



REAL Abwasser

## Platzbedarf & Kosten MV-Elimination

### **Technischer Bericht**

Objekt Nr. 1263.18  
Winterthur, 17. Dezember 2012

**HUNZIKER** **BETATECH**

EINFACH.  
MEHR.  
IDEEN.

**Impressum:**

Projektname: ARA Luzern  
Teilprojekt: Platzbedarf MV-Elimination  
Erstelldatum: 16. August 2012  
Letzte Änderung: 17. Dezember 2012  
Autor: Hunziker Betatech AG  
Pflanzschulstrasse 17  
Postfach 83  
8411 Winterthur  
Tel. 052 234 50 50  
E-Mail: [info@hunziker-betatech.ch](mailto:info@hunziker-betatech.ch)  
Bettina Sterkele  
Koref. Erich Hungerbühler / Ruedi Moser

Datei: Q:\Projekte\1200-1263\1263.18\290 Berichte (490)\121217-b.docx



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1	Heutige ARA	3
2.2	Reinigungsziel	4
<b>3</b>	<b>Verfahren zur Spurenstoffelimination</b>	<b>4</b>
3.1	Anforderungen	5
3.2	Ozonung	5
3.3	Aktivkohleadsorption	6
<b>4</b>	<b>Grobdimensionierung</b>	<b>8</b>
4.1	Dimensionierungsgrundlagen	8
4.2	Ozon	8
4.3	Pulveraktivkohle (PAK)	9
4.4	Filter	11
4.5	Fazit	12
<b>5</b>	<b>Kostenschätzung</b>	<b>12</b>
5.1	Investitionskosten	13
5.2	Betriebskosten	13
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>13</b>
	<b>Anhang</b>	<b>15</b>



## 1 Ausgangslage

Die Elimination von Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser auf Kläranlagen wird zukünftig auf ca. 100 Anlagen in der Schweiz gefordert werden. Dies nach dem Inkrafttreten der neuen Gewässerschutzverordnung, voraussichtlich im Jahr 2015. Auf Anlagen mit einer Ausbaugrösse von 80'000 Einwohner, werden zwingend Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen verlangt. Für die Realisierung der geforderten Massnahmen wird zurzeit eine Periode von 20 Jahren angegeben.

Im vorliegenden Bericht soll aufgrund der vorhandenen Grundlagen der Platzbedarf für eine 4. Reinigungsstufe (MV-Elimination) für REAL Abwasser abgeschätzt werden. Basierend auf publizierten Daten, werden auch Investitions- und Betriebskosten mit einer Genauigkeit von +/- 25 % ermittelt.

## 2 Grundlagen

- BAFU, 2012: Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser, Verfahren zur weitergehenden Elimination auf Kläranlagen.
- Dokumentation „Mikroverunreinigungen und neue Aspekte zu Energie und Stickstoff“, VSA-Fortbildungskurs, 2011
- AWEL, 2012: Studie zur Strategie Verminderung Mikroverunreinigungen aus Zürcher ARA, Schlussbericht, Vorabzug.
- DWA, 2010: Aktivkohle in der Abwasserreinigung, Tagungsband (p. 117).
- Hunziker Betatech AG, (2012): Weitergehende Behandlung des gereinigten Abwassers aus der ARA Morgental und der ARA Hofen, Schlussbericht.
- Kostenstudie: Massnahmen in ARA zur Elimination von Mikroverunreinigungen, BAFU, Hunziker Betatech AG, 2008
- Kosten der Elimination von Mikroverunreinigungen im Abwasser, BAFU, BG, 2012

### 2.1 Heutige ARA

#### 2.1.1 Belastung

REAL Abwasser wurde für eine Belastung von 250'000 Einwohnerwerten und einen maximalen Abwasseranfall von 2'400 l/s ausgelegt:

Aktuelle Ausbaugrösse:

Ausbaugrösse EW	250'000	EW
$Q_{TW}$	1'400	l/s
$Q_{SW}$	1'000	l/s
$Q_{FW}$	400	l/s
$f_{h,max}$	1.5	
$Q_{ARA} = Q_{RW,max}(2Q_S + Q_f)$	2'400	l/s

### 2.1.2 Biologische Stufe

REAL Abwasser verfügt heute über eine biologische Reinigungsstufe mit Nitrifikation und Denitrifikation sowie chemischer Phosphorelimination mittels Simultanfällung. Die Kläranlage wird im A/I-Verfahren betrieben. Die Biologische Reinigungsstufe besteht aus 6 Strassen in 3 Biologieblöcken, die in jeweils eine Haupt- und eine Nachbelüftungszone unterteilt sind. Die Belebungsbecken werden mit einem Sauerstoffgehalt von 2.0 mg/l betrieben.

Kenndaten Biologie

Anz. Strassen	6
$V_{BB}$	$6 \times 4'700 = 28'200 \text{ m}^3$
$V_{Nachbel}$	$6 \times 800 = 4'800 \text{ m}^3$
Beckentiefe BB	6 m
$V_{NKB}$	$6 \times 6'400 = 38'400 \text{ m}^3$
$TS_{BB}$	3.0 g <sub>TS</sub> /l
SA	$\geq 10 \text{ d}$

### 2.2 Reinigungsziel

Die Kläranlage wird im A/I-Verfahren betrieben, ist voll nitrifizierend und verfügt über eine stabile, weitgehende Denitrifikation. Die Stickstofffracht soll zu 55% eliminiert werden. Dieser Wert wird in der Regel deutlich übertroffen. Die Einleitbedingungen für Phosphor und Ammonium entsprechen den Vorgaben der Gewässerschutzverordnung und sind nicht verschärft.

