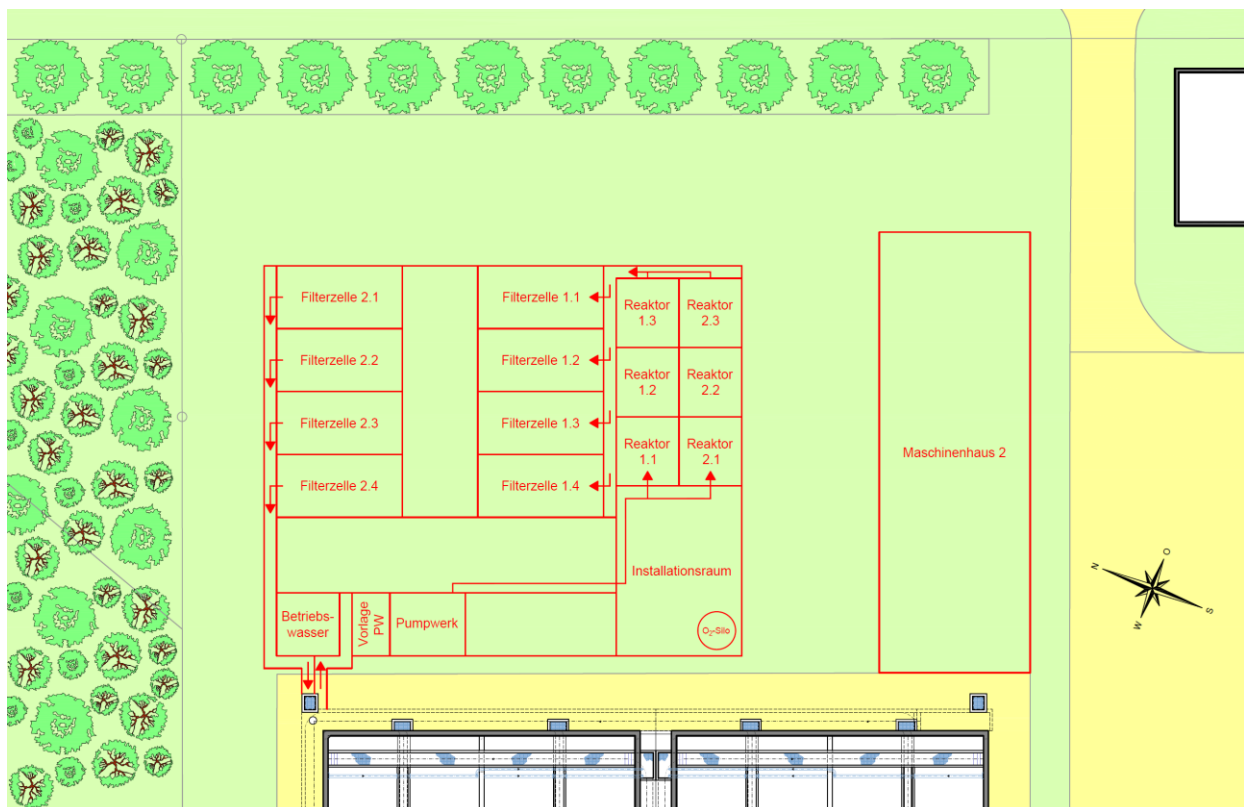
4.6.1 Dimensionierung

Für die Auslegung werden folgende Werte verwendet:

- Verweilzeit im Kontaktreaktor: 20 min
- Maximale Filtergeschwindigkeit im GAK-Filter: 7 m/h
- Mindestverweilzeit im Filterbett: 15 min
- Filterstandzeit 30'000 Bettvolumina
- Sauerstoffsilo: 30 m³
- Dosierung Ozon: 4 mg/L

Die tatsächlich benötigte Menge Ozon kann im Betrieb optimiert werden.

