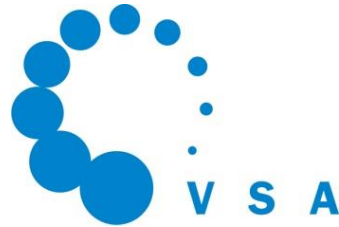


Verband Schweizer
Abwasser- und
Gewässerschutz-
fachleute

Association suisse
des professionnels
de la protection
des eaux

Associazione svizzera
dei professionisti
della protezione
delle acque

Swiss Water
Pollution Control
Association




Welche Verfahren können gebaut werden?

Luzern, 14. März 2019

Foto: M. Rindlisbacher, ARA Thunersee

Aqua&Gas Artikel 11/17



ELIMINATION VON MIKRO-
VERUNREINIGUNGEN AUF
ARA

AKTUELLER STAND DER VERFAHREN UND
KÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

In diesem Artikel wird der aktuelle Stand der Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen aus dem kommunalen Abwasser dargelegt und aufgezeigt, mit welchen künftigen Entwicklungen zu rechnen ist. Zudem wird auf wichtige Aspekte der Verfahren eingegangen und im Kontext der Verfahrenswahl diskutiert.

Pascal Wunderlin*, Aline Meier, Julie Grotol, VSA-Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

RESUME

ELIMINATION DES MICROPOLLUANTS DES STEP:
ETAT ACTUEL DES PROCÉDÉS ET DÉVELOPPEMENTS FUTURS

Dans le cadre du projet «Stratégie Micropolluants», différents procédés d'élimination des micropolluants des eaux usées communales ont été testés, l'accent ayant été mis en particulier sur l'ozonation et l'utilisation de charbon actif en poudre (CAP). On a constaté que les deux variantes du procédé étaient économiques, pouvaient bien s'intégrer dans les STEP existantes et éliminaient un large éventail de micropolluants, conformément aux exigences légales. Ce sont désormais des procédés établis et ils n'ont en principe pas changé. Cependant, la mise en œuvre de ces procédés a tendance à être plus compactes et moins onéreuses (par ex. le dosage de CAP au niveau du traitement biologique ou en amont du filtre à sable). Le charbon actif en grains (CAG), dans le filtre fixe dans le filtre à lit fluidisé, est une autre solution technologique en discussion. Il est important que, lors du choix du procédé, les contraintes liées au projet et à l'installation existante soient prises en compte. La version française de cet article sera publiée dans l'édition 1/18 de Aqua & Gas.

EINLEITUNG

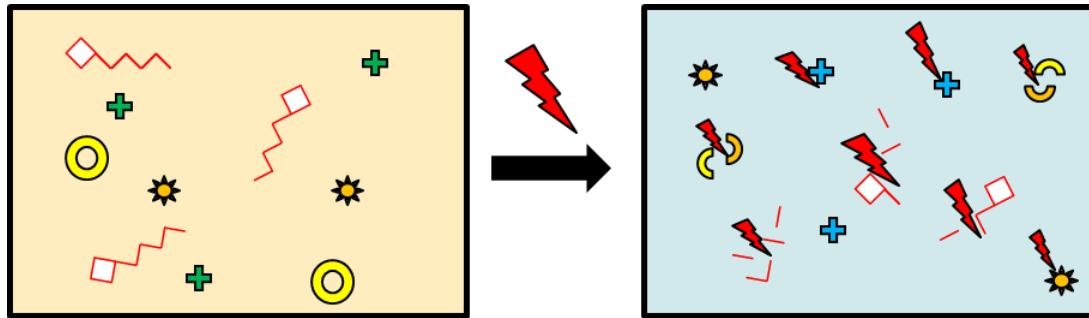
Organische Substanzen, die in Gewässern in Konzentrationen im Bereich von wenigen Nano- bis Mikrogramm pro Liter vorkommen, werden organische Spurenstoffe respektive Mikroverunreinigungen genannt und nachfolgend als MV bezeichnet. Sie können auf Wasserlebewesen bereits in diesen geringen Konzentrationen nachteilige Effekte haben [1]. Die kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) stellen den wichtigsten kontinuierlichen Eintragspfad für Spurenstoffe dar [2]. Es ist bekannt, dass der Eintrag von MV aus kommunalen ARA und damit auch die ökotoxikologischen Effekte mit technischen Massnahmen wesentlich reduziert werden können, was zu einer Verbesserung der Wasserqualität in der Umwelt führt (z. B. [1, 3]). Um diese Verbesserungen herbeizuführen, traten am 1. Januar 2016 das revidierte Gewässerschutzgesetz (GSchG) und die revidierte Gewässerschutzverordnung (GSchV) in Kraft. Damit sind in der Schweiz die gesetzlichen Grundlagen für den gezielten Ausbau von ARA um eine zusätzliche Reinigungsstufe geschaffen. Die Kriterien gemäss GSchV zur Auswahl der betroffenen ARA richten sich nach drei Zielen:

- Schutz der aquatischen Tier- und Pflanzenwelt
- Qualitätssicherung der Trinkwasserressourcen
- Reduktion der ins Ausland abgeleiteten Menge an MV, denn als Oberländer trägt die Schweiz eine besondere Verantwortung gegenüber flussabwärts liegenden Ländern.