Einleitbedingungen REAL Abwasser:

	Abflusskonz. (mg/l)	Wirkungsgrad bezogen auf Rohabwasser	Bemerkungen
GUS	15	-	Wirkungsgrad bezogen auf TOC im abgesetzten Rohabwasser
BSB <sub>5</sub>	15	90%	
DOC	10	85%	
P <sub>tot</sub>	0.8	80%	Wirkungsgrad bezogen auf TKN im abgesetzten Rohabwasser
NH <sub>4</sub> -N	2	90%	
N <sub>tot</sub>	15	55%	

## 3 Verfahren zur Spurenstoffelimination

Zurzeit sind zwei Verfahren zur Elimination von Spurenstoffen weitgehend untersucht und dokumentiert: die Ozonierung und die Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK). Bei beiden Verfahren ist nach aktuellem Wissensstand eine nachgeschaltete Filtration notwendig. Für 2014 sind Versuche geplant, den Ablauf der Ozonierungsstufe mit einem Wirbelbett oder mit einem Aktivkohlefilter zu behandeln. Aktuell wird auch eine Filtration des gereinigten Abwassers über einen Filter mit granulierter Aktivkohle (GAK) in einem Pilotversuch bei der eawag pilotiert.

Im vorliegenden Bericht soll der maximale Platzbedarf nur für die beiden gut evaluierten Verfahrensvarianten mit nachgeschalteter Filtration abgeschätzt werden. Die Überlegungen basieren auf den aktuellen Forschungsergebnissen.

In der Schweiz wird zurzeit eine Anlage für Ozon (ARA Dübendorf) und eine PAK Anlage auf der ARA Herisau realisiert.



### 3.1 Anforderungen

Die Anforderungen einer Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen werden dem Entwurf zur neuen GSchV entnommen. Anlagen mit einer Anschlussgrösse über 100'000 EW müssen demnach zwingend Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen.

Für Anlagen, die nach der neuen GSchV Massnahmen zur Elimination von Mikroverunreinigungen treffen müssen, wird eine Elimination von 80% gegenüber dem Rohabwasser gefordert. Die Elimination wird anhand von 5 Indikatorsubstanzen beurteilt, die im Abwasser flächendeckend nachgewiesen wurden und bezüglich Stoffeigenschaften ein repräsentatives Spektrum abdecken. Diese Stoffe sind:

- Benzotriazol
- Diclofenac
- Carbamazepin
- Sulfamethoxazol
- Mecoprop

### 3.2 Ozonung

In der Ozonung werden organische Verbindungen oxidiert. Spurenstoffe werden damit zu weniger umweltrelevanten Verbindungen aufgespalten. Eine Abnahme der Toxizität des behandelten Wassers wurde in ökotoxikologischen Versuchen nachgewiesen.

Die Reaktion ist unabhängig von der Konzentration der Spurenstoffe, die Ozonzehrung wird durch die Hintergrund-DOC-Konzentration des Abwassers bestimmt. Voraussetzung für den effizienten Betrieb einer Ozonungsstufe ist die vollständige Nitrifikation des Abwassers, da sowohl Ammonium als auch Nitrit Ozon zehren. Nebeneffekt: Dementsprechend wird durch eine Ozonung Nitrit im Ablauf aufoxidiert und umgewandelt in Nitrat.

Im Anschluss an eine Ozonungsstufe wird eine biologisch aktive Stufe empfohlen, um entstandene, biologisch abbaubare Verbindungen zu eliminieren. Nach aktuellem Kenntnisstand ist zu diesem Zweck ein Raumfilter geeignet, diskutiert wird aber auch ein Wirbelbettverfahren oder eine nachgeschaltete Aktivkohlefiltration. In diesem Bericht wird mit einer Filtration gerechnet, da die Dimensionierungsgrundlagen für ein Wirbelbett und eine Aktivkohlefiltration noch nicht vorliegen. Hier sind die Resultate der für 2014 auf der ARA Dübendorf geplanten Versuche abzuwarten.

Die Anlage muss in einem geschlossenen Gebäude untergebracht werden, welches mit einer Abluftbehandlung mit Restozonvernichter ausgestattet ist. Der Ozonreaktor ist mit einem System zur Detektion und Zerstörung von Schaum auszustatten. Die benötigten Komponenten und Reaktoren sind im Folgenden aufgelistet:

- Trärgasproduktion (z.B. Produktion von Reinsauerstoff oder Lufttrocknung)
- Ozonerzeugung
  - Lufttrocknung
  - Ozongenerator
- Ozonreaktor (Kontaktzeit)
- Abgasbehandlung
- Sandfilter

Anwendung			Vorteil	Nachteil
Aktuelles Wissen			günstiges Verfahren	Sicherheitsanforderung
Im gereinigten Abwasser		Nachgeschaltet	sehr kompakt	Metaboliten?
Option				
Wirbelbett oder AK Filter statt teurer Raumfilter			günstiger(?)	fehlende Erfahrung

Vor- und Nachteile Ozonung

### 3.3 Aktivkohleadsorption

Grundsätzlich sind verschiedene Anwendungen von Aktivkohle zur Elimination von Mikroverunreinigungen denkbar. In den bisherigen Versuchen in der Schweiz wurden nur Verfahren mit Pulveraktivkohle untersucht. Verfahren mit granulierter Aktivkohle (GAK) wurden bisher nicht erforscht, da befürchtet wird, dass die Vorbeladung durch die im Vergleich zu den zu eliminierenden Mikroverunreinigungen in weitaus höherer Konzentration im Abwasser vorhandenen Hintergrund-DOC zu sehr kurzen Standzeiten führen wird. Zurzeit finden an der Eawag Versuche mit GAK statt. Erste Ergebnisse weisen, darauf hin, dass die erreichten Standzeiten für einen wirtschaftlichen Betrieb des Verfahrens nicht ausreichen. In diesem Bericht wird deshalb nur die Dosierung von Pulveraktivkohle (PAK) erörtert. Eine interne Rezirkulation der PAK in die biologische Stufe, hat sich als vorteilhaft erwiesen.

