



REAL Abwasser
Kanton Luzern

Platzbedarf und Kosten MV-Elimination

Technischer Bericht

Objekt Nr. 1263.33
Winterthur, 13. Juni 2018

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: REAL Abwasser
Teilprojekt: Platzbedarf und Kosten MV-Elimination
Erstelldatum: 26. April 2018
Letzte Änderung: 13.06.2018
Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Martin Baggenstos
Koref. eh, rm

Datei: Q:\Projekte\1200\1263\1263.33\04 Berichte\1263.33 180613_k-b.docx

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	3
2	Grundlagen und Schnittstellen	3
2.1	Hydraulische Belastung, Hydraulik	3
2.2	Schmutzstoff Belastung, Biologie	4
2.3	Einleitbedingungen	5
2.4	Schlammbehandlung	5
2.5	Hydraulisches Profil, Höhenlagen	5
2.6	Diverses	6
3	Ozonung	6
3.1	Grundlagen und Schnittstellen	6
3.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	7
3.3	Verfahrensstufen	7
3.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	7
3.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	8
4	PAK im «Ulmer Verfahren»	8
4.1	Grundlagen und Schnittstellen	8
4.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	8
4.3	Verfahrensstufen	8
4.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	8
4.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	9
5	PAK im «Ulmer Verfahren» mit Lamellenklärer	9
5.1	Grundlagen und Schnittstellen	9
5.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	10
5.3	Verfahrensstufen	10
5.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	10
5.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	11
6	PAK vor Filter	11
6.1	Grundlagen und Schnittstellen	11
6.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	11
6.3	Verfahrensstufen	11
6.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	11
6.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	12
7	PAK vor Filter in Kombination mit Ozon	12
7.1	Grundlagen und Schnittstellen	12
7.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	12
7.3	Verfahrensstufen	13
7.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	13
7.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	14
8	Filtration mit GAK	14
8.1	Grundlagen und Schnittstellen	14
8.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	14
8.3	Verfahrensstufen	14
8.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	14
8.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	15

9	Filtration mit GAK in Kombination mit Ozon	15
9.1	Grundlagen und Schnittstellen	15
9.2	Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen	15
9.3	Verfahrensstufen	15
9.4	Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition	16
9.5	Schlussbemerkungen, Hinweise	16
10	Vergleich Platzbedarf	17
11	Kosten	17
11.1	Investitionskosten	17
11.2	Betriebsmittel	18
11.3	Betriebskosten	19
11.4	Totalkosten	19
12	Fazit	20
13	Anhang	21
13.1	Platzbedarf/Disposition Ozonung	22
13.2	Platzbedarf/Disposition «Ulmer Verfahren»	23
13.3	Platzbedarf/Disposition «Ulmer Verfahren» mit Lamellenklärer	24
13.4	Platzbedarf/Disposition PAK vor Filter	25
13.5	Platzbedarf/Disposition PAK vor Filter mit Kombination mit Ozon	26
13.6	Platzbedarf/Disposition Filtration mit GAK	27
13.7	Platzbedarf/Disposition Filtration mit GAK in Kombination mit Ozon	28
13.8	Berechnungen	29

1 Ausgangslage

2012 durften wir einen ersten Bericht zum Platzbedarf und zu den Grobkosten verschiedener Verfahren für die Elimination von Mikroverunreinigungen verfassen.

Seit Inkrafttreten der neuen Gewässerschutzgesetzgebung am 1. Januar 2016 sind nun erste Anlagen im Bau oder bereits in Betrieb und es wurden neue Verfahren entwickelt und getestet. Vor diesem Hintergrund stellt der vorliegende Bericht eine Aktualisierung des Berichtes von 2012 dar mit folgenden Anpassungen:

- Vertieftes Studium der Disposition der Bauwerke zur Bestimmung Platzbedarf/notwendiger Landbedarf unter Berücksichtigung des hydraulischen Profils und auch der Schnittstellen zur bestehenden ARA.
- Kostentechnisch werden die Varianten PAK im «Ulmer-Verfahren» (mit den Untervarianten klassische Sedimentation und Lamellenklärung) nicht studiert. Diese Verfahren weisen einen hohen Platzbedarf auf und verursachen dementsprechend hohe Kosten. Mit der heute zu Verfügung stehenden und auch studierten Variante «PAK vor Filter» steht eine deutlich wirtschaftlichere Alternative zu Verfügung.
Das im Bericht von 2012 erwähnte ActifloCarb Verfahren wird gar nicht mehr studiert. Das Verfahren stellt ebenfalls eine Untervariante von PAK im «Ulmer-Verfahren» auf Basis einer speziellen Lamellenklärung dar. Der Platzbedarf ist zwar etwas geringer als bei einer normalen Lamellenklärung, doch ergeben sich sehr hohe Betriebskosten, weshalb dieses Verfahren als weniger wirtschaftlich einzustufen ist.
- Zusätzlich zur Honorarofferte werden «Kombinationsverfahren» (Ozon+Aktivkohle) studiert. Diese Verfahren können für grössere Kläranlagen interessante Varianten darstellen.

Somit ergeben sich folgende Verfahren, die studiert werden:

- Ozonung
- PAK im «Ulmer-Verfahren» (nur Platzbedarf)
- PAK im «Ulmer-Verfahren» mit Lamellenklärer (nur Platzbedarf)
- PAK vor Filter
- PAK vor Filter in Kombination mit Ozon
- Filtration mit GAK
- Filtration mit GAK in Kombination mit Ozon

2 Grundlagen und Schnittstellen

2.1 Hydraulische Belastung, Hydraulik

Für die neue MV-Stufe wird grundsätzlich von einer maximalen Abwassermenge von 2'600 l/s (exkl. Rückläufe) ausgegangen. Dies entspricht der geplanten, maximalen Wassermenge der bestehenden biologischen Stufe der Kläranlage. Diese Annahme soll aber nicht die definitive Dimensionierungswassermenge vorwegnehmen. Hierzu müssen noch Abklärungen mit dem Kanton getroffen werden.

Zusätzliche sind Rückläufe der MV-Stufe von 200 l/s aufgrund von Filterspülungen berücksichtigt (Rückbelastung auf die folgenden Stufen: Vorklärung (fallweise), Biologie, MV-Stufe), d.h. dass die MV-Stufe maximal 2'800 l/s behandelt (2'600 + 200 l/s).

Alternativ könnten diese Rückläufe der MV-Stufe separat behandelt werden, was die Rückbelastung auf die Vorklärung und Biologie verhindert und auf diesen Stufen eine entsprechende Kapazitätserhöhung ermöglichen würde (es wären eine Abwassermenge von 2'800 l/s möglich). Hingegen müssten die behandelten Rückläufe immer noch einmal teilweise oder ganz über die MV-Stufe geführt werden, d.h. dass sich die maximale, totale Wassermenge inklusive Rückläufe auf 3'000 l/s erhöhen würde (2'800 l/s + 200 l/s).

Die separate Rücklaufbehandlung soll vorläufig nicht realisiert werden – hingegen ist sie im Moment berücksichtigt bezüglich folgende Punkte:

- Platzbedarf und Kostenschätzung der Rücklaufbehandlung
- Dimensionierung der MV Stufe auf 3'000 l/s, d.h. mit einer Reserve von 200 l/s.

Inwieweit eine separate Rücklaufbehandlung im weiteren Projekt berücksichtigt werden soll, muss in den nächsten Projektschritten entschieden werden. Der Entscheid ist dabei auf die definitive Dimensionierungswassermenge und die Verfahrenswahl abzustimmen.

2.2 Schmutzstoff Belastung, Biologie

Die biologische Stufe der Kläranlage verfügt gemäss Bericht «Kapazität / Reserven der ARA» von 2016 über Reserven bei der Reinigungskapazität hinsichtlich der Schmutzstoff-Belastung (etwa 55'000 EW bezüglich der Belastungssituation von 2013, bzw. aktuell etwa 40'000 EW nach dem allfälligen Anschluss von dritten ARA's). Allfällig anfallende Schlämme aus der MV-Stufe können in die biologische Stufe zurückgeführt werden, sofern das Schlammalter dadurch nicht unzulässig sinkt (bei PAK-Verfahren hat diese Rückführung einen gewünschten, positiven Effekt aufgrund der zusätzlichen MV-Elimination in der Biologie). Vereinfacht kann von folgende Rückbelastung ausgegangen werden:

- Tiefe bis sehr tiefe Rückbelastung: Ozonung, GAK-Filtration (GAK alleine oder in Kombination mit Ozon): Die Rückführung des Schlammes (abfiltrierte Schwebstoffe) erfolgt normalerweise direkt in die Vorklärung (oder eventuell direkt in die Schlammbehandlung). Damit kann die Rückbelastung der Biologie vernachlässigt werden.
- Mittlere Rückbelastung: Kombination Ozonung mit PAK: Der Schlammanteil in der Biologie steigt typischerweise um gut 8% - dementsprechend sinkt das biologische Schlammalter der Biologie um etwa 8% sofern der TS-Gehalt in der Biologie konstant gehalten wird.
- Erhöhte Rückbelastung: Verfahren mit PAK: Der zusätzliche Schlammanteil in der Biologie liegt typischerweise bei gut 12% - dementsprechend sinkt das biologische Schlammalter der Biologie um etwa 12% sofern der TS-Gehalt in der Biologie konstant gehalten wird.

Die oben genannten Zahlen beziehen sich aber auf eine typische ARA. Für die ARA REAL zeigt sich, dass die Rückbelastung deutlich höher ist aufgrund folgender Faktoren:

- Der ÜSS-Anfall ist vergleichsweise gering (dafür ist der PS-Anfall vergleichsweise hoch), d.h. dass die prozentuale Zusatzbelastung in der Biologie höher ist.
- Die Abwassermenge ist aufgrund des Fremdwasseranteils vergleichsweise hoch, d.h. dass auch relativ viel Schlamm aus der GUS-Abtrennung entsteht.

Nachfolgende Tabelle zeigt die Mehrbelastung der Biologie für die ARA REAL bei einer Rückführung der PAK in die Biologie. Bei einer alleinigen Dosierung von PAK wird die aktuelle Restkapazität der Biologie

(bei 11°C, typische minimale Abwassertemperatur) überschritten. Diese relativ hohe Rückbelastung ist für die Anwendung von PAK trotzdem nicht grundsätzlich prohibitiv aufgrund folgender Faktoren:

- Die PAK-Rückführung kann in den kurzen Perioden mit kalter Abwassertemperatur und somit dann, wenn die Biologie an die Kapazitätsgrenze kommen kann, auch in die Vorklärung erfolgen (vollständig oder teilweise). Damit wird die Biologie wieder dementsprechend entlastet. Der PAK-Mehrverbrauch bei dieser Betriebsweise ist vertretbar.
- Es ist durchaus möglich, dass der TS-Gehalt in der Biologie etwas erhöht werden kann, da PAK den Schlamm grundsätzlich schwerer macht.