* Kontakt: pascal.wunderlin@vsa.ch

- **Etablierte Verfahren**
 - Ozonung
 - PAK im Ulmer-Verfahren
 - **Auf dem Weg zum Standardverfahren**
 - PAK vor Sandfilter
 - PAK in Biologie
 - PAK und Membran
 - **Weitere Erfahrungen nötig**
 - GAK im Wirbelbett
 - GAK-Filtration
 - Verfahrenskombinationen
- **Wo stehen wir heute?**

Allgemeines zur Ozonung



- Oxidation von Spurenstoffe → Transformationsprodukte
- Oxidation von Abwasserinhaltsstoffe → Reaktionsprodukte
- In problematischen Abwässern mit Industrie-Einleiter können toxische, persistente Reaktionsprodukte (z.B. Bromat) entstehen

Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung

Ist das Abwasser für eine Ozonung geeignet?

Betrieb von Ozonanlage: Erkennen von kritischen Entwicklungen im Einzugsgebiet

Verband Schweizer Anlagentechniker
Schweizerische Eidgenossenschaft
SIA 1026
SIA 1027
SIA 1028
SIA 1029
SIA 1030
SIA 1031
SIA 1032
SIA 1033
SIA 1034
SIA 1035
SIA 1036
SIA 1037
SIA 1038
SIA 1039
SIA 1040
SIA 1041
SIA 1042
SIA 1043
SIA 1044
SIA 1045
SIA 1046
SIA 1047
SIA 1048
SIA 1049
SIA 1050

Europenstrasse 3
Postfach, 8152
Göttlingen
sekretariat@vsa.ch
www.vsa.ch
T: 043 343 70 70
F: 043 343 70 71

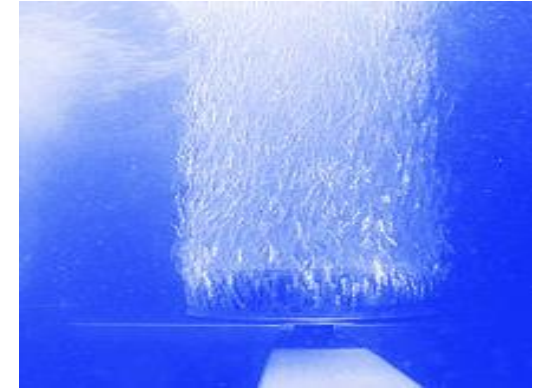
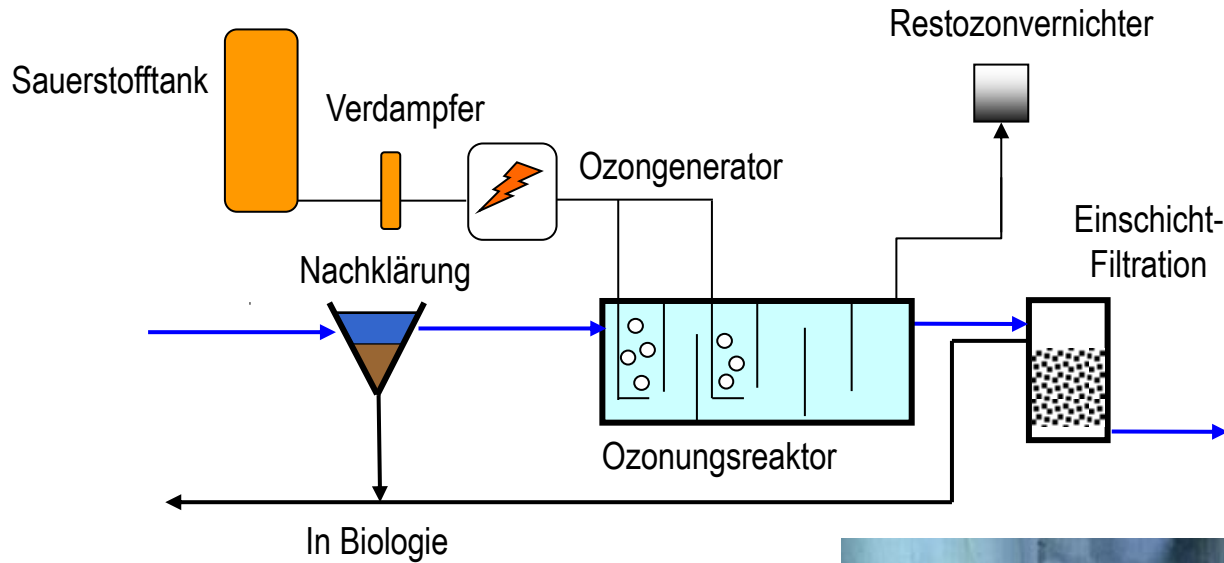
**ABKLÄRUNGEN
VERFAHRENEIGNUNG
OZONUNG**

EMPFEHLUNG

Der VSA empfiehlt diese Abklärungen frühzeitig und vollständig durchzuführen, wenn eine Ozonung in Betracht gezogen wird. Erweist sich ein Abwasser als ungeeignet, und wird von einer Ozonung abgesehen, können die Abklärungen noch vorzeitig abgebrochen werden.