4.6.2 Layout



5 KOSTEN

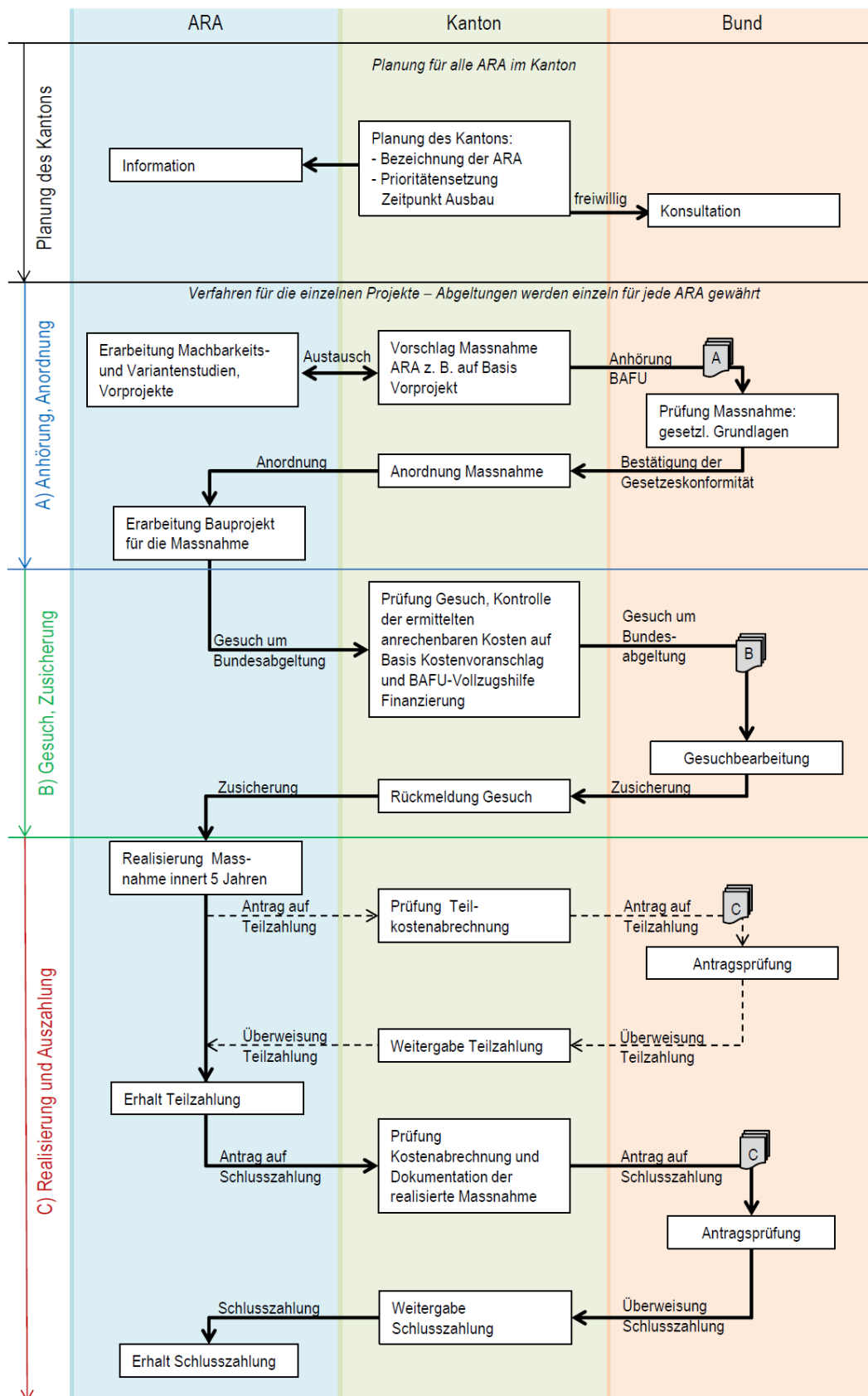
5.1 Vorbemerkung Bundessubventionen

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

Bestimmungen zur Finanzierung von EMV-Stufe kann 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.