Kenndaten MV-Stufe und Rückbelastung der Biologie (alle Werte als Jahresmittel für 2013)

		Kombination Ozon+PAK	PAK alleine
Q	m³/d	110'000	
GUS Ablauf NKB	mg/l	5	
DOC Ablauf NKB		5	
PAK Dosierung / PAK-Schlammproduktion	mg/l	5 / 7.5	10 / 15
GUS-Rückhalt	mg/l	75%	
PAK-Rückhalt	mg/l	99%	
Totale Schlammproduktion MV-Stufe	kg TS/d	1'230	2'050
ÜSS	kg TS/d	8'422	
Erhöhung ÜSS-Produktion durch MV-Stufe	-	15%	24%
Kapazitätsreduktion Biologie durch MV-Stufe	EW	31'000	51'000
Verfügbare Restkapazität 2013/aktuell	EW	55'000 / 40'000	55'000 / 40'000

2.3 Einleitbedingungen

Die aktuellen Einleitbedingungen entsprechen den Vorgaben der Gewässerschutzverordnung (ohne Verschärfung) mit der Ausnahme, dass zusätzliche Anforderungen für die Stickstoffelimination gelten. Die neue MV-Stufe dient also grundsätzlich ausschliesslich der MV-Elimination.

2.4 Schlammbehandlung

Die Schlammbehandlung verfügt über eine genügende Kapazität für allfällig anfallende Schlämme aus der MV-Stufe (siehe Bericht «Kapazität / Reserven der ARA» von 2016).

2.5 Hydraulisches Profil, Höhenlagen

Die neue MV-Stufe soll wenn möglich im freiem Gefälle durchflossen werden können. Dies ist mit dem bestehenden hydraulischen Profil theoretisch bei allen Verfahren bei entsprechender, sorgfältiger und optimierter Umsetzung möglich (es stehen total etwa 4 m Höhenunterschied zu Verfügung, siehe nachfolgende Tabelle).

Zusätzlich müssen aber auch die Grundwasserverhältnisse berücksichtigt werden: Die Bauwerke dürfen nicht tiefer liegen als der mittlere Grundwasserspiegel, der im Grossteil der neuen MV-Stufe etwa 4.5 m

unter Terrain liegt (siehe nachfolgende Tabelle). Dies ist problematisch für verschiedene Verfahrensvarianten mit tieferen Bauwerken, weshalb bei diesen Varianten ein Zwischenhebewerk notwendig und vorgesehen ist. Auch bei Varianten ohne notwendiges Zwischenhebewerk führt die Limitierung der Bautiefe zu Anpassungen, die den Platzbedarf leicht erhöhen zu Ausführungsformen ohne Limitierung der Bautiefe.

Kenndaten Hydraulisches Profil

Bestehender Ablauf, Ablaufüberfall	m.ü.M.	426.60
Terrain im Bereich MV-Stufe	m.ü.M.	ca. 425.0
Mittlerer Grundwasserspiegel im Bereich MV-Stufe (gemäss Plänen im Bereich Grundwasser-PW)	m.ü.M.	ca. 420.4
OK-Beckensohle gewählt	m.ü.M.	421.50*
Zulauf MV-Stufe (erstes Reaktionsbecken): • Absolut • Relativ (Höhe über Sohle)	m.ü.M. m	ca. 426.0 ca. 4.5
Ablauf MV-Stufe: • Absolut • Relativ (Höhe über Sohle) • Minimal notwendige Höhe für Ablauf	m.ü.M. m m.ü.M.	422.5 1.0 420.50
Höhenunterschied Beschickung MV-Stufe	m	ca. 0.6
Höhenunterschied MV-Stufe	m	ca. 3.5

*OK Beckensohle Biologie ist 421.90

2.6 Diverses

Die Aussagen beruhen auf dem aktuellen Stand des Wissens und aktuellen Empfehlungen. Die Berechnungen erfolgen ohne zusätzliche «stille» Sicherheiten. Hingegen ist im Zweifelsfall jeweils der konservativere Ansatz angewandt.

Die beiden existierenden Grundwasser-Pumpwerke werden in den vorgeschlagenen Anlagenlayouts nicht tangiert (mit Ausnahme der Variante «Ulmer-Verfahren»). Je nach Variante sind jedoch Anpassungen bei den Werkleitungen notwendig.

3 Ozonung

3.1 Grundlagen und Schnittstellen

Bei der Ozonung werden die Mikroverunreinigungen mit Ozon oxidiert. Die notwendige, biologische Nachbehandlung erfolgt gemäss Stand der Technik mit einer Raumfiltration, welche auch Schwebstoffe zurückhält und dementsprechend rückgespült werden muss.

Das schlammhaltige Rückspülwasser kann entweder zurück zum Sandfang oder zur Vorklärung gepumpt werden oder separat behandelt werden (siehe Kapitel 2.1). Die optionale Behandlung würde typischerweise erfolgen mittels Flockung des Rückspülwassers und Abtrennung des Schlammes durch Sedimentation in einem Lamellenklärer sowie folgender Rückführung der anfallenden, beiden Fraktionen:

- Rückführung des behandelten Rückspülwassers in die Filtration
- Rückführung des abgetrennten Schlammes zurück in den Sandfang oder die Vorklärung

3.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Relevante, grössere Schweizer Anlagen (> 50'000 EW) in Betrieb oder in Umsetzung sind nachfolgend aufgelistet:

- Dübendorf-Neugut
- Reinach-Oberwynental (AG)
- Zürich-Werdhölzli
- Morgental

3.3 Verfahrensstufen

- Ozonung (Ozonkontaktbecken, 4-strassig) und Ozonerzeugung
- Filtration zur Nachbehandlung (Einschichtfiltration, 2-strassig)
- Option: Aufbereitung des Rückspülwassers der Filtration (2-strassig)

3.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Die Anlage kann mit einem leicht erhöhten Platzbedarf ohne Zwischenpumpwerk realisiert werden.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

Ozonung		
Anzahl Strassen	-	4
Wassertiefe	m	4.5
Nutzfläche	m ²	560
Gesamtfläche exkl. Ozonerzeugung	m ²	713
Filtration		
Anzahl Strassen	-	2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	10 x 81
Nutzfläche	m ²	810
Gesamtfläche	m ²	1785
Weitere Elemente		
Ausrüstung Ozonung, Gesamtfläche	m ²	216
Lagertanks Sauerstoff	m ²	50
Option: Rücklaufbehandlung, Gesamtfläche	m ²	241
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m2 (ohne Verbindungskanäle, inkl. Option)	m ²	3'000

3.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- Die Eignung einer Ozonung für das vorliegende Abwasser muss überprüft werden/sein.
- Die Filtration weist in ihrer Längsachse einen um etwa 1 m vertieften und etwa 5 m breiten Bereich auf. Zur minimalen Beeinträchtigung des Grundwasserstromes ist die Längsachse der Filtration deshalb in Richtung des Grundwasserstromes platziert.
- Die Sauerstofflagertanks für die Befüllung mittels Silo-LKW sind gut erreichbar zu platzieren. Eine teilweise Herstellung von Sauerstoff vor Ort wäre in einer späteren Projektphase zu prüfen.

4 PAK im «Ulmer Verfahren»

4.1 Grundlagen und Schnittstellen

Bei diesem Adsorptionsverfahren wird Pulveraktivkohle (PAK) in einer Kontakt- und Sedimentationsstufe aufkonzentriert analog dem Belebtschlammverfahren. Zur guten Sedimentation der Kohle ist die Dosierung von Fäll- und Flockungshilfsmittel notwendig. Zum zusätzlichen und zuverlässigen PAK-Rückhalt ist eine Filtrationsstufe notwendig. Hierzu werden normalerweise Raumfilter (Sandfilter) eingesetzt. Einige Anlagen in Deutschland wenden auch Oberflächenfiltersysteme («Polstofffilter») an. In der vorliegenden Studie wird ein Raumfiltersystem berücksichtigt, da dieses System langjährig erprobt ist und der Platzbedarf tendenziell grösser ist. Ebenfalls erscheint die Raumfiltration für grosse Anlagen wirtschaftlicher.

Aufgrund der Aufkonzentrierung der PAK auf 1-2 g/l ergibt sich ein geringes Volumen für die aus der MV-Stufe auszuschleusende «Überschuss-PAK». Diese PAK kann direkt in die Biologie rückgeführt werden. Die Filtration produziert hingegen eine signifikante Rückspülwassermenge, die nicht direkt in die Biologie rückgeführt werden kann. Hingegen ist eine Rückführung in die Kontakt- und Sedimentationsstufe machbar und somit eine spezifische, separate Behandlung nicht notwendig.

4.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Relevante, grössere Schweizer Anlagen (> 50'000 EW) in Betrieb oder in Umsetzung sind nachfolgend aufgelistet:

- Thunersee
- Herisau (< 50'000 EW)

In Deutschland existieren diverse grosstechnische Umsetzungen.

4.3 Verfahrensstufen

- Kontaktbecken (3-strassig) und Lagerung und Dosierung von PAK, Fällmittel und Flockungshilfsmittel
- Absetzbecken (3-strassig mit je 4 Becken)
- Filtration zur Nachbehandlung (Einschichtfiltration, 2-strassig)

Das Rückspülwasser der Filtration wird direkt zurück zu den Kontaktbecken geführt.

4.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Die Anlage kann mit einem leicht erhöhten Platzbedarf ohne Zwischenpumpwerk realisiert werden.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

Kontaktbecken und Sedimentation		
Anzahl Strassen	-	3
Anzahl Sedimentationsbecken pro Strasse	-	4
Wassertiefe		4.5
Nutzfläche Kontaktbecken	m ²	747
Nutzfläche Sedimentationsbecken	m ²	6'000
Gesamtfläche	m ²	7'440
Filtration		
Anzahl Strassen	m ²	2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	10 x 81
Nutzfläche	m ²	810
Gesamtfläche	m ²	1'785
Weitere Elemente		
Lagerung und Dosiereinrichtungen für PAK und FHM (Fällmittel zentral), Gesamtfläche	m ²	75
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m2 (ohne Verbindungskanäle)	m ²	9'300

4.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- Die Dimensionierung basiert auf der definierten Wassermenge von 2'800 l/s («Vollstrombehandlung»). Die beiden bisherigen grosstechnischen Anwendungen behandeln «nur» eine reduzierte Wassermenge («Teilstrombehandlung») in der Adsorptionsstufe (Kontaktbecken+Sedimentation). Ein solche Reduktion der Wassermenge müsste in einer späteren Projektphase genauer studiert werden.
- Die Filtration weist in ihrer Längsachse einen um etwa 1 m vertieften und etwa 5 m breiten Bereich auf. Zur minimalen Beeinträchtigung des Grundwasserstromes ist die Längsachse der Filtration deshalb in Richtung des Grundwasserstromes platziert.
- Die Lagersilos für PAK sind für die Befüllung mittels Silo-LKW gut erreichbar zu platzieren.