19. März 2012, Seite 1

Allgemeines zur Ozonung



Quelle: ARA Neugut

Ozonungsreaktor
ca. 6-8 m Wassertiefe
6-8 Kammern
2 Eintragsrampen (in Kammer
1 und in Kammer 3)
Injektoren oder Diffusoren
Regelung mit SAK₂₅₄



Ozon-Eintragsrampen mit Keramikk diffusoren, Quelle: ARA Neugut

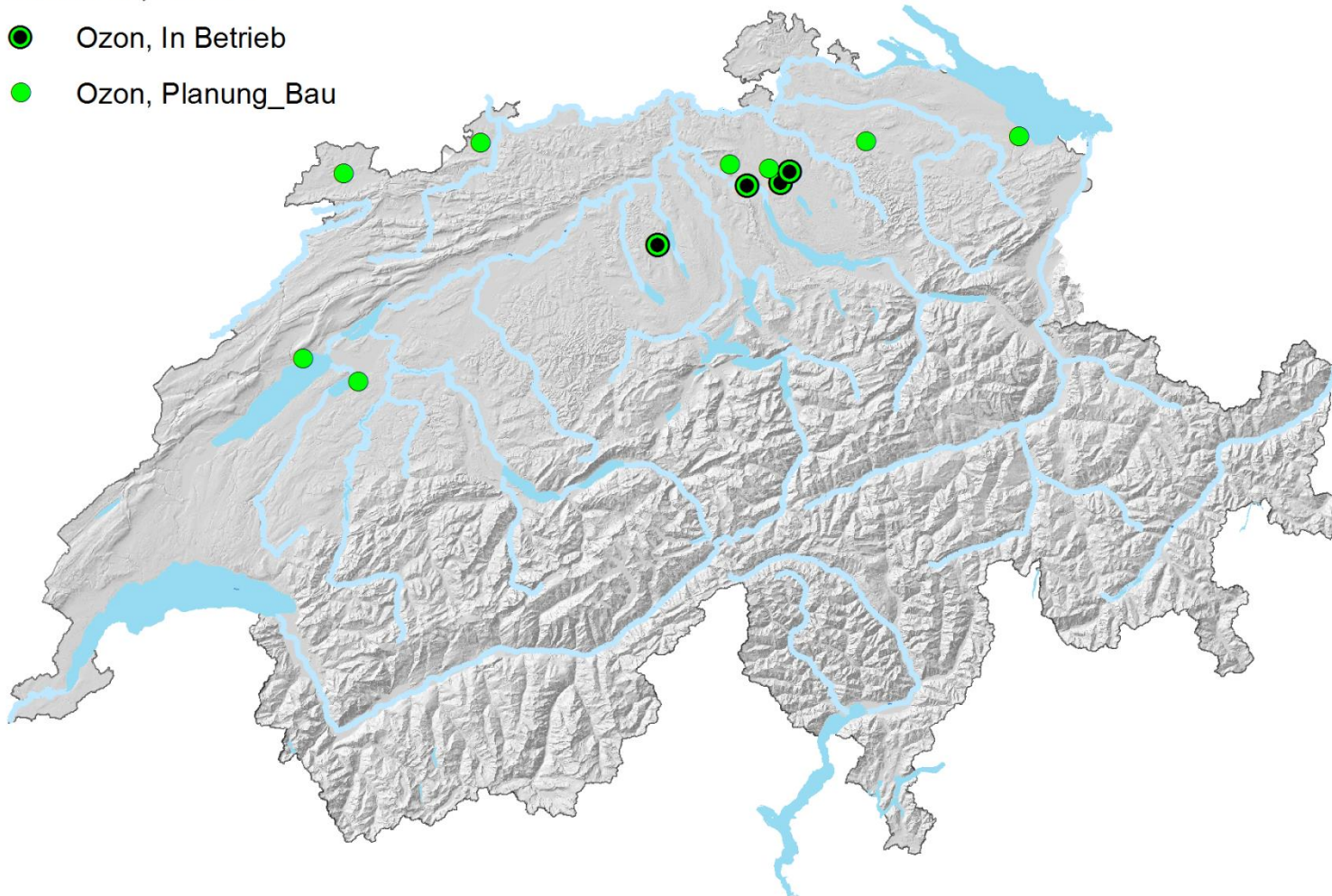
Überblick grosstechnische Realisierungen