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

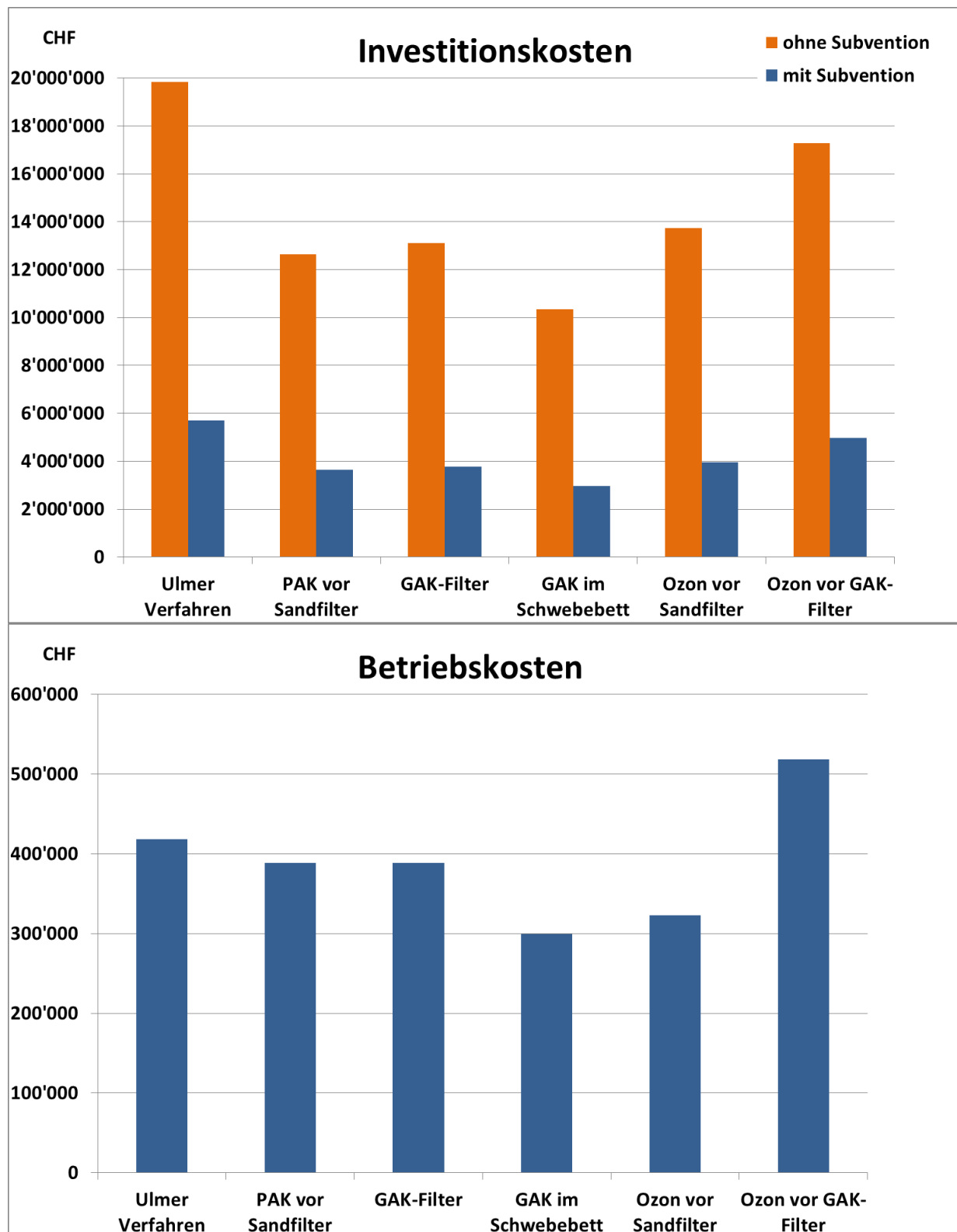




5.2 Kostenermittlung

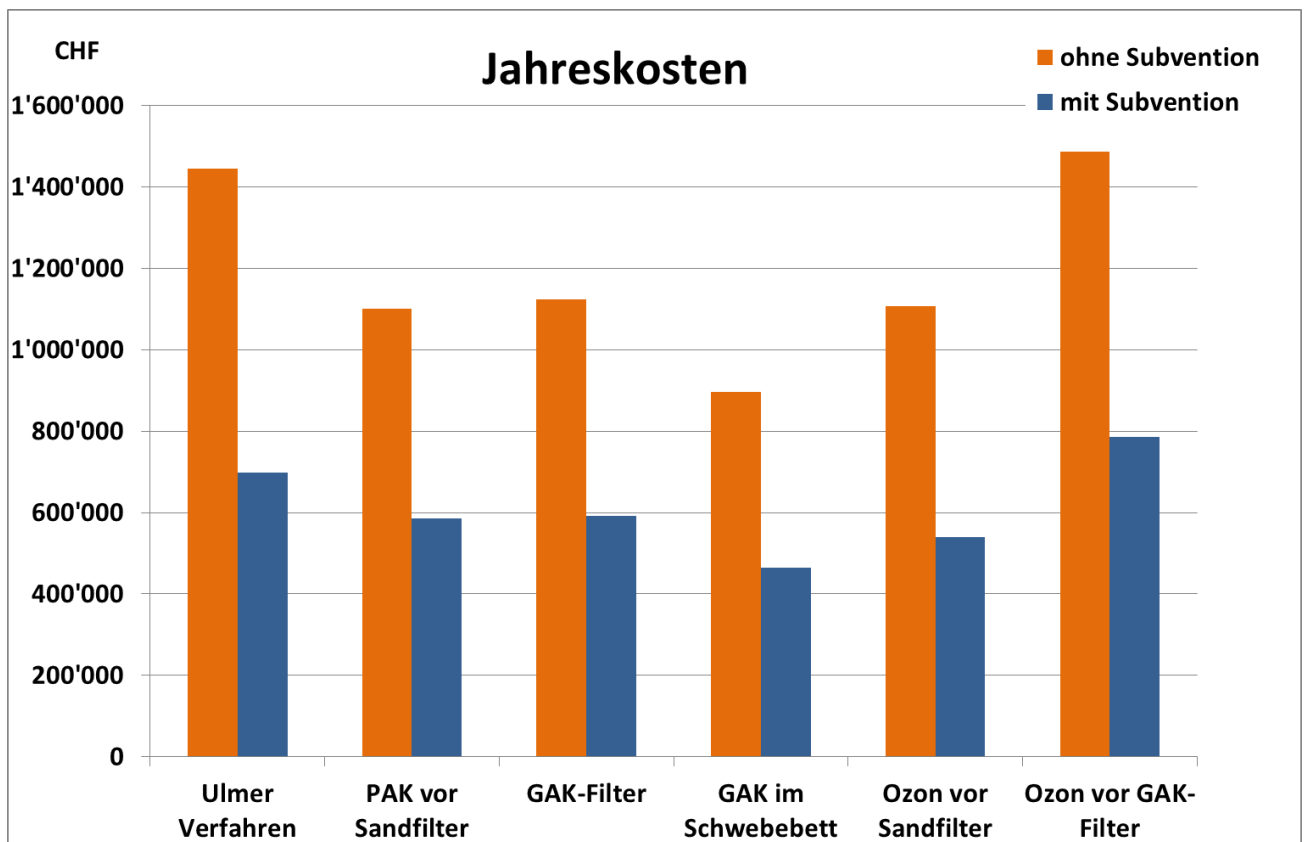
	Ulmer Verfahren	PAK vor Sandfilter	GAK-Filter	GAK im Schwebebett	Ozon vor Sandfilter	Ozon vor GAK-Filter
Pumpwerk						
Breite	6	6	6	6	6	6
Länge	6	6	6	6	6	6
Fläche	36	36	36	36	36	36
Höhe	5	5	5	5	5	5
Bauvolumen	180	180	180	180	180	180
Kontaktbecken						
Breite	17	12			10	10
Länge	20	20			17	17
Fläche	340	240	0	0	170	170
Höhe	5	5			7	7
Bauvolumen	1'700	1'200	0	0	1'190	1'190
Sedimentation						
Breite	28					
Länge	45					
Fläche	1'260	0	0	0	0	0
Höhe	5					
Bauvolumen	6'300	0	0	0	0	0
Filtration						
Breite	32	15	26	22	15	26
Länge	18	30	28	20	30	28
Fläche	576	450	728	440	450	728
Höhe	10	10	10	10	10	10
Bauvolumen	5'760	4'500	7'280	4'400	4'500	7'280
Silos						
Breite	5	5		10	4	4
Länge	5	5		6	4	4
Fläche	25	25	0	60	16	16
Höhe	10	10		10	10	10
Bauvolumen	250	250	0	600	160	160
Installationsraum						
Breite	12	12	5		12	12
Länge	18	18	15		18	20
Fläche	216	216	75	0	216	240
Höhe	5	5	5		5	5
Bauvolumen	1'080	1'080	375	0	1'080	1'200
Betriebswasser						
Breite	6	6	6	6	6	6
Länge	5	5	5	5	5	5
Fläche	30	30	30	30	30	30
Höhe	5	5	5	5	5	5
Bauvolumen	150	150	150	150	150	150
Total Bauvolumen	15'420	7'360	7'985	5'330	7'260	10'160
Kosten	9'252'000	4'416'000	4'791'000	3'198'000	4'356'000	6'096'000
Fläche	2'483	997	869	566	918	1'220
Umgebungsarbeiten	400'000	400'000	400'000	400'000	400'000	400'000
Summe	9'652'000	4'816'000	5'191'000	3'598'000	4'756'000	6'496'000
abzgl. Subvention 75%	2'413'000	1'204'000	1'297'750	899'500	1'189'000	1'624'000