5 PAK im «Ulmer Verfahren» mit Lamellenklärer

5.1 Grundlagen und Schnittstellen

Bei diesem Adsorptionsverfahren wird Pulveraktivkohle (PAK) in einer Kontakt- und Sedimentationsstufe aufkonzentriert analog dem Belebtschlammverfahren. Die Sedimentationsstufe ist dabei als Lamellenklärer ausgeführt, was den Flächenbedarf reduziert. Eine alternative, neue Ausführung eines Anbieters konzentriert die PAK direkt im Lamellenklärer auf ohne Rückführung in die Kontaktstufe (Pulsagreen-Verfahren, patentiert). Das Verfahren wurde grosstechnisch in dieser Art noch nicht ausgeführt und hat einen ähnlichen Platzbedarf wie ein Lamellenklärer, weshalb es nicht weiter studiert wird.

Zur guten Sedimentation der Kohle ist die Dosierung von Fäll- und Flockungshilfsmittel notwendig. Zum zusätzlichen und zuverlässigen PAK-Rückhalt ist eine Filtrationsstufe notwendig. Hierzu werden normalerweise Raumfilter (Sandfilter) eingesetzt. Alternativ wären auch Oberflächenfiltersysteme («Polstofffilter») denkbar (siehe Kapitel zu «Ulmer-Verfahren»).

Bezüglich der Schnittstellen gelten die gleichen Bemerkungen wie im vorangehenden Kapitel zum «Ulmer Verfahren».

5.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

In der Schweiz sind weder solche Anlage in Betrieb noch geplant gemäss unserem Wissensstand.

In Deutschland existieren einige grosstechnische Umsetzungen.

5.3 Verfahrensstufen

- Pumpwerk
- Kontaktbecken (2-strassig mit je 3 Becken) und Lagerung und Dosierung von PAK, Fällmittel und Flockungshilfsmittel
- Lamellenklärer (2-strassig mit je 3 Becken)
- Filtration zur Nachbehandlung (Einschichtfiltration, 2-strassig)

Das Rückspülwasser der Filtration wird direkt zurück zu den Kontaktbecken geführt.

5.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Aufgrund der grösseren Bautiefe der Lamellenklärer ist eine Zwischenpumpwerk notwendig und vorgesehen.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

Kontaktbecken und Sedimentation		
Anzahl Strassen	-	2
Anzahl Sedimentationsbecken pro Strasse	-	3
Wassertiefe		6
Nutzfläche Kontaktbecken	m ²	560
Nutzfläche Sedimentationsbecken	m ²	1200
Gesamtfläche	m ²	2'160
Filtration		
Anzahl Strassen	m ²	2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	10 x 81
Nutzfläche	m ²	810
Gesamtfläche	m ²	1'785
Weitere Elemente		

Zwischenpumpwerk, Gesamtfläche	m ²	96
Lagerung und Dosiereinrichtungen für PAK und FHM (Fällmittel zentral), Gesamtfläche	m ²	75
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m² (ohne Verbindungskanäle)	m ²	4'100

5.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- analog Kapitel 4.5.

6 PAK vor Filter

6.1 Grundlagen und Schnittstellen

Bei diesen Adsorptionsverfahren wird Pulveraktivkohle (PAK) zusammen mit Fällmittel in einen Kontaktreaktor dosiert, wo die Adsorption der MV beginnt und die PAK in gut abfiltrierbare Flocken gebracht wird. Anschliessend wird die PAK in der anschliessenden Raumfiltration abfiltriert (zusammen mit den restlichen Schwebstoffen im Ablauf der Nachklärung), wobei die Adsorption von MV durch die Einlagerung von PAK im Filterbett weitergeht.

Das schlammhaltige Rückspülwasser (enthält die dosierte PAK und abfiltrierte Schwebstoffe) kann entweder zurück zur Biologie gepumpt werden oder separat behandelt werden (siehe Kapitel 2.1). Die optionale Behandlung würde typischerweise erfolgen mittels Flockung des Rückspülwassers und Abtrennung des Schlammes durch Sedimentation in einem Lamellenklärer sowie folgender Rückführung der anfallenden, beiden Fraktionen:

- Rückführung des behandelten Rückspülwassers zum Kontaktreaktor
- Rückführung des abgetrennten Schlammes zurück in die Biologie

6.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Das Verfahren wurde intensiv und lange grosstechnisch in Sissach (ARA Ergolz I) in einer grosstechnischen Teilstromanwendung untersucht. 2018 wird in Cham die ARA Schönau das Verfahren erstmals im Vollstrom anwenden. Verschiedene weitere Kläranlagen, die häufig schon über eine Filtration verfügen, haben sich auch für dieses Verfahren entschieden.

6.3 Verfahrensstufen

- PAK-Kontaktbecken (2-strassig) und Lagerung/Dosierung von PAK und Fällmittel
- Filtration zur Nachbehandlung (Zweischichtfiltration, 2-strassig)
- Option: Aufbereitung des Rückspülwassers der Filtration (2-strassig)

6.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Die Anlage kann mit einem leicht erhöhten Platzbedarf ohne Zwischenpumpwerk realisiert werden.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

PAK-Kontaktbecken		
Anzahl Strassen	-	3
Wassertiefe	m	4.5
Nutzfläche Kontaktbecken	m ²	616
Gesamtfläche exkl. PAK+FM Lagerung/Dosierung		
Filtration		
Anzahl Strassen		2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	14 x 81
Nutzfläche	m ²	1'134
Gesamtfläche	m ²	2'332
Weitere Elemente		
Lagerung und Dosiereinrichtungen für PAK (Fäll- mittel zentral), Gesamtfläche	m ²	50
Option: Rücklaufbehandlung, Gesamtfläche	m ²	241
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m² (ohne Verbindungskanäle, inkl. Option)	m ²	3'400

6.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- Die Filtration weist in ihrer Längsachse einen um etwa 1 m vertieften und etwa 5 m breiten Bereich auf. Zur minimalen Beeinträchtigung des Grundwasserstromes ist die Längsachse der Filtration deshalb in Richtung des Grundwasserstromes platziert.
- Die Lagersilos für PAK sind für die Befüllung mittels Silo-LKW gut erreichbar zu platzieren.

7 PAK vor Filter in Kombination mit Ozon

7.1 Grundlagen und Schnittstellen

Das Verfahren «PAK vor Filter» wird mit einer zusätzlichen, vorgeschalteten Ozonung kombiniert. Durch die Kombination kann mit tieferen Ozon- und PAK-Dosen gearbeitet werden als bei der alleinigen Anwendung von Ozon oder PAK. Dadurch kann die Bildung von problematischen Oxydationsnebenprodukten reduziert oder vermieden werden und es ergeben sich tiefere Betriebskosten. Ebenfalls ergibt sich eine doppelte Behandlung von Oxydationsnebenprodukten (AK-Adsorption und biologische Nachbehandlung in der Filtration), was positiv bewertet wird.

Es gelten die gleichen Bemerkungen zu den Schnittstellen wie beim Verfahren «PAK vor Filter». Dank dem tieferen PAK-Einsatz ist die Rückbelastung der Biologie geringer.

7.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Das Verfahren ist für den Ausbau der ARA Basel in Planung.

7.3 Verfahrensstufen

- Pumpwerk
- Ozonung (Ozonkontaktbecken, 4-strassig) und Ozonerzeugung
- PAK-Kontaktbecken (2-strassig) und Lagerung/Dosierung von PAK und Fällmittel
- Filtration (Zweischichtfiltration, 2-strassig)
- Option: Aufbereitung des Rückspülwassers der Filtration (2-strassig)

7.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Aufgrund der zusätzlichen Ozonungsstufe ist ein Zwischenpumpwerk wahrscheinlich notwendig und berücksichtigt. Bei optimierter hydraulischer Gestaltung und direkter Kombination der Ozonung mit der PAK-Adsorption könnte die Anlage vielleicht auch ohne Zwischenpumpwerk realisiert werden, dies mit einem leicht erhöhten Platzbedarf im Bereich der Ozonung und der PAK-Kontaktbecken.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

Ozonung		
Anzahl Strassen		4
Wassertiefe		6
Nutzfläche		308
Gesamtfläche exkl. Ozonerzeugung		
PAK-Kontaktbecken		
Anzahl Strassen		2
Wassertiefe		6
Nutzfläche Kontaktbecken		462
Gesamtfläche exkl. PAK+FM Lagerung/Dosierung	m ²	3'400
Filtration		
Anzahl Strassen		2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	14 x 81
Nutzfläche	m ²	1'134
Gesamtfläche	m ²	2'332
Weitere Elemente		
Zwischenpumpwerk, Gesamtfläche	m ²	96
Ausrüstung Ozonung, Gesamtfläche	m ²	216
Lagerung und Dosiereinrichtungen für PAK (Fällmittel zentral), Gesamtfläche	m ²	50
Lagertanks Sauerstoff	m ²	50
Option: Rücklaufbehandlung, Gesamtfläche	m ²	241

Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m² (ohne Verbindungskanäle, inkl. Option)	m ²	3'900
--	----------------	-------

7.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- analog Kapitel 6.5.
- Die Sauerstofflagertanks für die Befüllung mittels Silo-LKW sind gut erreichbar zu platzieren. Eine teilweise Herstellung von Sauerstoff vor Ort wäre in einer späteren Projektphase zu prüfen.

8 Filtration mit GAK

8.1 Grundlagen und Schnittstellen

Bei diesem Verfahren findet eine Adsorption der Mikroverunreinigungen an granulierten Aktivkohle (GAK) statt, die periodisch erneuert (reaktiviert) wird. Die Aktivkohle wird im Normalfall als Füllmaterial eines Filters eingesetzt, was einen zusätzlichen Schwebstoffrückhalt ermöglicht. Eine alternative, neue Ausführung eines Anbieters (Carbopius-Verfahren, patentiert) verwendet eine expandierte Füllung von Aktivkohle. Dies reduziert jedoch den Filtereffekt signifikant. Nachfolgend ist die «normale» Filtration mit GAK betrachtet.

Aufgrund des Schwebstoffrückhalts müssen die Filter regelmässig rückgespült werden. Das schlammhaltige Rückspülwasser kann entweder zurück zum Sandfang oder zur Vorklärung gepumpt werden oder separat behandelt werden (siehe Kapitel 2.1). Die optionale Behandlung würde typischerweise erfolgen mittels Flockung des Rückspülwassers und Abtrennung des Schlammes durch Sedimentation in einem Lamellenklärer sowie folgender Rückführung der anfallenden, beiden Fraktionen:

- Rückführung des behandelten Rückspülwassers in die Filtration
- Rückführung des abgetrennten Schlammes zurück in den Sandfang oder die Vorklärung

8.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Das Verfahren ist für den Ausbau der ARA Altenrhein in Umsetzung, wobei in Kombination mit einer vorgeschalteten Ozonung.

In Deutschland existieren ebenfalls einige grosstechnische Umsetzungen.