Karte ARA

Verfahren, Stand

- Ozon, In Betrieb
- Ozon, Planung_Bau



Quelle Kartenhintergrund: Swisstopo

ARA Neugut

150'000 EW
 $Q_{\max} = 660 \text{ l/s}$
Vollstrom

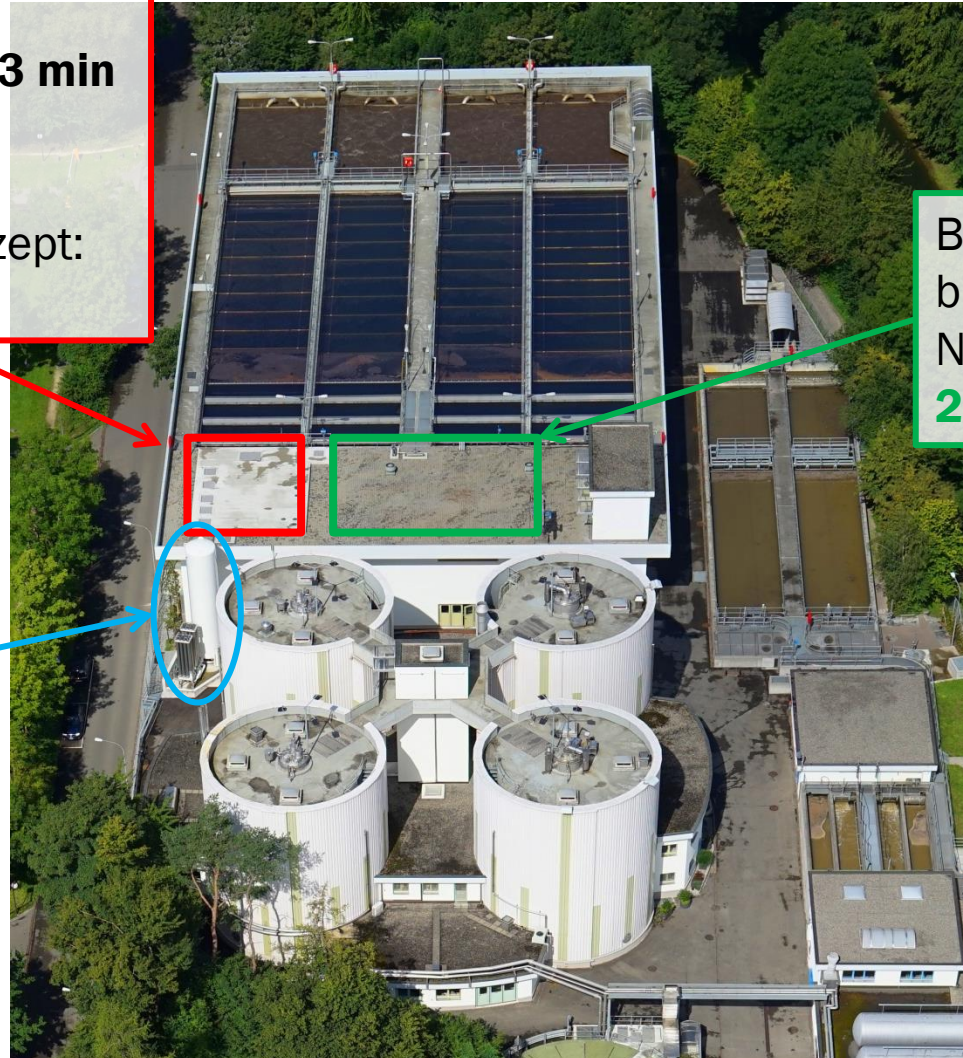


Ozonierungsreaktor

Min. Aufenthaltszeit: **13 min**
Ozondosis mit BEAR-
Strategie und
LOD-Mehrkammerkonzept:
 $2 * 0.2 \text{ mgO}_3/\text{mgDOC}$