Durch diese Rezirkulation wird die abgezogenen PAK in die Belebungsstufe zurückgeführt. In zweistufigen Adsorptionsverfahren lassen sich höhere Beladungen erreichen, so dass sich der PAK-Verbrauch reduziert. Es ist allerdings möglich, dass biologisch abbaubare Verbindungen die Adsorption von Mikroverunreinigungen stark konkurrieren. Die PAK wird mit dem Überschussschlamm abgezogen und gelangt in die Faulung. Das Verhalten der adsorbierten Spurenstoffe in der Faulung ist noch nicht ausreichend bekannt. Erste Erfahrungen zeigen, dass keine Resorption erfolgt.

Es wird davon ausgegangen, dass die PAK-Rezirkulation keine Auswirkungen auf die biologische Stufe hat. Erwartung: Die verbesserte Absetzbarkeit des Belebtschlamm-/ PAK-Gemisches erlaubt eine höhere TS-Konzentration in der Biologie, so dass trotz erhöhter Schlammproduktion das Schlammalter nicht reduziert werden muss. Zur Absetzung der PAK in der PAK-Stufe ist die Zugabe von Fäll- und Flockungshilfsmittel notwendig. Mindestens ein Teil dieses Fällmittels kann bei der Simultanfällung eingespart werden. Weiter ist eine Filtration nachzuschalten, um die Pulverkohle vollständig aus dem Abwasser abzutrennen. Die PAK-Stufe besteht damit aus dem folgenden Komponenten und Reaktoren:

- PAK-Silo mit Abladestation
- Dosierstation
- Fällmittelstation (Lagerkapazität auf vielen ARAs schon vorhanden)
- Kontaktreaktor
- PAK-Absetzbecken
- Sandfilter

In Versuchen an der eawag wurde bei der Spurenstoffelimination kein Unterschied festgestellt bezüglich der Reihenfolge der Zugabe der Pulverkohle, des Fällmittels und des Flockungshilfsmittels. Im Hinblick auf die Pulverkohleabtrennung erwies sich in Versuchen auf der ARA Ulm folgende Reihenfolge der Zugabe als vorteilhaft: Die PAK wird zuerst zugegeben, anschliessend das Fällmittel und zuletzt das Flockungshilfsmittel.

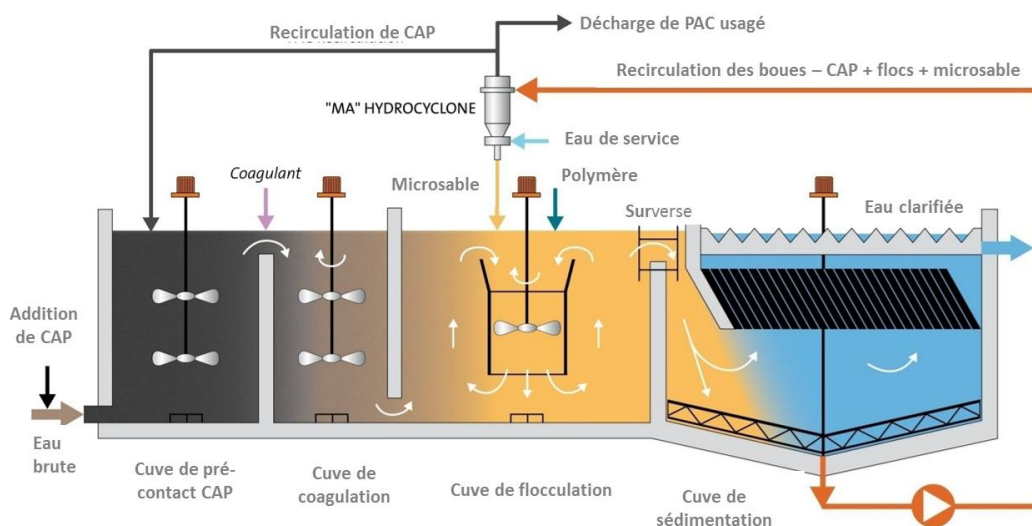
Die Pulveraktivkohle wird mit dem Überschussschlamm über die Faulung entsorgt. Durch die PAK-Zugabe wird die Schlammproduktion erhöht. Zwischen verschiedenen PAK-Produkten bestehen teilweise erhebliche Unterschiede betreffend der Adsorptionskapazität und damit bezüglich der benötigten Menge.



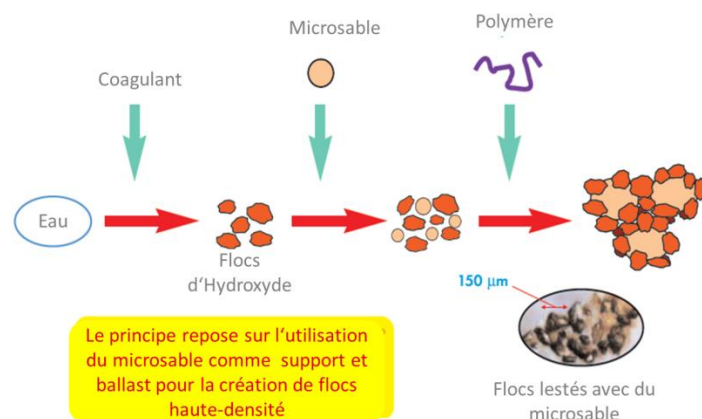
Alternativ kann zur Abtrennung der PAK ein Lamellenklärer anstelle eines Absetzbeckens verwendet werden. Dies wurde für die Kläranlage des Abwasserverbandes Stockacher Aach bereits umgesetzt. Damit kann das benötigte Absetzbecken kleiner dimensioniert werden.