8.3 Verfahrensstufen

- Pumpwerk
- Filtration mit GAK (2-strassig)
- Option: Aufbereitung des Rückspülwassers der Filtration (2-strassig)

8.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Aufgrund des Filteraufbaus ergibt sich eine relative grosse Bautiefe, welche ein Zwischenpumpwerk notwendig macht. Ein solches Zwischenhebewerk wäre übrigens auch in der alternativen Ausführungsform der expandierten Füllung von Aktivkohle notwendig.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

Filtration		
Anzahl Strassen		2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	24 x 81
Nutzfläche	m ²	1'944
Gesamtfläche	m ²	3'520
Weitere Elemente		
Zwischenhebewerk, Gesamtfläche	m ²	96
Option: Rücklaufbehandlung, Gesamtfläche	m ²	241
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m2 (ohne Verbindungskanäle, inkl. Option)	m ²	3'900

8.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- Die Filterzellen sollen für den Austausch der GAK mittels Silo-LKW gut erschlossen sein (Strasse entlang der beiden Längsseiten).

9 Filtration mit GAK in Kombination mit Ozon

9.1 Grundlagen und Schnittstellen

Konzept und Motivation dieser Kombination sind gleich wie beim Verfahren «PAK vor Filtration in Kombination mit Ozon»: Anstelle eines geringeren PAK-Verbrauchs ergibt sich eine längere Nutzdauer der GAK. Ebenfalls kann die Grösse der Filtrationsstufe reduziert werden, was die Investitionskosten deutlich senkt und die Mehrkosten der Ozonung je nach Anlagengrösse kompensiert. Diese Reduktion erfolgt unter der Annahme, dass bei Regenwetter die Ozondosis leicht erhöht wird, um die geringere Leistung der GAK bei höheren Wassermengen (und somit tieferen Kontaktzeiten) zu kompensieren.

Es gelten die gleichen Bemerkungen zu den Schnittstellen wie beim Verfahren «Filtration mit GAK».

9.2 Bisherige grosstechnische Umsetzung, Referenzen

Das Verfahren ist für den Ausbau der ARA Altenrhein in Umsetzung.

9.3 Verfahrensstufen

- Ozonung (Ozonkontaktbecken, 4-strassig) und Ozonerzeugung
- Filtration mit GAK (2-strassig)
- Option: Aufbereitung des Rückspülwassers der Filtration (2-strassig)

9.4 Dimensionierung, Platzbedarf und Disposition

Aufgrund des Filteraufbaus ergibt sich eine relative grosse Bautiefe, welche ein Zwischenpumpwerk notwendig machte. Ein solches Zwischenhebewerk wäre übrigens auch in der alternativen Ausführungsform der expandierten Füllung von Aktivkohle notwendig.

Nachfolgende Tabelle fasst die wichtigsten Kenndaten dieser Variante zusammen. Genauere Infos können dem Anhang entnommen werden. Eine mögliche Disposition ist im Anhang ersichtlich.

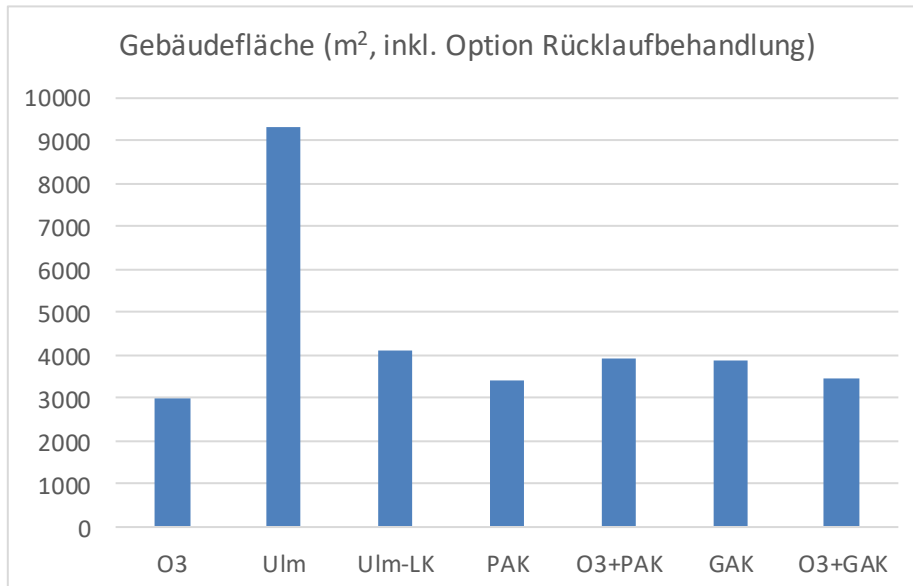
Ozonung		
Anzahl Strassen	-	4
Wassertiefe	m	6
Nutzfläche	m ²	280
Gesamtfläche exkl. Ozonerzeugung	m ²	384
Filtration		
Anzahl Strassen		2
Anzahl Zellen x Fläche	- x m ²	16 x 81
Nutzfläche	m ²	1'296
Gesamtfläche	m ²	2'480
Weitere Elemente		
Zwischenhebewerk, Gesamtfläche	m ²	96
Ausrüstung Ozonung, Gesamtfläche	m ²	216
Lagertanks Sauerstoff	m ²	50
Option: Rücklaufbehandlung, Gesamtfläche	m ²	241
Totaler Flächenbedarf, gerundet auf 100 m2 (ohne Verbindungskanäle, inkl. Option)	m ²	3'500

9.5 Schlussbemerkungen, Hinweise

- Die Filterzellen sollen für den Austausch der GAK mittels Silo-LKW gut erschlossen sein (Strasse entlang der beiden Längsseiten).
- Ebenfalls sind die Sauerstofflagertanks für die Befüllung mittels Silo-LKW gut erreichbar zu platzieren. Eine teilweise Herstellung von Sauerstoff vor Ort wäre in einer späteren Projektphase zu prüfen.

10 Vergleich Platzbedarf

Nachfolgende zeigt die reine Gebäudefläche der verschiedenen Varianten. Der totale Platzbedarf inklusive Erschliessung ist natürlich höher und hängt von der Disposition der Bauwerke ab (siehe Skizzen im Anhang).



11 Kosten

11.1 Investitionskosten

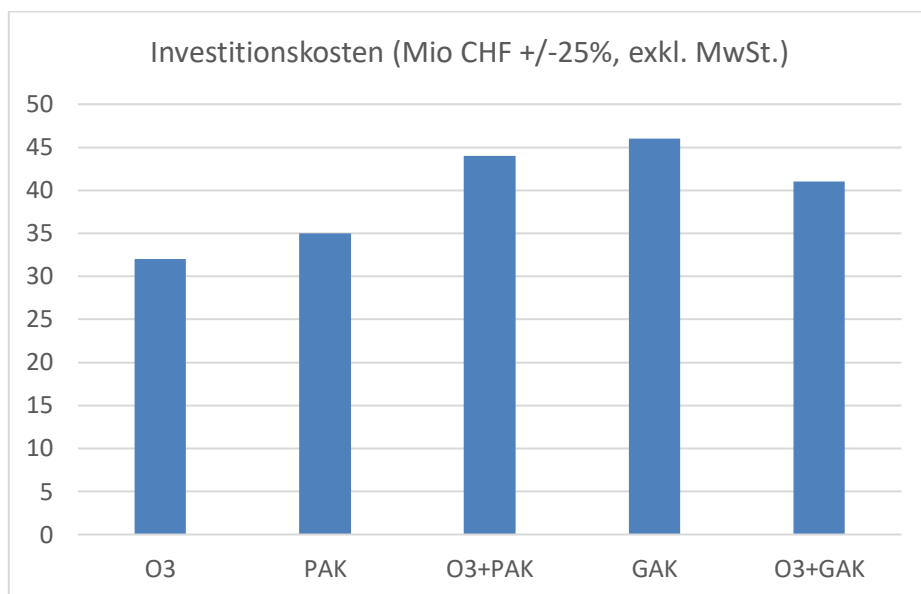
11.1.1 MV-Stufe (ohne Option Rücklaufbehandlung)

Nachfolgende Graphik (nächste Seite) zeigt die Investitionskosten der verschiedenen Varianten. Es gelten folgende Bemerkungen:

- Kostenschätzung +/- 25% exkl. MwSt.
- Optionale Rücklaufbehandlung ist nicht berücksichtigt
- Kosten exkl. Landerwerb und allfällige Altlastenbeseitigung
- Bei den Varianten mit GAK ist das Filtermaterial nicht in den Investitionskosten, sondern bei den Betriebskosten (Betriebsmittel) berücksichtigt.

11.1.2 Option Rücklaufbehandlung

Die geschätzten Kosten (+/- 25% exkl. MwSt., exkl. Landerwerb/allfällige Altlastensanierung) betragen CHF 4.8 Mio für eine spätere, separate Realisierung. Bei einer gleichzeitigen Realisierung wären die Kosten etwas tiefer.

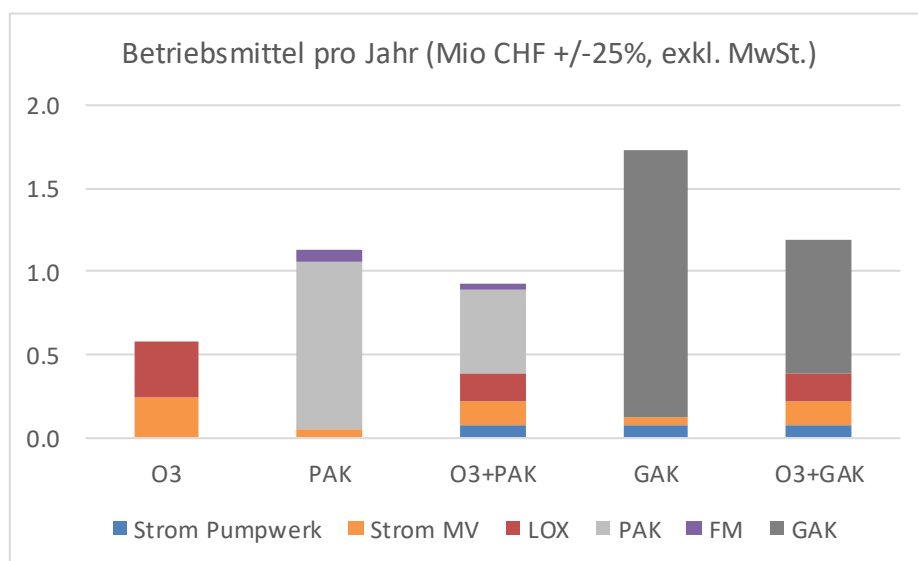


11.2 Betriebsmittel

Nachfolgende Graphik zeigt die jährlichen Kosten für die wichtigsten Betriebsmittel der verschiedenen Varianten. Es gelten folgende Bemerkungen:

- Kosten Elektrizität: CHF 0.12 / kWh
- Kosten Flüssigsauerstoff (LOX): CHF 0.25 / kg
- Kosten PAK: CHF 2.5 / kg
- Kosten Fällmittel (Verfahren mit PAK): CHF 2.0 / kg Fe = ca. CHF 400/m³ Lösung 40%
- Kosten GAK/Reaktivierung GAK (inklusive Kosten für Austausch): CHF 1'000 / m³

Die Kosten für Fällmittel oder Flockungshilfsmittel für die Schlammwasseraufbereitung sind nicht berücksichtigt. Die Kosten sind im Vergleich mit den anderen Positionen vernachlässigbar.