O_2 -Tank (30 m³)
Verdampfer
 O_3 -Generatoren

Bestehende
biologisch aktive
Nachbehandlung:
2-Schicht-Sandfilter



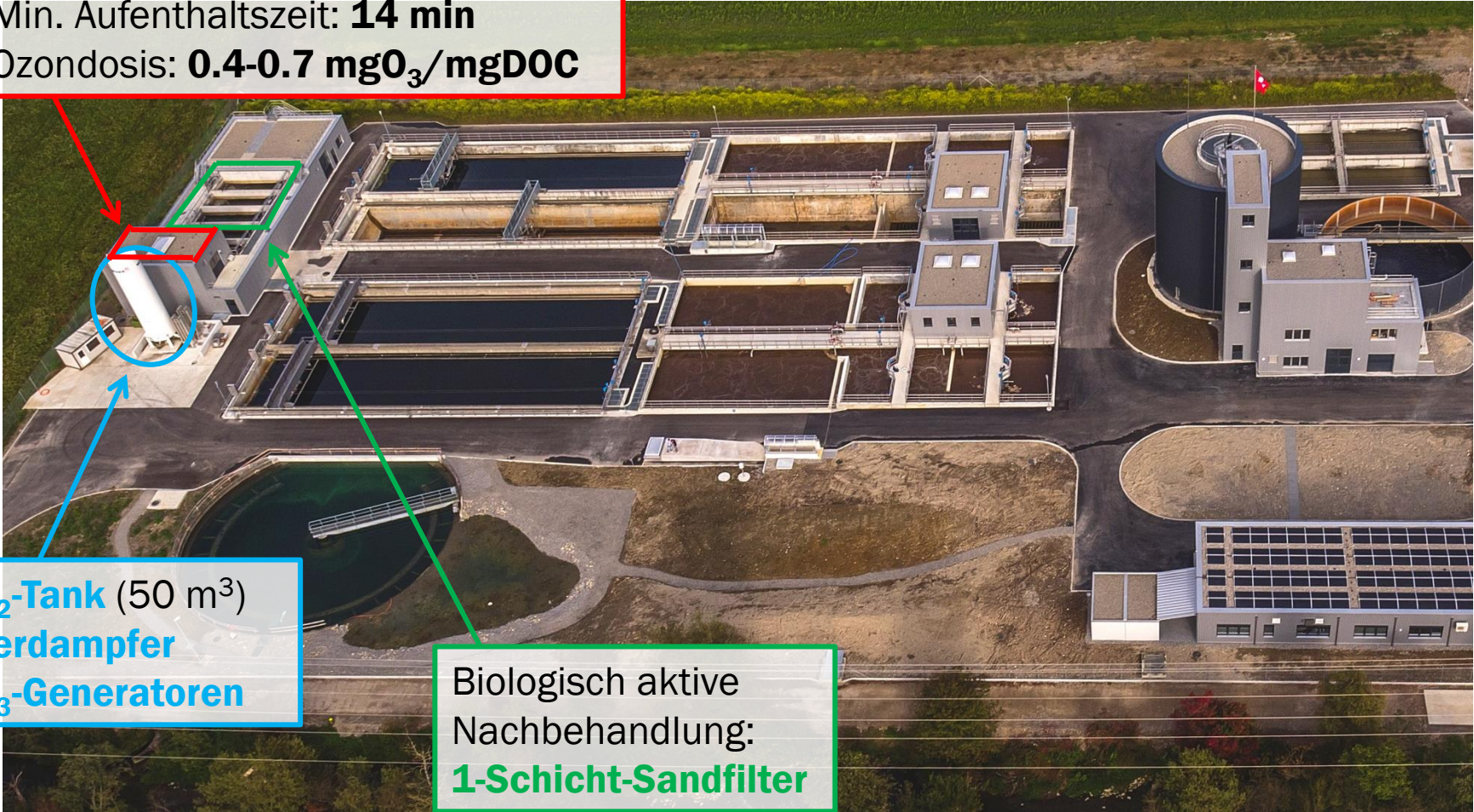
1-strassig
Inbetriebnahme
2014

ARA Reinach

60'000 EW
 $Q_{\max} = 410 \text{ l/s}$
Vollstrom



Ozonierungsreaktor
Min. Aufenthaltszeit: **14 min**
Ozondosis: **0.4-0.7 mgO₃/mgDOC**