Für Anlagen mit knappen Platzverhältnissen ist möglicherweise das ActifloCarb-Verfahren eine Option. Das ActifloCarb-Verfahren ist ein patentiertes Verfahren der Firma Veolia, das bisher vor allem in der Trinkwasseraufbereitung als nachgeschaltete Stufe zur Entfernung von Mikroverunreinigungen eingesetzt wurde.

Das Verfahren wurde 2011 auf der ARA Schöna in Cham pilotiert. Das ActifloCarb-Verfahren ist eine aus 4 Reaktoren bestehende Einheit, die ein kompaktes PAK-Verfahren bildet. Die PAK wird in den Zulauf dosiert. Im ersten Reaktor, der PAK-Kontaktzone, wird die PAK zusammen mit der recirkulierten PAK aus dem Lamellenabscheider mit dem Abwasser in Kontakt gebracht. Kräftiges Rühren in der Kontaktzone bewirkt einen besseren Kontakt zwischen PAK und Abwasser. Anschließend wird Fällmittel zugegeben. In der nachfolgenden Koagulationszone sorgt langsames Mischen für eine rasche Flockenbildung. In der Flockungszone werden Polymer und Mikrosand dosiert, um die Absetzeigenschaften der Flocken zu verbessern. Im Lamellenabscheider wird der PAK-Schlamm vom Abwasser getrennt. Der Schlamm gelangt aus der Sedimentationszone des Lamellenabscheiders zum Hydrozyklon. Hier wird der Mikrosand vom PAK-Schlamm getrennt und in die Flockungszone zurückgeführt, während der PAK-Schlamm ins Kontaktbecken recirkuliert wird (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).



**Abbildung 1:** Verfahrensschema ActifloCarb.



**Abbildung 2:** Flockenbildung und PAK-Abtrennung im ActifloCarb.

Anwendung		Vorteil	Nachteil
Generell		definierte Elimination	teuer in Bau und Betrieb
			erhöhte Schlammprod.
Im gereinigten Abwasser	Nachgeschaltet	nur für 1.5 Q TWA	grosser Platzbedarf
Direkt in Biologie	Simultan	keine neuen Becken?	Hohe Dosierung, 2 QTWA
Direkt auf Filter	Nachgeschaltet	keine neuen Becken	Gefahr Durchbruch
Actiflo	Nachgeschaltet	kompaktes Verfahren	hohe Investitionskosten

Vor- und Nachteile Verfahren Pulveraktivkohle

## 4 Grobdimensionierung

Planskizzen zu den hier vordimensionierten Verfahrensvarianten befinden sich im Anhang.

### 4.1 Dimensionierungsgrundlagen

Die Frage nach der massgebenden Wassermenge für die Auslegung einer MV-Stufe ist noch offen.

Im Bericht vom AWEL wird empfohlen, die hydraulischen Komponenten auf den doppelten Trockenwetteranfall, also  $Q_{max}$  zu dimensionieren, während die frachtabhängigen Komponenten mit  $Q_{TW, Spitze} = f_{max} * Q_{TW, 85\%}$  ausgelegt werden sollen.

Im Bericht des bafu wird die Dimensionierung auf die Hälfte des maximalen Durchflusses vorgeschlagen. Dies entspricht dem maximalen Trockenwetteranfall. Gemäss Bericht des bafu werden damit rund 80% des Abwassers und 90% der DOC-Fracht behandelt. Bei Regenwetter führen die Gewässer mehr Wasser. Dies führt zu einer stärkeren Verdünnung. Ausserdem werden bei Regenwetter Stoffe aus anderen Eintragspfaden (z.B. Landwirtschaft) in die Gewässer eingetragen.

Auch eine Auslegung auf 1.5 Q TWA wird aktuell diskutiert.

Im Folgenden wird der Platzbedarf für die Variante 1:  $Q_{max}$  und die Variante 2:  $Q_{TWA}$  abgeschätzt. Variante 1 entspricht somit einer Maximalvariante. In Variante 2 wird die MV-Stufe auf den einfachen Trockenwetteranfall ausgelegt und entspricht damit einer Minimalvariante. Die Variante mit 1.5 Q TWA liegt in der Mitte der beiden dargestellten Varianten 1 & 2.

### 4.2 Ozon

Für den Ozonreaktor werden im Bericht des bafu (siehe Kapitel 1) eine Verweilzeit von zirka 20 min bei Trockenwetter und eine minimale Tiefe von 4 m empfohlen.

Grundlage (Bericht bafu)

$\theta_{h, TW}$	20 min	
$\theta_{h, RW}$	10 min	(5-10 min)
$h_{min}$	4 m	

Das benötigte Reaktorvolumen einer Ozonierungsstufe kann damit zu 1680 m<sup>3</sup> abgeschätzt werden. Die Beckentiefe wird für eine erste Abschätzung analog der Tiefe der Belebungsbecken zu 5 m gewählt. Damit wird für den Ozonreaktor eine Beckenoberfläche von 336 m<sup>2</sup> berechnet. Auf dieser Grundlage wird der Platzbedarf für eine Ozonierungsstufe grob zu ca. 600 m<sup>2</sup> geschätzt (Faktor 1.8 Reaktor zu Gebäude).

Dazu kommt der Platzbedarf einer nachgeschalteten Filtration (siehe Kapitel 4.4).

Es ist denkbar, dass anstelle einer Filtration eine andere bioaktive der Ozonung nachgeschaltet wird. Versuche finden dazu statt. Unter den Investitionskosten im Kapitel 5.1 sind Angaben für beide Verfahren (Filter und bioaktive Stufe) aufgeführt.