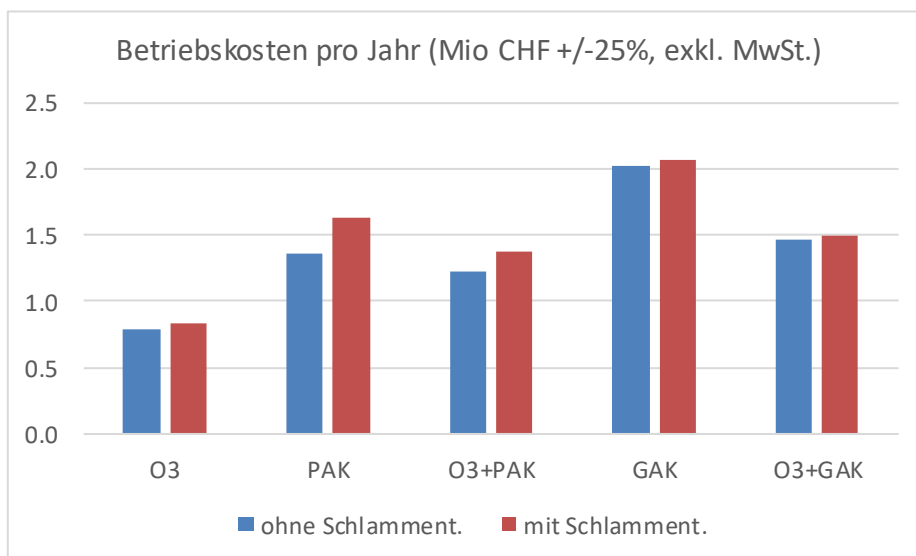


Kommentar: Die Kombinationsverfahren sind erwartungsgemäss im Vergleich zur ihrem «Ursprungsverfahren» ohne Ozon wie erwartet günstiger. Bei der Variante PAK / O3+PAK ist der Unterschied etwas kleiner als normalerweise, weil bei der Variante O3+PAK zusätzlich ein Pumpwerk berücksichtigt ist.

11.3 Betriebskosten

Nachfolgende Graphik zeigt die Kosten der Betriebskosten der verschiedenen Variante ohne und mit Berücksichtigung der Schlammmentsorgung. Es gelten folgende Bemerkungen:

- Weitere berücksichtigte Kostenelemente: Wartung und Unterhalt
- Nicht berücksichtigte Kostenelemente: Analytik (intern und extern)



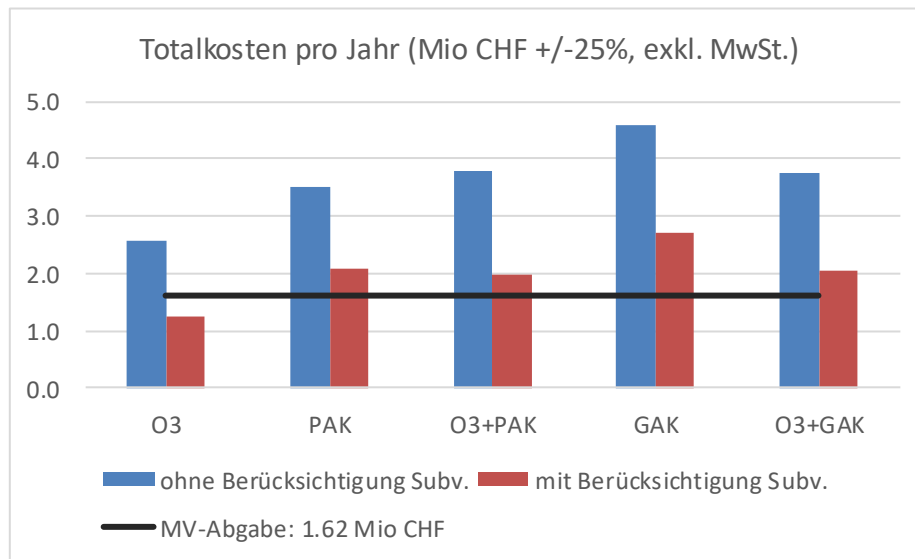
11.4 Totalkosten

Nachfolgende Graphik zeigt die totalen, jährlichen Kosten der verschiedenen Varianten unter Berücksichtigung der Amortisation/Annuität der totalen Investitionskosten – ohne und mit Berücksichtigung einer Subvention von 75%. Es gelten folgende Bemerkungen:

- In beiden Fällen ist die Schlammmentsorgung eingerechnet (CHF 90.-/to Nassschlamm = CHF 391.-/to TS bei Entwässerung auf 23%)
- Amortisation Bau, Honorar und div.: 40 a, 3%
- Amortisation Ausrüstung (EMT, EMSRL, HLKS): 20 a, 3%

Hinweise:

- Die totalen Jahreskosten sind stark von den Kapitalkosten abhängig. Währenddem die aktuelle Erstinvestition subventioniert wird, ist dies (wahrscheinlich) nicht mehr der Fall für spätere Ersatzinvestitionen. Es wird deshalb empfohlen, beide Fälle (subventionierte Erstinvestition und spätere Ersatzinvestition) zu betrachten.
- Bei Kombinationsverfahren (Ozon und Aktivkohle) ist unter Umständen nicht die gesamte Investition subventionsberechtigt, d.h. dass hier die Totalkosten unter Berücksichtigung der Subventionen allenfalls höher sind als in der Graphik gezeigt.
- Die relativen Kostenunterschiede werden deutlich grösser, wenn man die Abgabenbefreiung berücksichtigt (CHF 9.- pro Einwohner und Jahr, d.h. CHF 1.62 Mio bei 180'000 Einwohnern).



12 Fazit

Die verschiedenen Verfahren erweisen sich wie erwartet als unterschiedlich bezüglich Platzbedarf und Kosten. Die Ozonung weist wie erwartet den geringsten Platzbedarf und die tiefsten Kosten aus. Unter Einbezug der Kostentoleranz können sich aber noch Veränderungen im (relativen) Quervergleich geben, doch wird die Ozonung am wirtschaftlichsten bleiben. Da die Totalkosten stark von der Amortisation geprägt sind, ist hier eine verfeinerte Betrachtung (ohne/mit Subventionen, Klärung der Subvention bei Kombinationsverfahren) empfohlen. Weitere relevante Unterschiede zeigen sich in folgenden Aspekten: Schlammproduktion und Rückbelastung Biologie, hydraulisches Profil (Zwischenpumpwerk), Komplexität, usw. Schliesslich sind selbstverständlich noch die Resultate der Abklärungen zur Eignung von Ozon abzuwarten, bzw. das Ozontestverfahren abzuschliessen.

Als weitere Schritte empfehlen wir die gemeinsame Definition und den vertieften Vergleich von 2-3 interessanten (bzw. in Funktion der Ozoneignung machbaren) Varianten zur Bestimmung einer Bestvariante (Variantenvergleich). Dies kann als unabhängige, weitere Projektphase oder direkt im Rahmen eines Vorprojektes erfolgen.

Wir würden uns sehr freuen, die nächsten Schritte mit Ihnen anzugehen. Wir haben in den letzten Jahren diverse solche, vertiefte Variantenvergleiche und Vorprojekte gemacht und verfügen über den neuesten Kenntnisstand bezüglich der Thematik dank unseren internen Aktivitäten und der aktiven Tätigkeit bei den entsprechenden Gremien des VSA (z.B. Plattform Mikroverunreinigungen).