O₂-Tank (50 m³)
Verdampfer
O₃-Generatoren

Biologisch aktive
Nachbehandlung:
1-Schicht-Sandfilter

Quelle: ARA Reinach

2-strassig
Inbetriebnahme 2016

ARA Bassersdorf

28'000 EW
 $Q_{\max} = 320 \text{ l/s}$
Vollstrom

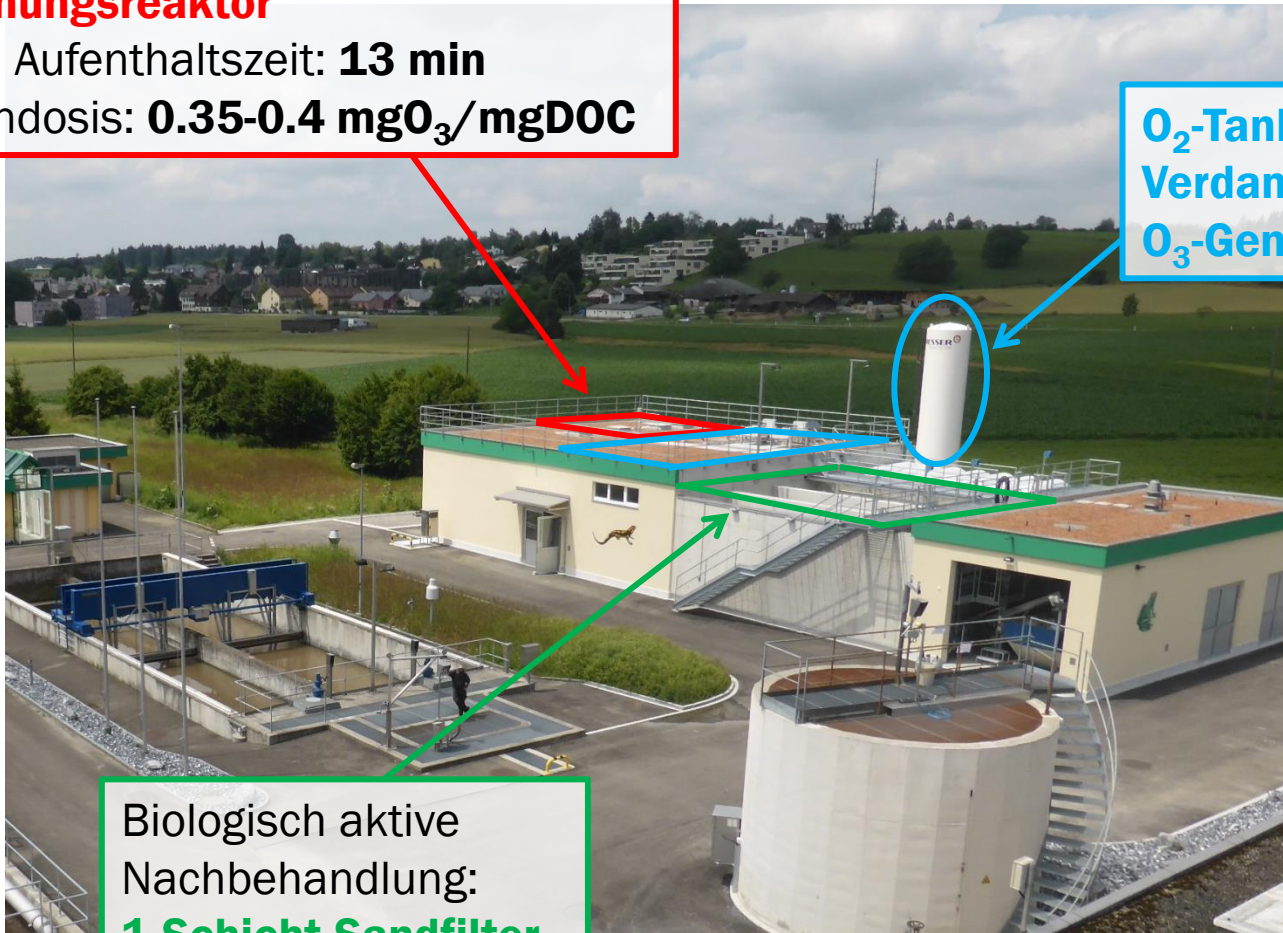


Ozonierungsreaktor

Min. Aufenthaltszeit: **13 min**

Ozondosis: **0.35-0.4 mgO₃/mgDOC**

O₂-Tank (20 m³)
Verdampfer
O₃-Generatoren



Biologisch aktive
Nachbehandlung:
1-Schicht-Sandfilter

Quelle: Hunziker Betatech AG

1-strassig
Inbetriebnahme 2018

ARA Werdhölzli

670'000 EW
 $Q_{\max,03} = 8'600 \text{ l/s}$
Vollstrom



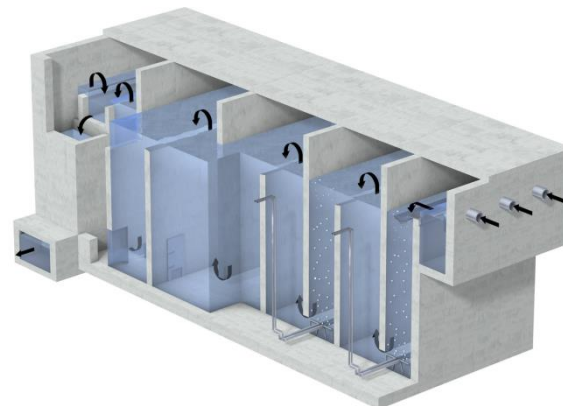
VPSA + O₂-Tank
(60 m³) zur
Spitzenabdeckung
Verdampfer
O₃-Generatoren

Bestehende
biologisch aktive
Nachbehandlung:
1-Schicht Sandfilter



Quelle: ERZ

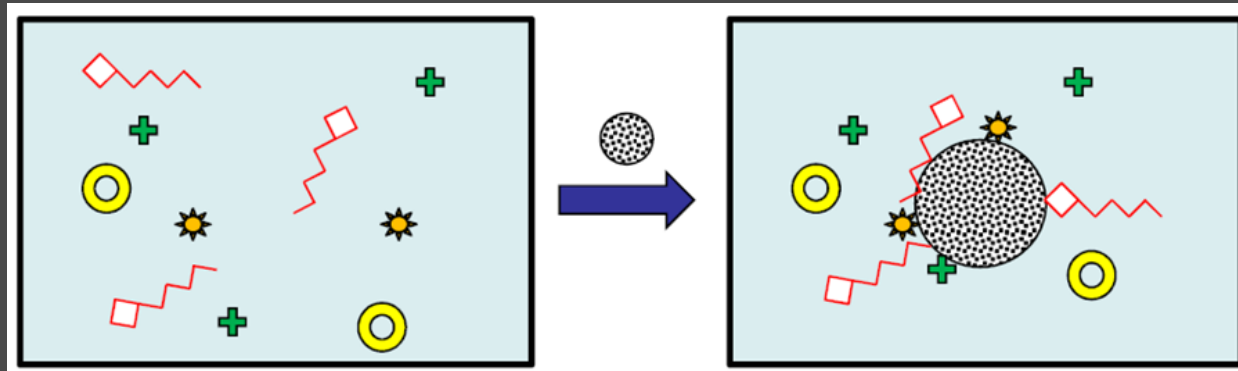
Ozonierungsreaktor:
Min. Aufenthaltszeit: **12 min**
Ozondosis: **0.5 mgO₃/mgDOC**



4-strassig
Inbetriebnahme
2018

Quelle: ERZ

Allgemeines zur Aktivkohle



- Spurenstoffe lagern sich an die Aktivkohle an (**Adsorption**)
- Aktivkohle wird
 - (i) in die Biologie zurückgeführt und mit dem Klärschlamm **verbrannt**, oder
 - (ii) **regeneriert und wieder verwendet**.