Pumpwerk	200'000	200'000	200'000	150'000	200'000	200'000
Ozonung					1'200'000	1'200'000
PAK-Stufe	1'100'000	800'000				
Filtration	1'800'000	1'800'000	2'800'000	2'600'000	1'800'000	2'800'000
HLKS	800'000	800'000	800'000	500'000	1'100'000	1'100'000
EMSRL	1'600'000	1'600'000	1'400'000	1'400'000	1'800'000	1'800'000
Betriebswasser	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000	100'000
Summe	5'600'000	5'300'000	5'300'000	4'750'000	6'200'000	7'200'000
abzgl. Subvention 75%	1'610'000	1'523'750	1'523'750	1'365'625	1'782'500	2'070'000
Gesamt	15'252'000	9'716'000	10'091'000	7'948'000	10'556'000	13'296'000
Generalplaner 15%	2'287'800	1'457'400	1'513'650	1'192'200	1'583'400	1'994'400
Baunebenkosten 5%	762'600	485'800	504'550	397'400	527'800	664'800
Unvorhergesehenes 10%	1'525'200	971'600	1'009'100	794'800	1'055'600	1'329'600
Summe	4'575'600	2'914'800	3'027'300	2'384'400	3'166'800	3'988'800
abzgl. Subvention 75%	1'315'485	838'005	870'349	685'515	910'455	1'146'780
Investitionskosten exkl. MwSt.	19'827'600	12'630'800	13'118'300	10'332'400	13'722'800	17'284'800
abzgl. Subvention 75%	5'700'435	3'631'355	3'771'511	2'970'565	3'945'305	4'969'380
Betriebskosten						
Q (m3/a, 2016/2017)	6'466'000	6'466'000	6'466'000	6'466'000	6'466'000	6'466'000
Strom						
Pumpwerk Wh/m3	16	16	16	8	16	16
Ozon 5 mg/l Wh/m3					50	40
PAK-Stufe Wh/m3	10	10				
GAK Wh/m3			20	20		20
Filter Wh/m3	10	10			10	
Summe Wh/m3	36	36	36	28	76	76
Stromverbrauch kWh/a	232'776	232'776	232'776	181'048	491'416	491'416
Stromkosten	27'933	27'933	27'933	21'726	58'970	58'970
LOX kg/a					323'300	215'533
Kosten LOX					80'825	53'883