Winterthur, 26. April/13.Juni 2018
bag/rs/rm

HUNZIKER **BETATECH**

Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur

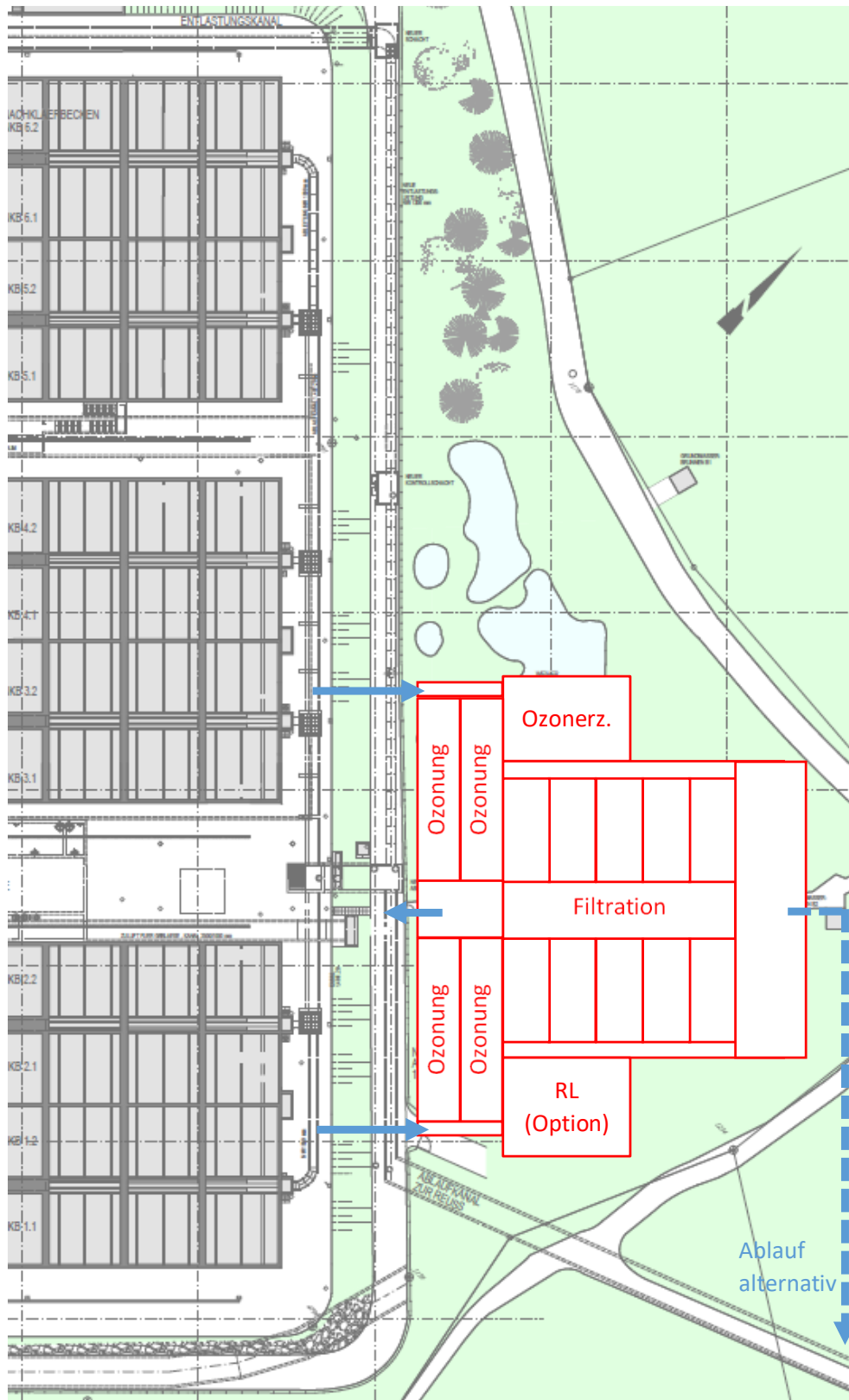


13 Anhang

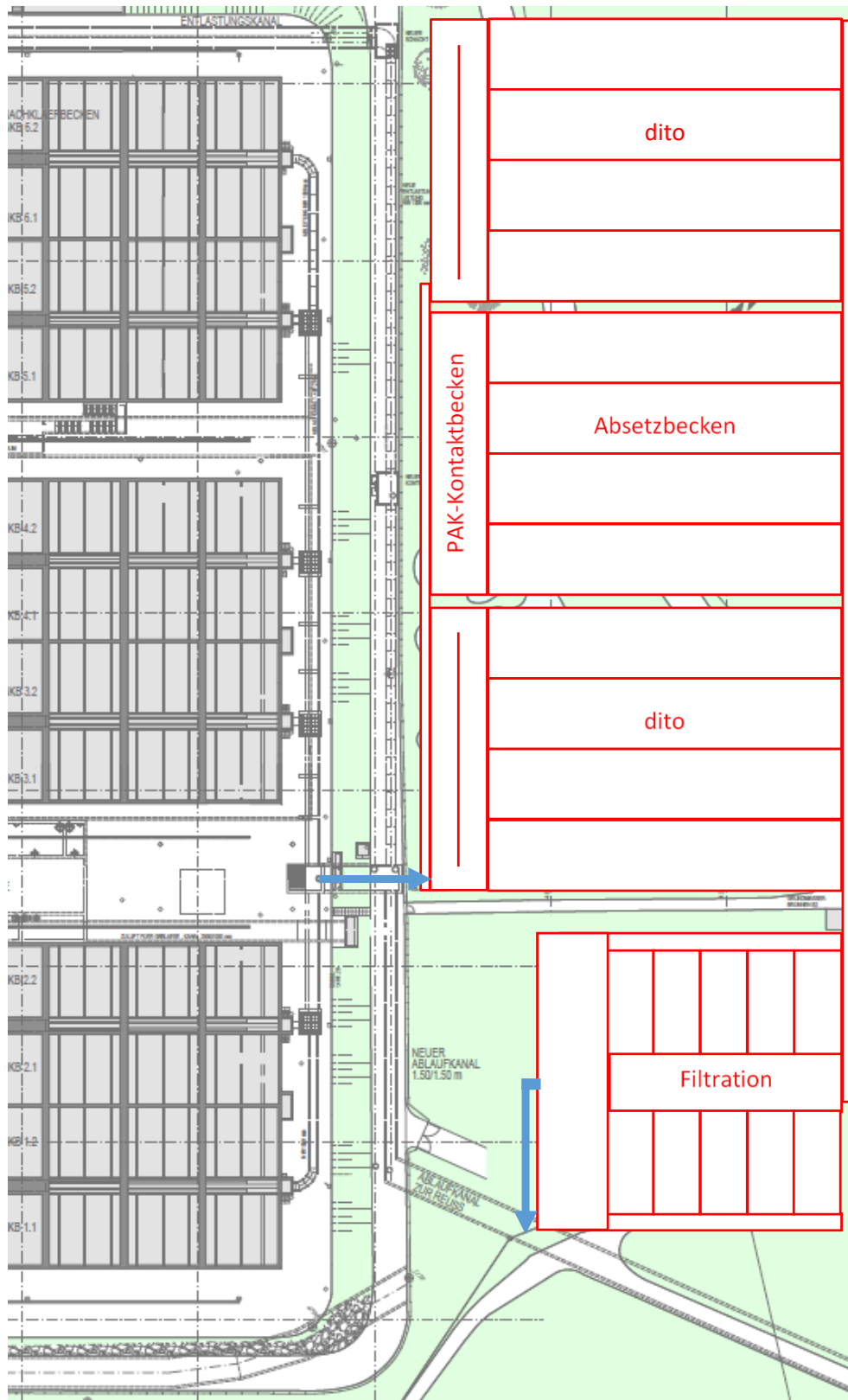
Die nachfolgenden Dispositionsskizzen zeigen eine mögliche Disposition der verschiedenen Varianten. Bei Ausdruck auf A4 ergibt sich ein Masstab von 1:1000.

Die blauen Pfeile zeigen eine mögliche Beschickung und den Ablauf der MV-Stufe. Teilweise sind zwei Varianten für den Ablauf gezeichnet.

13.1 Platzbedarf/Disposition Ozonung



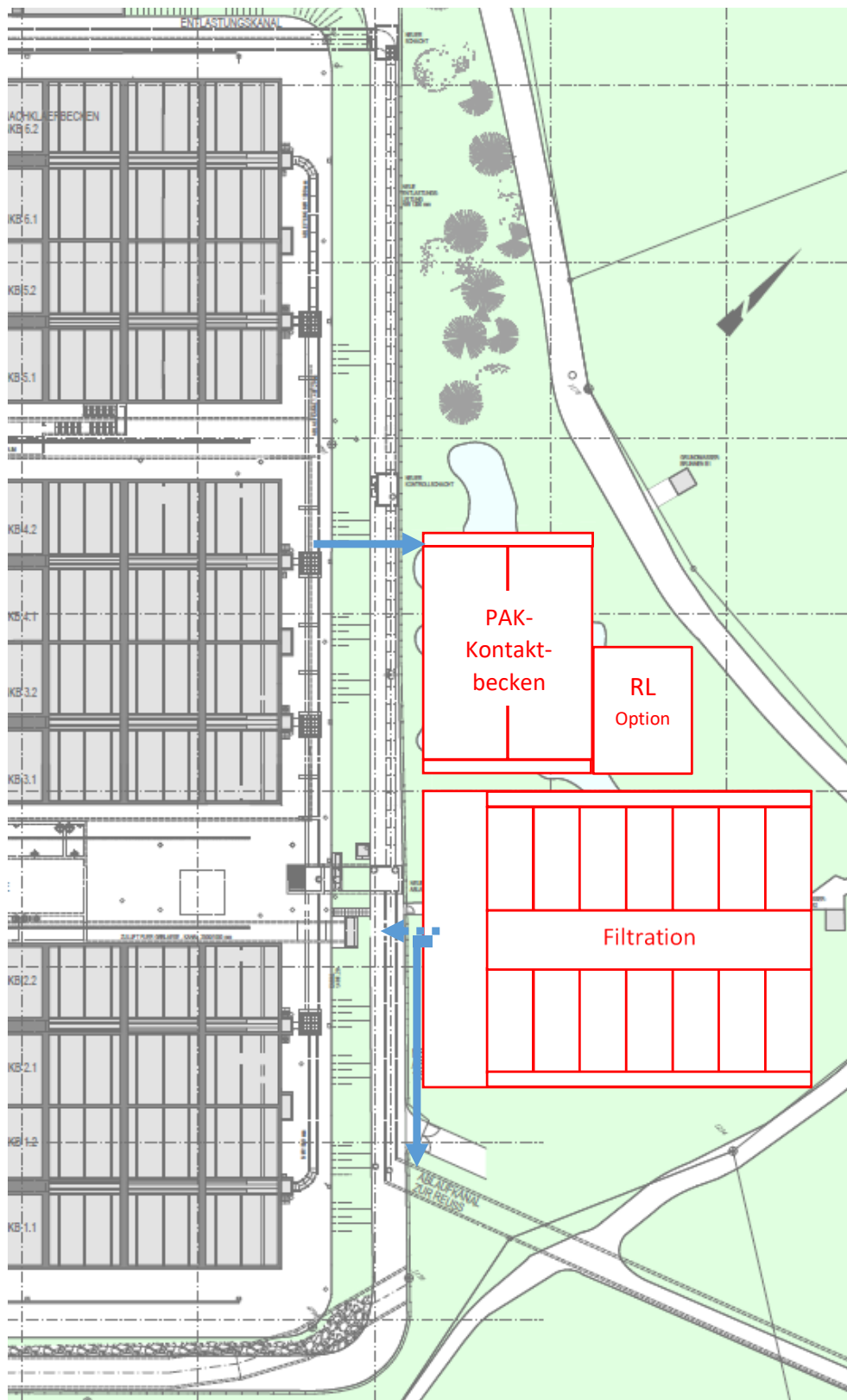
13.2 Platzbedarf/Disposition «Ulmer Verfahren»



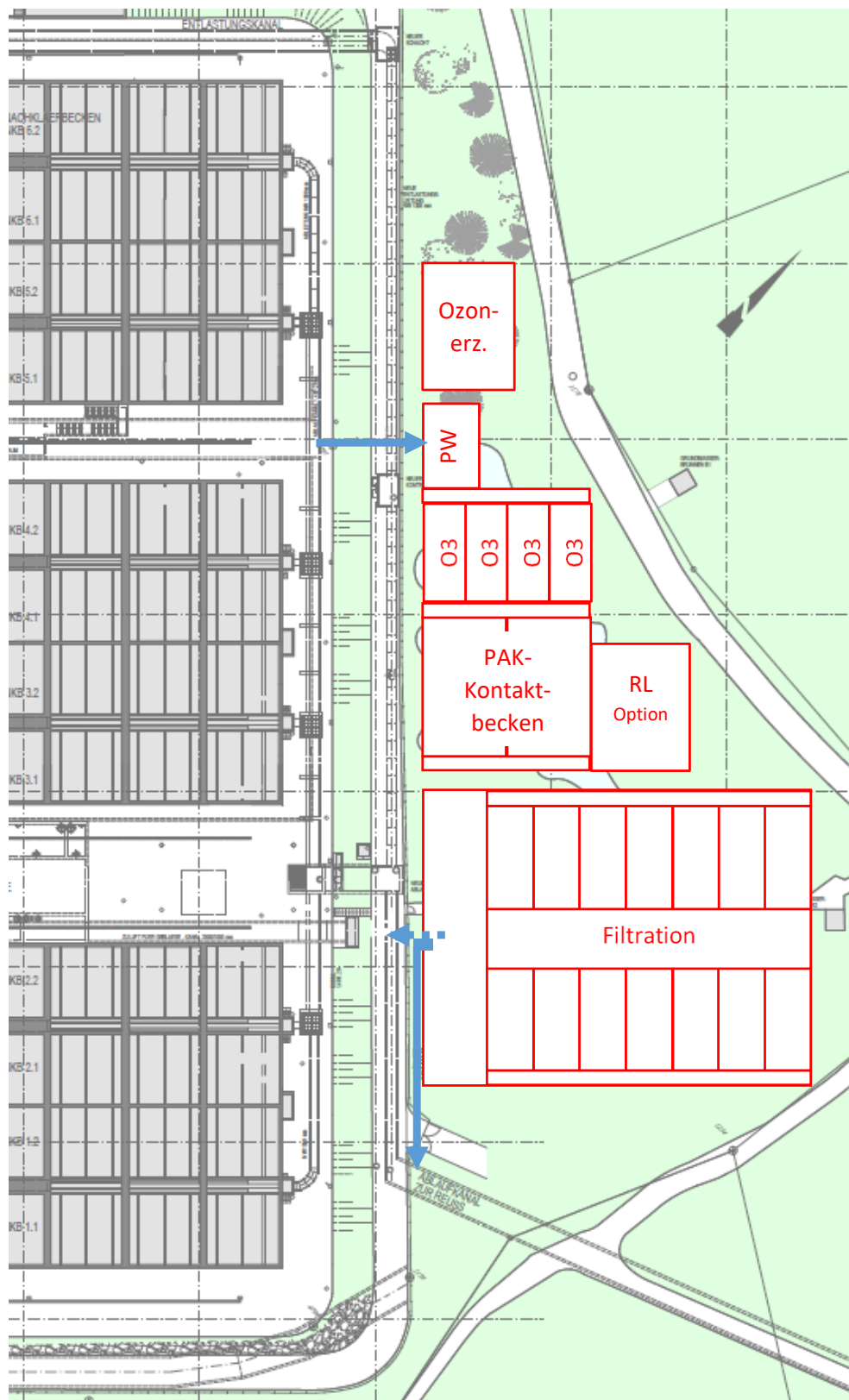
13.3 Platzbedarf/Disposition «Ulmer Verfahren» mit Lamellenklärer