Flächenbedarf Ozonierung:

	Variante 1/2
	$Q_{ARA}$
Anz. Strasse	6
$V_{O_3}$	1'680 m <sup>3</sup>
je Strasse	280 m <sup>3</sup>
Tiefe (gewählt)	5.0 m
$A_{O_3}$	336 m <sup>2</sup>
je Strasse	56 m <sup>2</sup>
Faktor für Raumbedarf	1.6
Platzbedarf	540 m <sup>2</sup>

### 4.3 Pulveraktivkohle (PAK)

Die Pulveraktivkohle sollte vorgängig in Adsorptionsversuchen mit dem zu behandelnden Abwasser getestet werden. Der PAK-Bedarf wird vor allem durch die Eigenschaften des PAK-Produktes wie auch der Hintergrund-DOC-Konzentration des Abwassers bestimmt.

In den ausgewerteten Versuchen wurde jeweils 10 - 20 mg<sub>PAK</sub> /l<sub>Abwasser</sub> dosiert (siehe Bericht bafu). Über die verwendete PAK werden keine Angaben gemacht. Es wird lediglich darauf hingewiesen, dass die benötigte Menge abhängig von der Adsorptionskapazität stark schwankt zwischen verschiedenen Pulveraktivkohleprodukten.

Für die Dimensionierung des Kontaktreaktors wird eine hydraulische Aufenthaltszeit  $\theta_h$  von 20 min bei Regenwetter empfohlen. Die Pulveraktivkohle soll durch Rezirkulation während 1-2 d im Reaktor gehalten werden. Für die Auslegung einer PAK-Stufe im Ablauf der Nachklärung werden in einer Publikation des Zweckverbandes Abwasserreinigung Kressbronn a. B. – Langenargen 10 mg<sub>PAK</sub> /l<sub>Abwasser</sub> empfohlen.

Der Kontaktreaktor ist volldurchmischt und sollte gerührt werden. Das benötigte Volumen beträgt 1'700 - 2'900 m<sup>3</sup>. Es gibt jedoch keine Anforderung bezüglich der Form des Reaktors. Für eine erste Abschätzung wird deshalb eine Beckentiefe von 5 m angenommen. Damit resultiert eine Reaktoroberfläche von 340 - 580 m<sup>2</sup>.

Die PAK wird mit Hilfe von Fäll- und Flockungshilfsmitteln in einem Absetzbecken aus dem Abwasser abgetrennt. Dieses wird analog einem Nachklärbecken nach ATV A-131 mit einer Oberflächenbeschickung von 1.6 m/h ausgelegt. Alternativ kann die PAK auch mit einem Lamellenklärer abgetrennt werden. Dieses Verfahren wird auf der ARA Stockacher Aach bei Stuttgart bereits eingesetzt. Der Lamellenklärer wird mit einer Oberflächenbelastung von 4.4 m/h ausgelegt (Quelle DWA Tagungsband).

## Kontaktreaktor:

	Variante 1:	Variante 2:
$Q_{Dim}$	$Q_{max}$	$Q_{TW}$
$\theta_h$	20 min	20 min
Volumen	2'900 m <sup>3</sup>	1'700 m <sup>3</sup>
Oberfläche	580 m <sup>2</sup>	340 m <sup>2</sup>
Tiefe	5.0 m	5.0 m

## Absetzbecken

	Variante 1:	Variante 2:
$Q_{Dim}$	$Q_{max}$	$Q_{TW}$
$\theta_{PAK}$	1.5 d	1.5 d
Oberflächenbelastung:	1.6 m/h	1.6 m/h
Oberfläche	5'400 m <sup>2</sup>	3'150 m <sup>2</sup>
Tiefe (Annahme)	5 m	5 m
$X_{PAK, KB}$	1.1 g <sub>TS</sub> /l	1.1 g <sub>TS</sub> /l

## Lamellenklärer

	Variante 1:	Variante 2:
$Q_{Dim}$	$Q_{max}$	$Q_{TW}$
$\theta_{PAK}$	1.5 d	1.5 d
Oberflächenbelastung:	4.4 m/h	4.4 m/h
Oberfläche	2'000 m <sup>2</sup>	1'150 m <sup>2</sup>
Tiefe (Annahme)	5.0 m	5.0 m
$X_{PAK, KB}$	1.1 g/l	1.1 g/l

Zusätzlich muss Platz für die Dosierstation der PAK und der Fäll- und Flockungsmittel vorgesehen werden. Der Raumbedarf wird mit dem Faktor 1.4 im Vergleich zur Reaktoroberfläche geschätzt. Dieser Faktor ist ein Mischfaktor für das Kontaktbecken und das Absetzbecken. Damit resultieren ein Flächenverbrauch für den Kontaktreaktor und die Dosiereinrichtungen von rund 4'900 – 8'400 m<sup>2</sup>. Durch den Einsatz eines Lamellenklärers anstelle eines Absetzbeckens kann der Flächenbedarf auf zirka 2'100 – 3'600 m<sup>2</sup> reduziert werden.