PAK/GAK	12 mg/l	12 mg/l	30'000 BV	10 mg/l		30'000 BV
PAK/GAK kg/a	77'592	77'592	96'990	64'660		96'990
Kosten PAK/GAK	155'184	155'184	193'980	129'320		193'980
Fällmittel (1 mg/l) kg/a	6'466	6'466				
Total Betriebsmittel	183'117	183'117	221'913	151'046	139'795	306'833
Schlammentsorgung	48'000	48'000	8'000	8'000	8'000	8'000
Wartung Bau 0.5%	48'260	24'080	25'955	17'990	23'780	32'480
Wartung EMT 2%	112'000	106'000	106'000	95'000	124'000	144'000
Personal 30%	27'000	27'000	27'000	27'000	27'000	27'000
Summe Betriebskosten	418'377	388'197	388'868	299'036	322'575	518'313
Einwohner à 9 CHF/a	46'486	43'133	43'208	33'226	35'842	57'590
Jahreskosten ohne Subvention						
Bau 40 Jahre, 3%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%
Kosten	417'932	208'533	224'770	155'793	205'935	281'277
EMT 20 Jahre, 3%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%
Kosten	376'320	356'160	356'160	319'200	416'640	483'840
Nebenkosten 30 Jahre, 3%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%
Kosten	233'356	148'655	154'392	121'604	161'507	203'429
Summe Jahreskosten o. Subv.	1'445'984	1'101'545	1'124'191	895'634	1'106'657	1'486'859
Jahreskosten mit Subvention						
Bau 40 Jahre, 3%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%	4.33%
Kosten	104'483	52'133	56'193	38'948	51'484	70'319
EMT 20 Jahre, 3%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%	6.72%
Kosten	108'192	102'396	102'396	91'770	119'784	139'104
Nebenkosten 30 Jahre, 3%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%	5.10%
Kosten	67'090	42'738	44'388	34'961	46'433	58'486
Summe Jahreskosten m. Subv.	698'142	585'465	591'844	464'715	540'276	786'222