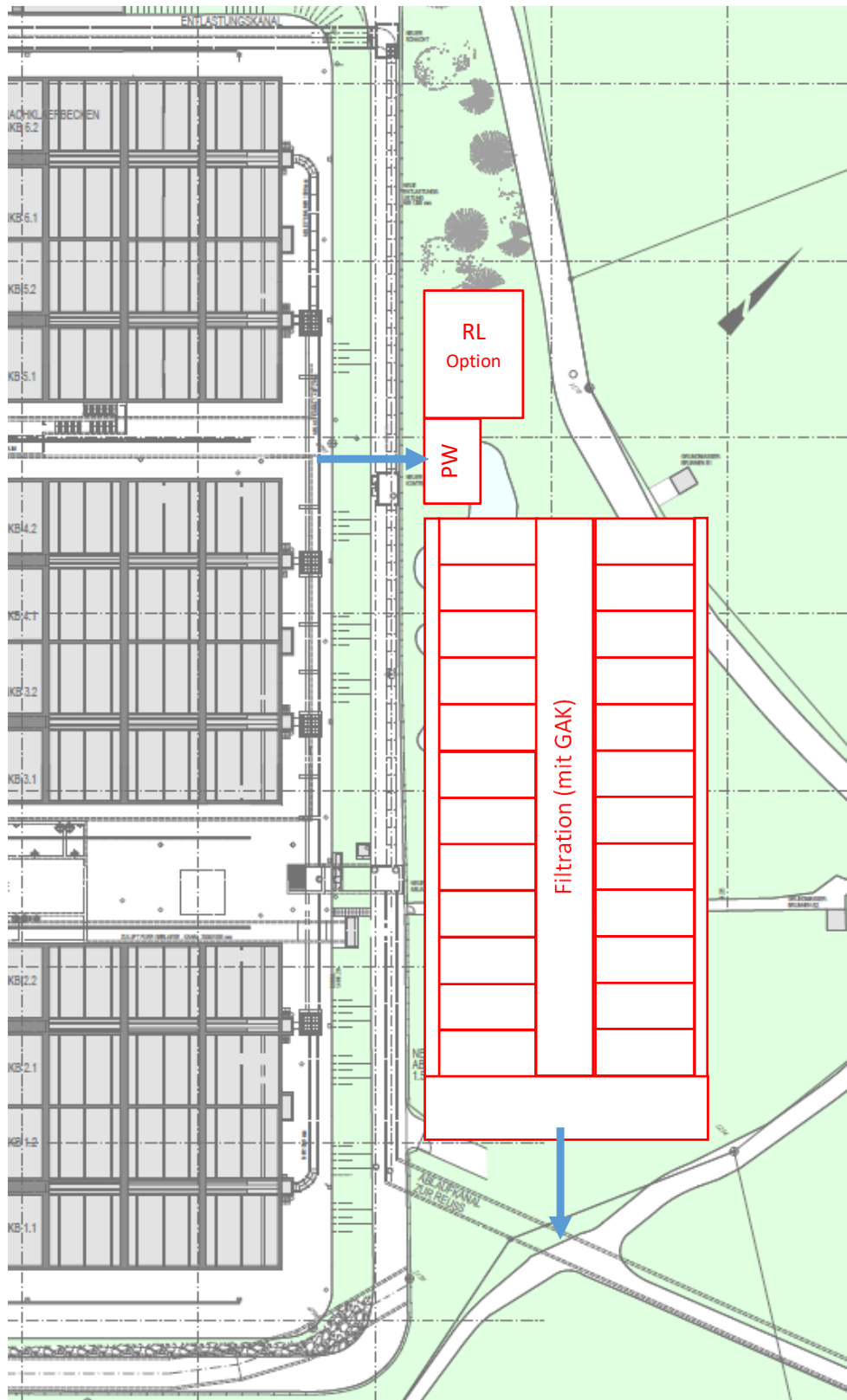
13.4 Platzbedarf/Disposition PAK vor Filter



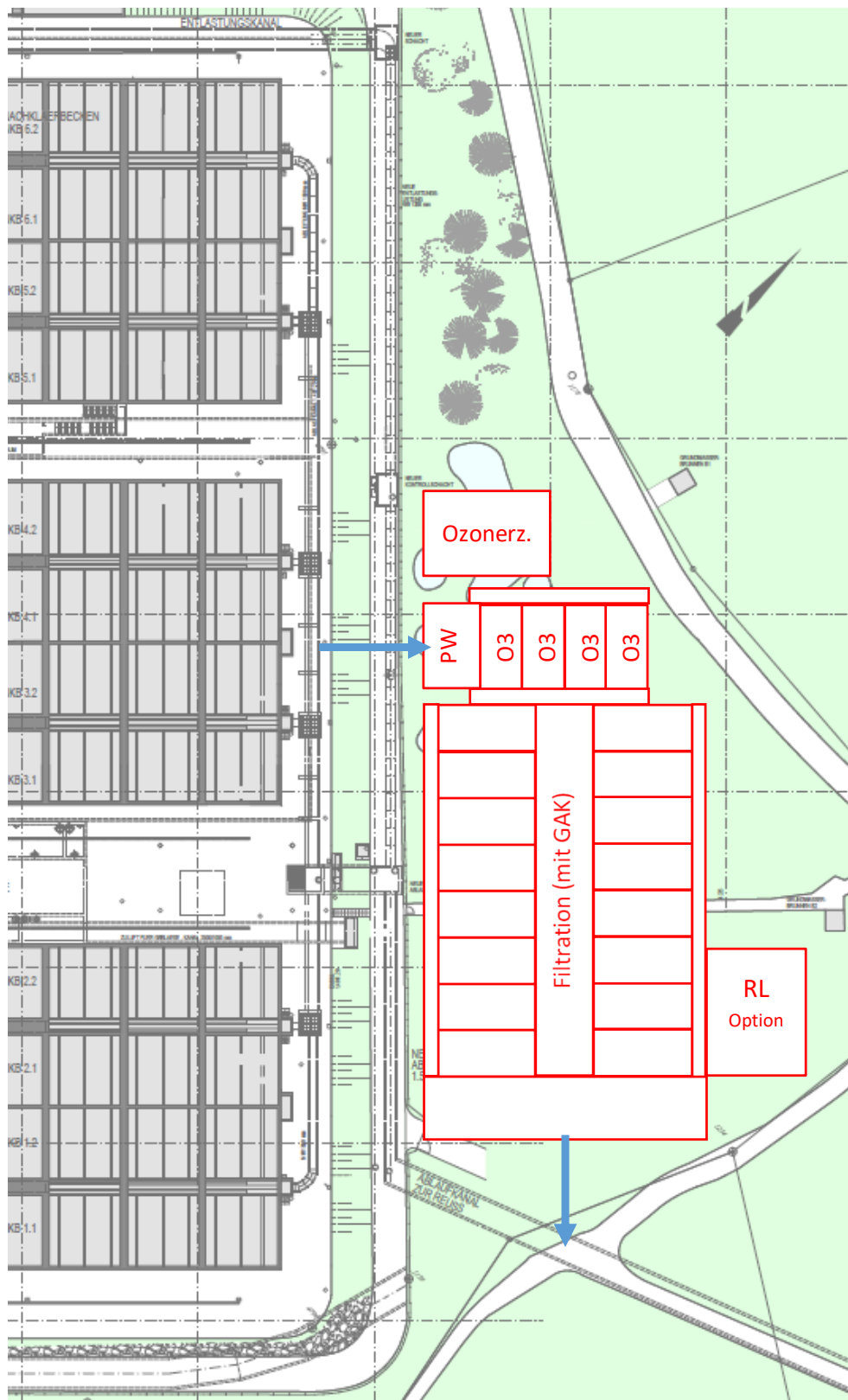
13.5 Platzbedarf/Disposition PAK vor Filter mit Kombination mit Ozon