Die Aktivkohle muss möglichst vollständig vom gereinigten Abwasser abgetrennt werden: **Aktivkohle-Schlupf so weit wie möglich minimieren.**

Charakterisierung der Aktivkohle

- ✓ Grosse spezifische Oberfläche (5 g \approx 1 Fussballfeld \approx 5000 m²)
 - ✓ Verschiedene Ausgangsrohstoffe: Stein- und Braunkohle, Holz, Torf, verschiedene Fruchtschalen (z.B. Kokosnussschalen)
 - ✓ Verschiedenen Produkte und Körnungen
 - Granulierte Aktivkohle (GAK): 0.4 – 2.4 mm
 - Pulveraktivkohle (PAK): 0.005 – 0.1 mm
 - «Super»-feine Aktivkohle: < 0.001 mm
 - ✓ Verschiedene Aktivkohle-Produkte auf dem Markt
- Qualitätskontrolle** → Tests in Erarbeitung

Gegenüberstellung PAK- GAK



	GAK-Filter		GAK im Wirbelbett		PAK
Aktivkohle Standzeit	1 bis 3 Jahre	↔ ≈	100 Tage		1 bis 6 Tage (Rückführung 10-20 Tage)
Empfindlichkeit auf Frachtspitzen	400 gAK/(L/s)	↔ ≈	130 gAK/(L/s)		3 gAK/(L/s)
Korngrosse	1 bis 3 mm	↔ ≈	0.2 bis 1 mm		0.005 bis 0.1 mm
Kontaktzeit	20 bis 30 min	↔ ≈	7 bis 10 Min	↔ ≈	20 bis 30 Min
Biologisch aktiv	Ja	↔ ≈	Ja		Nein
Reaktivierung	Ja	↔ ≈	Ja		Nein
AK-Rückhalt	> 99%		> 97%		> 99%
Feststoff-Rückhalt	Ja	↔ ≈	Wenig	↔ ≈	Ja
Dosierung	1 bis 3 Jahre		1x pro Tag	↔ ≈	1x pro Stunde
bei Regenwetter	keine Anpassung möglich		Dosis anpassen		Dosis anpassen

↔ ≈ Ähnlichkeit

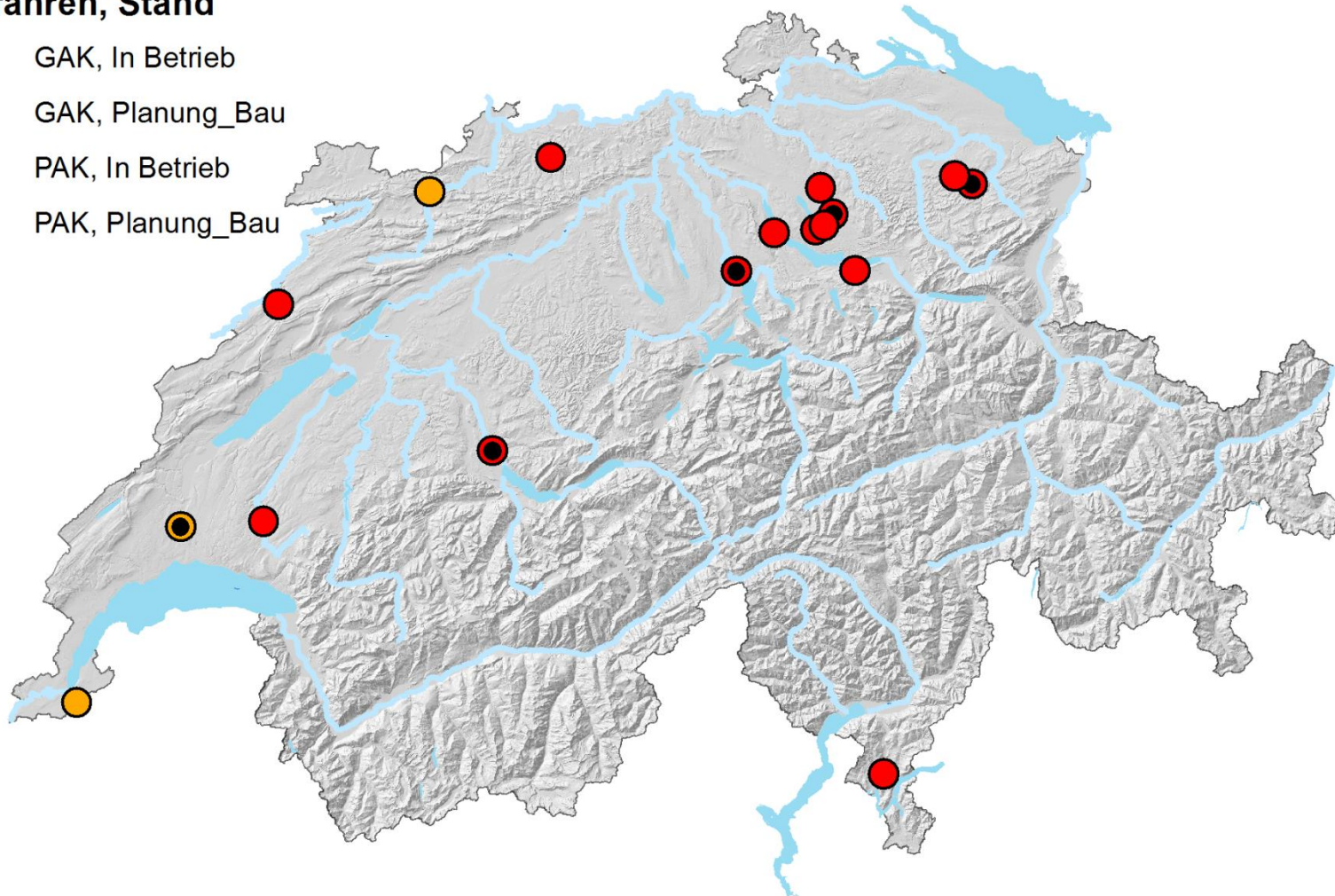
Überblick grosstechnische Realisierungen