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



Die Betriebsmittel wurden anhand vorhandener Anlagen und Betriebserfahrungen abgeschätzt.

Nachfolgend sind die resultierenden Jahreskosten dargestellt.



6 FAZIT / EMPFEHLUNG

Rückstände von Medikamenten, Reinigungsmitteln oder Pflegeprodukten 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 Untermarch 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 MV.

Da das Ulmer Verfahren und die Verfahrenskombination Ozon/GAK-Filter kosten-, platz- und aufwandsbezogen klar am schlechtesten abschneiden, wird empfohlen, diese beiden Varianten nicht weiterzuverfolgen. Es muss auch darauf hingewiesen werden, 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.

Als sehr interessant erweisen sich hingegen die Varianten mit granulierter Aktivkohle (GAK im Schwebebett 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 wird empfohlen, auf alle Fälle diese beiden Varianten weiterzuverfolgen.

Die beiden verbleibenden Varianten PAK vor Sandfilter und Ozon vor Sandfilter sind als weitgehend gleichwertig einzustufen.

Hier wird empfohlen, eine dieser beiden Varianten in gemeinsamer Absprache mit dem AFU TG resp. dem BAFU weiterzuverfolgen. Aspekte hierbei sind sicherlich die Relevanz und Einschätzung der Untersuchungen zur Ozonierbarkeit des Abwassers der ARA Frauenfeld oder Betriebssicherheit und Betriebsaufwand.

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.

Deshalb kann eine Ozonung nicht ausgeschlossen werden. Abzuklären ist, wie das BAFU diese Ergebnisse wertet. Zusätzliche Untersuchungen zur Ozonbehandelbarkeit und zu relevanten Bromidquellen im Einzugsgebiet der ARA Frauenfeld sind nicht auszuschliessen und allenfalls als sehr empfehlenswert einzustufen.

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

Zur Weiterverfolgung werden also folgende Varianten empfohlen:

- GAK im Schwebebett
- GAK-Filter
- PAK oder Ozon vor Sandfilter

St. Gallen, 17. Dezember 2019

KUSTER + HAGER
Ingenieurbüro AG
9014 St. Gallen

F. Wüthrich
St. Zuleeg