## Flächenbedarf PAK-Stufe mit Absetzbecken:

	Variante 1:	Variante 2:
$Q_{Dim}$	$Q_{max}$	$Q_{TW}$
Kontaktreaktor	580 m <sup>2</sup>	340 m <sup>2</sup>
Absetzbecken	5'400 m <sup>2</sup>	3'150 m <sup>2</sup>
Faktor für Platzbedarf	1.4	1.4
Platzbedarf	8'400 m <sup>2</sup>	4'900 m <sup>2</sup>

## Flächenbedarf PAK-Stufe mit Lamellenklärer:

	Variante 1:	Variante 2:
$Q_{Dim}$	$Q_{ARA}$	$Q_{TW}$
Kontaktreaktor	580 m <sup>2</sup>	340 m <sup>2</sup>
Lamellenklärer	2'000 m <sup>2</sup>	1'150 m <sup>2</sup>
Faktor für Raumbedarf	1.4	1.4
Raumbedarf	3'600 m <sup>2</sup>	2'100 m <sup>2</sup>

Als Vergleich: Der Platzbedarf der Variante ActifloCarb dürfte für REAL Luzern für die Variante 1 mit einem Zufluss von 2'400 l/s insgesamt ca. 1400 m<sup>2</sup> betragen. Ein kompaktes PAK Verfahren, das aber doch noch mehr Platz braucht, als eine Ozonung.

#### 4.4 Filter

Sowohl die Ozonierung als auch eine PAK-Stufe benötigen voraussichtlich eine nachgeschaltete Filtration. Das am häufigsten eingesetzte Verfahren ist die Raumfiltration mit ein oder zwei Filterschichten. Für eine erste Abschätzung werden die folgenden Kennzahlen verwendet:

Filtergeschwindigkeit: 16 m/h bei  $Q_{max}$

Spülwasserbedarf: ca. 5% des Abwasseranfalls

Filterlaufzeit: 24 h

Die benötigte Filterfläche resultiert damit zu 330 – 570 m<sup>2</sup>. Diese Fläche könnte beispielsweise in insgesamt 18 Filterzellen angeordnet werden (siehe untenstehende Tabelle).

Der Flächenbedarf für das Filtergebäude entspricht erfahrungsgemäss ungefähr 1.8 mal dieser Fläche und wird damit zu rund 600 – 1'000 m<sup>2</sup> geschätzt. Der Grundriss des Filtergebäudes ist zumeist näherungsweise quadratisch.

Der Filter muss so ausgelegt werden, dass die Höhe von ca. 3m über Terrain im Ablauf der Nachklärung für einen Durchfluss der Filtration ohne Hebewerk genutzt werden kann.

Filtration		
	Variante 1:	Variante 2:
	$Q_{max}$	$Q_{TW}$
$Q_{Dim}$	8'640 m <sup>3</sup> /h	5'040 m <sup>3</sup> /h
	2'400 l/s	1'400 l/s
$Q_{Dim}$ (inkl. 5% Rückspülwassers)	9'072 m <sup>3</sup> /h	5'292 m <sup>3</sup> /h
Filterfläche	567 m <sup>2</sup>	331 m <sup>2</sup>
Anzahl Filterzellen	18	18
Fläche pro Filterzelle	32 m <sup>2</sup>	18 m <sup>2</sup>
Zellenbreite	4.0 m	4.0 m
Zellenlänge	8.0 m	4.5 m
Faktor für Raumbedarf	1.8	1.8
Filtergebäude	1'020 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>
L und B Filtergebäude quadr.	32 m	25 m

Für die PAK Dosierung und Lagerung (Silo) wird bei den PAK Varianten mit einem zusätzlichen Platzbedarf von ca. 150 m<sup>2</sup> gerechnet (6 x 25 m).

## 4.5 Fazit

Der Flächenbedarf für eine 4. Reinigungsstufe auf der ARA Luzern ist abhängig von gewählten Verfahren und der zugrunde gelegten Dimensionierungswassermenge. Es ist derzeit noch offen, auf welche Abwassermenge eine Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen auszulegen ist.

Eine Ozonstufe braucht deutlich weniger Platz, als eine PAK Stufe. Der Platzbedarf der PAK Stufe kann durch den Einsatz eines Lamellenklärsers deutlich reduziert werden. Die Auslegung einer MV-Stufe auf den einfachen TW-Anfall wie in Variante 2 könnte sinnvoll sein (siehe Bericht bafu). Durch den Einsatz eines Lamellenklärsers anstelle eines Absetzbeckens kann der Flächenbedarf für eine PAK-Stufe deutlich reduziert werden.

Vergleich der beiden Verfahren und der beiden Varianten.

$Q_{Dim}$		Variante 1:	Variante 2:
Ozon & Filter	Ozonreaktor	2'400 l/s	1'400 l/s
	Filterfläche	540 m <sup>2</sup>	540 m <sup>2</sup>
	Filterfläche	1'000 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>
	Platzbedarf	1'540 m <sup>2</sup>	1'140 m <sup>2</sup>
PAK & Absetz- becken & Filter	PAK-Reaktor	800 m <sup>2</sup>	470 m <sup>2</sup>
	Absetzbecken	7'600 m <sup>2</sup>	4'400 m <sup>2</sup>
	Filterfläche	1'000 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>
	Platzbedarf	9'400 m <sup>2</sup>	5'470 m <sup>2</sup>
PAK & Lamellen- klärer & Filter	PAK-Reaktor	800 m <sup>2</sup>	470 m <sup>2</sup>
	Lamellenklärer	2'750 m <sup>2</sup>	1'600 m <sup>2</sup>
	Filterfläche	1'000 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>
	Platzbedarf	4'550 m <sup>2</sup>	2'670 m <sup>2</sup>

## 5 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung mit einer Genauigkeit von +/- 25% basiert auf den publizierten Daten in den Berichten BAFU / Hunziker-Betatech; 2008 und BAFU / BG; 2012 (siehe Grundlagen). Die Kostenermittlung in diesen Berichten basiert auf der Variante 1 mit Auslegung auf den maximalen Abwasseranfall. Zur Ermittlung der maximalen Kosten ist dies der korrekte Ansatz.