13.6 Platzbedarf/Disposition Filtration mit GAK



13.7 Platzbedarf/Disposition Filtration mit GAK in Kombination mit Ozon



13.8 Berechnungen



Verfahren		Ozon	Ulm	Ulm-LK (mit PW)	PAK	Ozon-PAK (mit PW)	GAK (mit PW)	Ozon-GAK (mit PW)
Grundlagen und Dimensionierung								
Q aus NKB	l/s	2800	2800	2800	2800	2800	2800	2800
RL								
Qmax	%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%	7.0%
	l/s	196	196	196	196	196	196	196
Rückführung nach		Filter nach Beh.	kontaktbecken	kontaktbecken	Flockung nach Beh.	Flockung nach Beh.	Filter nach Beh.	Filter nach Beh.
Kontaktbecken (O3 oder PAK)								
Q relevant	l/s	2800	2800	2800	2996	2996	2800	2800
Aufenthaltszeit	Min	15	20	20	15	25 (10+15)	0	10
Volumen	m3	2520	3360	3360	2696.4	4494		1680
Nutztiefe	m	4.5	4.5	6	4.5	6		6
Fläche	m2	560	747	560	599.2	749	0	280
Nachbehandlung I/Trennstufe I								
Typ		1-Schicht-F	Sed.	Sed (LK)	2-Schicht-F	2-Schicht-F	1-Schicht-F	1-Schicht-F
Q relevant	l/s	2996	2996	2996	2996	2996	2996	2996
Oberflächenbelastung	m/h	15	1.8	10	12	12	6	10
Fläche	m2	719.04	5992	1078.56	898.8	898.8	1797.6	1078.56
Einheitsfläche	m2	81	500	200	81	81	81	81
Anazhl Einheiten	-	8.9	11.984	5.3928	11.1	11.1	22.2	13.3
Reserveeinheiten	-	1	0	0	2	2	2	2
Total Einheiten	-	9.9	12.0	5.4	13.1	13.1	24.2	15.3
Total Einheiten angenommen		10.0	12	6	14	14	24	16
Nutztiefe	m	1.25	4	6	1.8	1.8	2.5	2.5
Kontaktzeit	Min	5.07	133.51	40.05	9.73	9.73	24.78	15.77
Fläche inkl. Reserve	m2	810	6000	1200	1134	1134	1944	1296
Nachbehandlung II/Trennstufe II								
Typ		1-Schicht-F	1-Schicht-F					
		2996	2996					
Oberflächenbelastung	m/h	15	15					
Fläche	m2	719.04	719.04					
Einheitsfläche	m2	81	81					
Anazhl Einheiten	c	8.9	8.9					
Reserveeinheiten	-	1	1					
Total Einheiten	-	9.9	9.9					
Total Einheiten angenommen		10	10					
Nutztiefe	m	1.25	1.25					
Kontaktzeit	Min	5.1	5.1					
Fläche inkl. Reserve	m2	810	810					
Aufbereitung Rückläufe								
Typ		Flock+Sed			Flock+Sed	Flock+Sed	Flock+Sed	Flock+Sed
Qmax	l/s	196			196	196	196	196
Oberflächenbelastung	m/h	6			6	6	6	6
Fläche	m2	117.6			117.6	117.6	117.6	117.6
Einheitsfläche	m2	64			64	64	64	64
Anazhl Einheiten		1.84			1.84	1.84	1.84	1.84
Reserveeinheiten		0			0	0	0	0
Total Einheiten		1.84			1.84	1.84	1.84	1.84
Total Einheiten angenommen		2			2	2	2	2
Nutztiefe	m	7			7	7	7	7
Fläche inkl. Reserve	m2	128			128	128	128	128
Totale Nutzfläche	m2	1498	7557	2570	1861	2011	2072	1704



Verfahren		Ozon	Ulm	Ulm-LK (mit PW)	PAK	Ozon-PAK (mit PW)	GAK (mit PW)	Ozon-GAK (mit PW)
Bauwerke (Masse der Kontaktbecken nicht korrigiert nach Anpassung Q)								
Pumpwerk								
Länge	m			12.0		12.0	12.0	12.0
Breite	m			8.0		8.0	8.0	8.0
Fläche	m2			96		96	96	96
Höhe	m			5.0		5.0	5.0	5.0
Bauvolumen	m3			480		480	480	480
Kontaktbecken								
			inkl. Sed.	inkl. LK				
Breite total	m	12.0	120.0	90.0	24.0	24.0		24.0
Breite nutzbar	m	10.8	38.0	43.4	22.8	22.8		22.0
Länge theo.	m	51.9	59.1	21.5	26.3	32.9		12.7
Länge total	m	66	62	24	33.2	40.0		16.0
Fläche	m2	712.8	7440	2160	796.8	960		384
Höhe	m	7.0	5.0	7.0	6.0	7.5		7.5
Bauvolumen	m3	4989.6	37200	15120	4780.8	7200		2880
Filtration								
Breite	m	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	40.0	40.0
Anzahl Zellen/Seite		5	5	5	7	7	12	8
Länge Filterteil	m	32.5	32.5	32.5	45.5	45.5	78.0	52.0
Länge Betriebsteil	m	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Totale Länge	m	42.5	42.5	42.5	55.5	55.5	88.0	62.0
Fläche	m2	1785	1785	1785	2331	2331	3520	2480
Höhe	m	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0
Bauvolumen	m3	12495	12495	12495	16317	16317	28160	19840
Aufbereitung Rückläufe								
Faktor		1.88			1.88	1.88	1.88	1.88
Fläche	m2	240.8			240.8	240.8	240.8	240.8
Höhe	m	9.0			9.0	9.0	9.0	9.0
Bauvolumen	m3	2167			2167	2167	2167	2167
Ausrüstung Betriebsmittel								
		Ozonung	PAK+FHM	PAK+FHM	PAK AK+Ozonung		Ozonung	
Länge	m	18.0	15.0	15.0	10.0	10 / 18		18.0
Breite	m	12.0	5.0	5.0	5.0	5 / 12		12.0
Fläche	m2	216	75	75	50	266		216
Höhe	m	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0		5.0
Bauvolumen	m3	1080	375	375	250	1330		1080
Lagertanks	m2	50				50		50
Total								
Fläche	m2	3005	9300	4116	3419	3944	3857	3467
Bauvolumen	m3	20832	50170	28570	23615	27594	30907	26547
Investitionskosten								
Bau (ohne RL)	Mio CHF	11.2			12.9	15.3	17.2	14.6
600	Fr/m3							
EMT (ohne RL)	Mio CHF	6.6			6.7	9.8	9.3	8.9
Pumpwerk	Mio CHF	0.0			0.0	0.6	0.6	0.6
Ozonung	Mio CHF	3.0			0.0	2.5	0.0	2.5
PAK-Stufe	Mio CHF	0.0			1.0	1.0	0.0	0.0
Filtration	Mio CHF	3.6			5.7	5.7	8.7	5.8
RL	Mio CHF	1.1			1.1	1.1	1.1	1.1
HLKS	Mio CHF	3.0			3.2	3.9	4.1	3.7
EMSRL	Mio CHF	3.0			3.2	3.9	4.1	3.7
Zwischentotal (ohne RL)	Mio CHF	23.8			25.9	32.9	34.8	30.9
Honorar Generalplaner	%vonTotal1	15%			15%	15%	15%	15%
Honorare Spezialisten	%vonTotal1	3%			3%	3%	3%	3%
Baunebenkosten	%vonTotal1	5%			5%	5%	5%	5%
Unvorhergesehenes	%vonTotal1	10%			10%	10%	10%	10%
Total	%vonTotal1	33%			33%	33%	33%	33%
		7.9			8.6	10.9	11.5	10.2
Total Investition (ohne RL)	Mio CHF	32			35	44	46	41



Verfahren		Ozon	Ulm	Ulm-LK (mit PW)	PAK	Ozon-PAK (mit PW)	GAK (mit PW)	Ozon-GAK (mit PW)
Betriebskosten und Jahreskosten								
Q behandelt	m3/d	110000	110000	110000	110000	110000	110000	110000
Betriebsmittel								
Strom								
Pumpwerk	Wh/m3	0			0	15	15	15
Ozonung	gO3/m3	4			0	2	0	2
	Wh/gO3	10			10	10	10	10
	Wh/m3	40			0	20	0	20
PAK-Stufe	Wh/m3	0			5	5	0	0
Filtration	Wh/m3	5			5	5	5	5
RL-Behandlung	Wh/m3	5			5	5	5	5
Total Strom	Wh/m3	50			10	45	25	45
	kWh/d	5500			1100	4950	2750	4950
	CHF/kWh	0.12			0.12	0.12	0.12	0.12
	CHF/a	240'900			48'180	216'810	120'450	216'810
LOX	kg/d	3'667				1'833		1'833
	CHF/kg	0.25				0.25		0.25
	CHF/a	334'583				167'292		167'292
PAK	kg/d				1'100	550		
	CHF/kg				2.5	2.5		
	CHF/a				1'003'750	501'875		
Fällmittel für PAK	kg Fe/d				110	55		
	CHF/kg				2.0	2.0		
	CHF/d				80'300	40'150		
GAK	m3/a						1'606	803
	CHF/m3						1'000	1'000
	CHF/a						1'606'000	803'000
Total Betriebsmittel	CHF/a	334'583			1'084'050	709'317	1'606'000	970'292
Wartung und Unterhalt								
Bau	0.5%	56'000			64'500	76'500	86'000	73'000
EMT und HLKS	1.0%	96'200			98'573	136'839	134'826	126'304
EMSRL	2.0%	59'501			63'746	78'278	82'692	73'969
Total		211'701			226'819	291'616	303'518	273'273
Total Betriebskosten exkl Schlammmentsorgung	CHF/d	787'000			1'359'000	1'218'000	2'030'000	1'460'000
Kosten Schlammmentsorgung								
	kg TSausgefaut/d	272			1'922	1'097	272	272
	CHF/to TS	391			391	391	391	391
Total	CHF/a	38'884			274'547	156'716	38'884	38'884
Total Betriebskosten mit Schlammmentsorgung	CHF/a	826'000			1'634'000	1'375'000	2'069'000	1'499'000
Amortisation Investition ohne Berücksichtigung der Subvention								
Zins	3%							
Abschreibungsdauer	a							
Bau	40	484'539			558'085	661'914	744'113	631'631
EMT, HLKS, EMSRL	20	846'587			876'801	1'182'846	1'184'153	1'097'556
Honorare+div.	30	400'622			436'812	553'878	586'195	520'729
Total	CHF/a	1'732'000			1'872'000	2'399'000	2'514'000	2'250'000
Amortisation Investition mit Berücksichtigung Subvention 75%								
Total	CHF/a	433000			468000	599750	628500	562500
Total Jahreskosten (mit Schlammmentsorgung)								
exkl. Subvention	CHF/a	2'558'000			3'506'000	3'774'000	4'583'000	3'749'000
inkl. Subvention	CHF/a	1'259'000			2'102'000	1'974'750	2'697'500	2'061'500
Angeschlossene Einwohner								
exkl. Subvention	CHF/ EW a	14.2			19.5	21.0	25.5	20.8
inkl. Subvention	CHF/EW a	7.0			11.7	11.0	15.0	11.5



Verfahren		Ozon	Ulm	Ulm-LK (mit PW)	PAK	Ozon-PAK (mit PW)	GAK (mit PW)	Ozon-GAK (mit PW)
Kosten RL-Behandlung (separate/nachträgliche Realisierung)								
Bau	Mio CHF	1.3			1.3	1.3	1.3	1.3
600	Fr/m3							
EMT	Mio CHF	1.1			1.1	1.1	1.1	1.1
RL	Mio CHF	1.1			1.1	1.1	1.1	1.1
HLKS	Mio CHF	0.6			0.6	0.6	0.6	0.6
EMSRL	Mio CHF	0.6			0.6	0.6	0.6	0.6
Zwischentotal (ohne RL)	Mio CHF	3.6			3.6	3.6	3.6	3.6
Honorar Generalplaner	%vonTotal1	15%			15%	15%	15%	15%
Honorare Spezialisten	%vonTotal1	3%			3%	3%	3%	3%
Baunebenkosten	%vonTotal1	5%			5%	5%	5%	5%
Unvorhergesehenes	%vonTotal1	10%			10%	10%	10%	10%
Total	%vonTotal1	33%			33%	33%	33%	33%
		1.2			1.2	1.2	1.2	1.2
Total Investition (ohne RL)	Mio CHF	4.8			4.8	4.8	4.8	4.8