## 5.1 Investitionskosten

Verfahren	Studie 2008	Studie 2012
	[Mio Fr]	[Mio Fr]
Ozon mit Filtration	22	
Ozon ohne Filtration	10.2	
Ozon mit neuer bioaktiver Stufe		14.3
PAK mit Filtration	28	28

Das Verfahren mit Ozon ist das deutlich günstigere der beiden Verfahren. Beim Bericht von Bonnard & Gardel (BG) aus dem Jahr 2012 wird bei der Ozonung mit einer bioaktiven Stufe (Wirbelbett) gerechnet. Die Autoren geben an, dass für die bioaktive Stufe mit 50% des Preises für eine Filtration gerechnet wird. Darum ist der Preis für eine Ozonung in dieser Studie deutlich tiefer als in der Studie von Hunziker-Betatech aus dem Jahr 2008, die mit einer Filtration rechnet.

Für die PAK Stufe mit Filtration rechnen beide Studien mit Investitionskosten von 28 Mio.

## 5.2 Betriebskosten

Die Betriebskosten basieren auf den Angaben im Bericht BG aus dem Jahr 2012.

Ozon mit bioaktiver Stufe	Mio Fr/a:	1.2
	Fr/EW*a:	4.7
PAK mit Filtration	Mio Fr/a:	2.9
	Fr/EW*a:	11.4

Auch bei den Betriebskosten ist das Ozonverfahren deutlich günstiger als die Dosierung von PAK.

## 6 Fazit

Für die Elimination von MV existieren zwei erprobte Verfahrenstechniken. Die Dosierung von Pulveraktivkohle, die platzintensiv und teuer ist. Oder die Ozonung, die günstiger und platzsparender ist. Bei der aber noch geklärt werden muss, ob die bei der Ozonung entstehenden Metaboliten von der nachgeschalteten biologisch aktiven Stufe (Filtration, evtl. Wirbelbett, AK Filter) ausreichend eliminiert werden.

Bei der Dosierung von PAK gibt es verschiedene Verfahren zur Dosierung, die z.T. ausgereift sind (Ulmer Verfahren, nachgeschaltete Dosierung) oder noch getestet werden (z.B. die direkte Dosierung in die Biologie). Eine kompakte PAK Variante stellt das Actiflo Darb Verfahren von Veolia dar.

Weitere Verfahren (GAK, Ferrat) werden ebenfalls geprüft.

Im Moment ist der Wissensstand noch nicht ausreichend, um eine schlüssige Empfehlung für die Anwendung eines Verfahrens auf, respektive neben dem Areal der REAL Luzern geben zu können. Für REAL Luzern ist, wie die Planskizzen im Anhang deutlich zeigen, das Argument Platzbedarf sehr wichtig, was für eine Ozonung spricht.

Der Realisierungshorizont bis maximal in das Jahr 2035 lässt genügend Zeit, um die weiteren Entwicklungen und Resultate abzuwarten und anschliessend das bestmögliche Verfahren für REAL Luzern zu evaluieren. Bis 2015 sollten viele Fragen beantwortet sein.

Winterthur, 17. Dezember 2012  
bst/rs/rm/eh

**HUNZIKER**BETATECH

**Hunziker Betatech AG**  
Pflanzschulstrasse 17  
Postfach 83  
8411 Winterthur



**Anhang:** Planskizzen der verschiedenen Varianten zur Elimination von Mikroverunreinigungen



Ozonung Variante 1

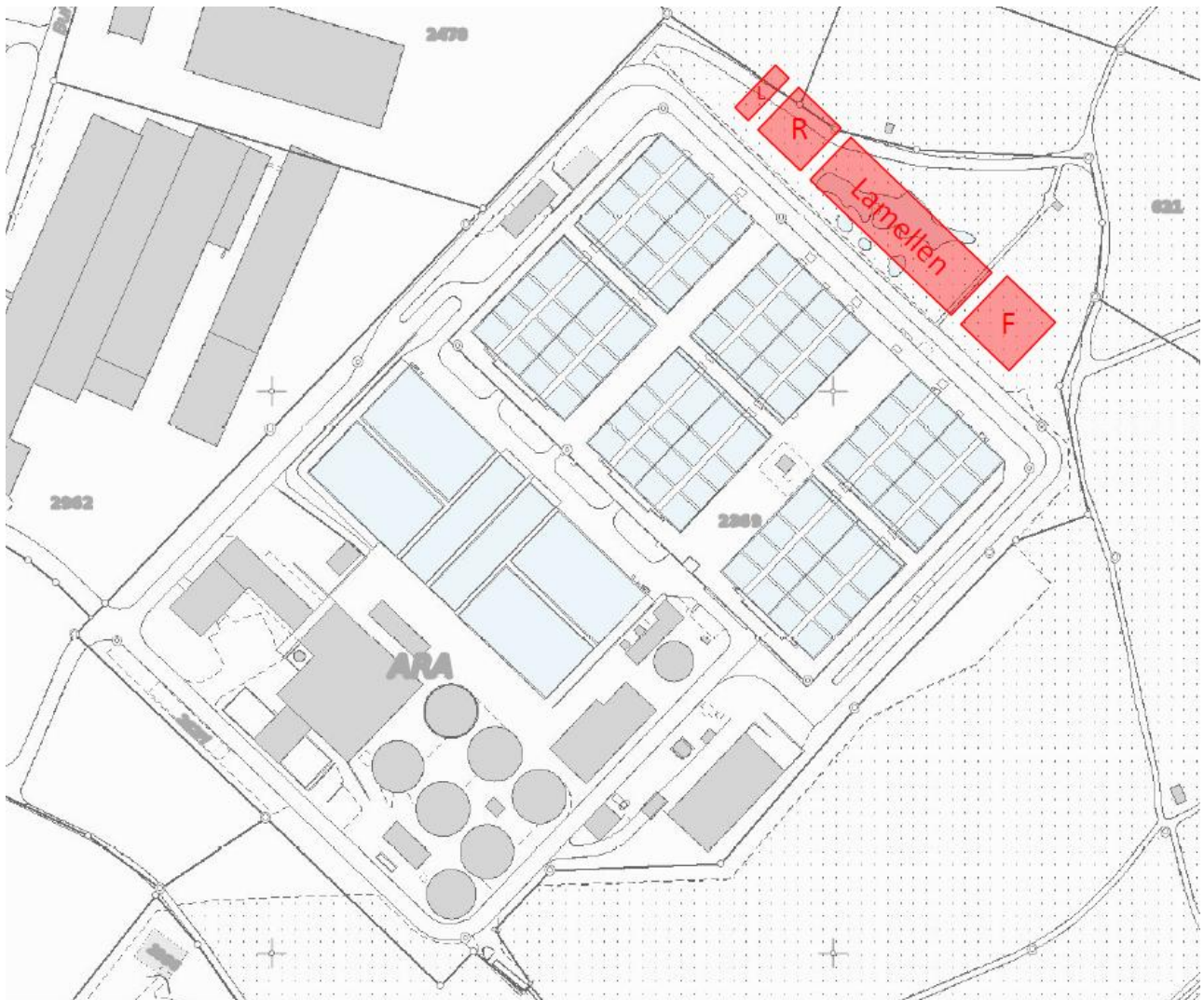


Ozonung Variante 2 ( F= Filtration)





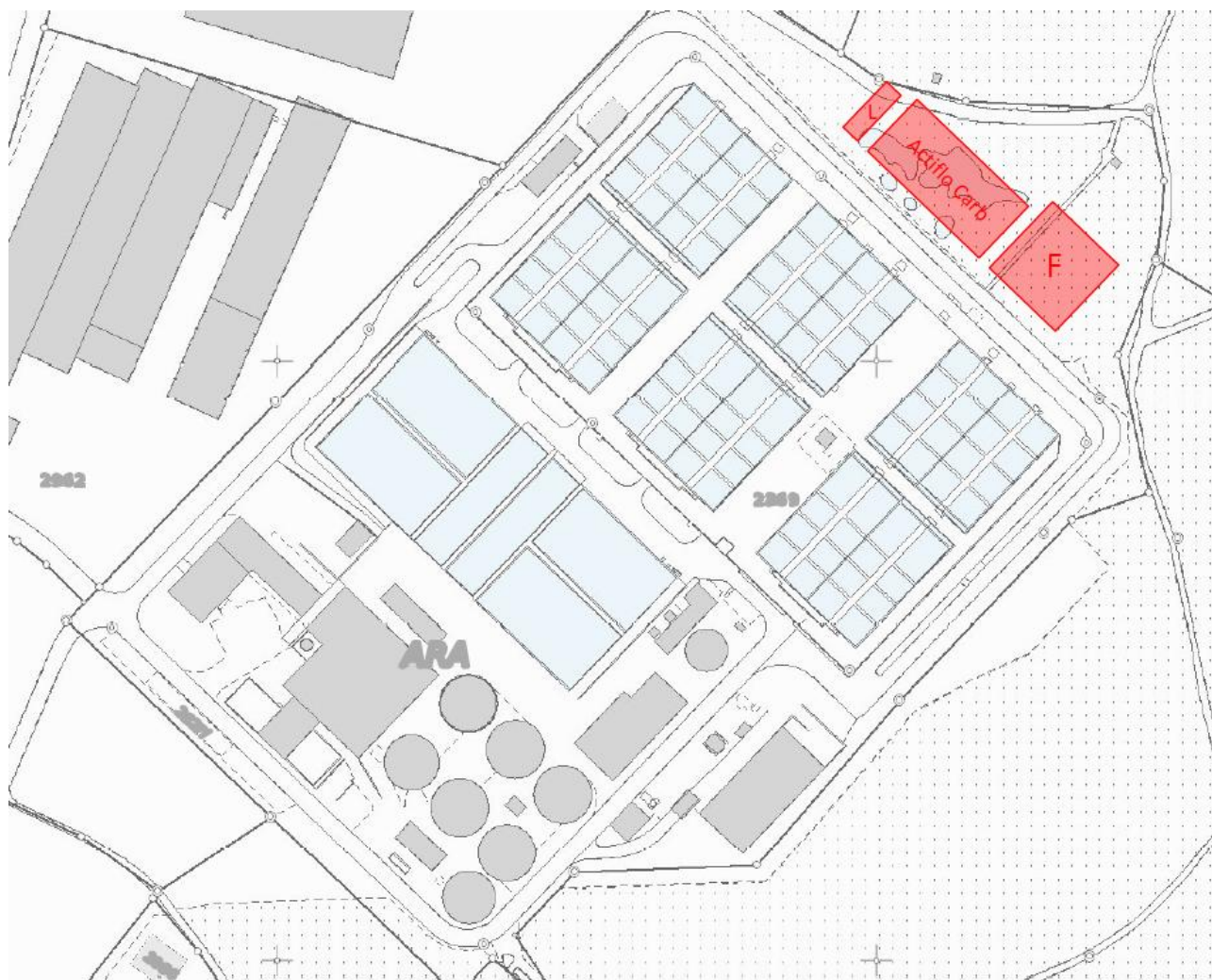
PAK Variante 1: L = Lagerung / Dosierung PAK; R = Kontaktreaktor; F = Filtration



PAK Variante 2 mit Lamellenklärer : L =Lagerung / Dosierung PAK; R = Kontaktreaktor; F = Filtration

---





PAK Variante 1 mit Actiflo Carb : L = Lagerung / Dosierung PAK; F = Filtration