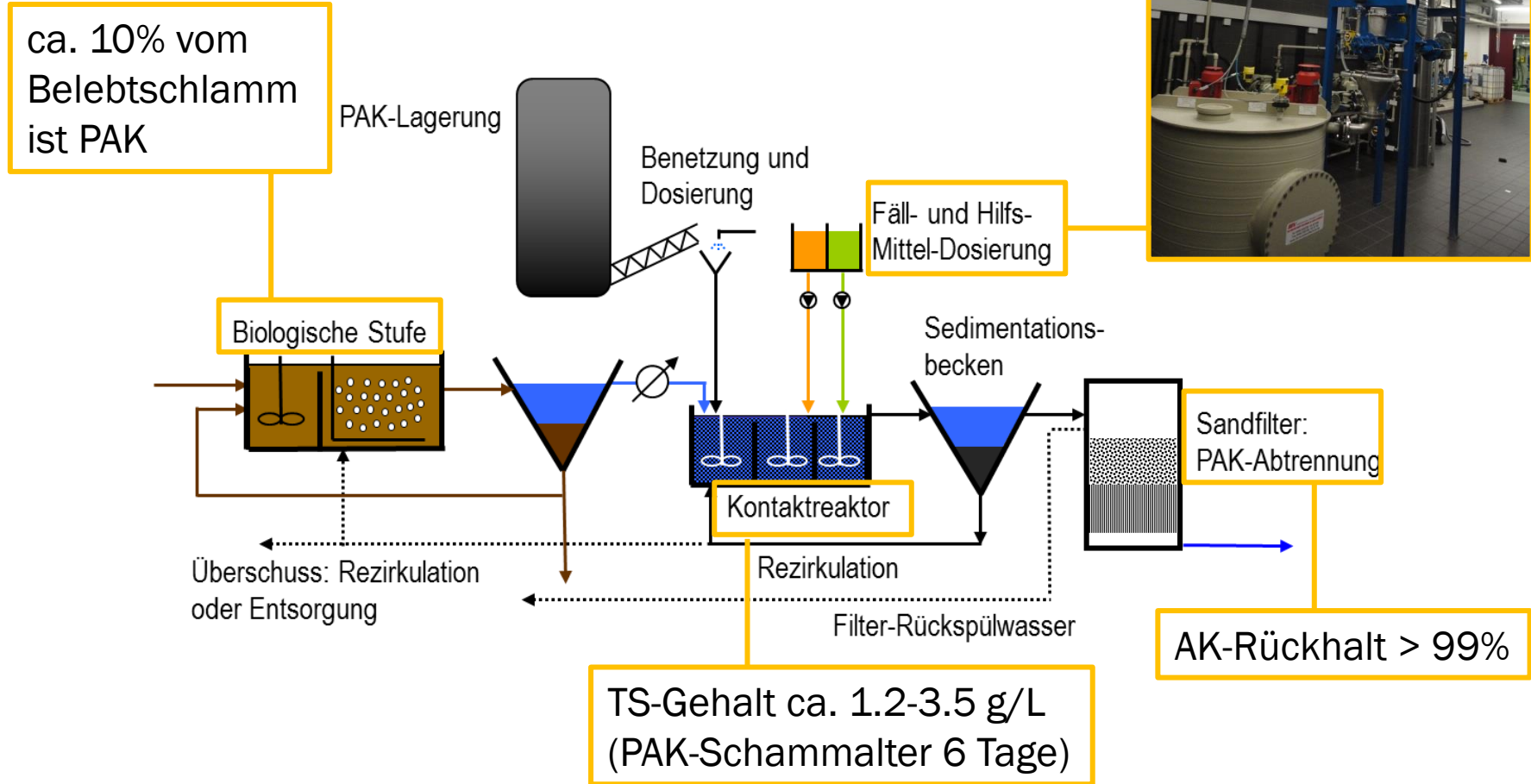
Karte ARA

Verfahren, Stand

-  GAK, In Betrieb
-  GAK, Planung_Bau
-  PAK, In Betrieb
-  PAK, Planung_Bau



PAK im Ulmerverfahren



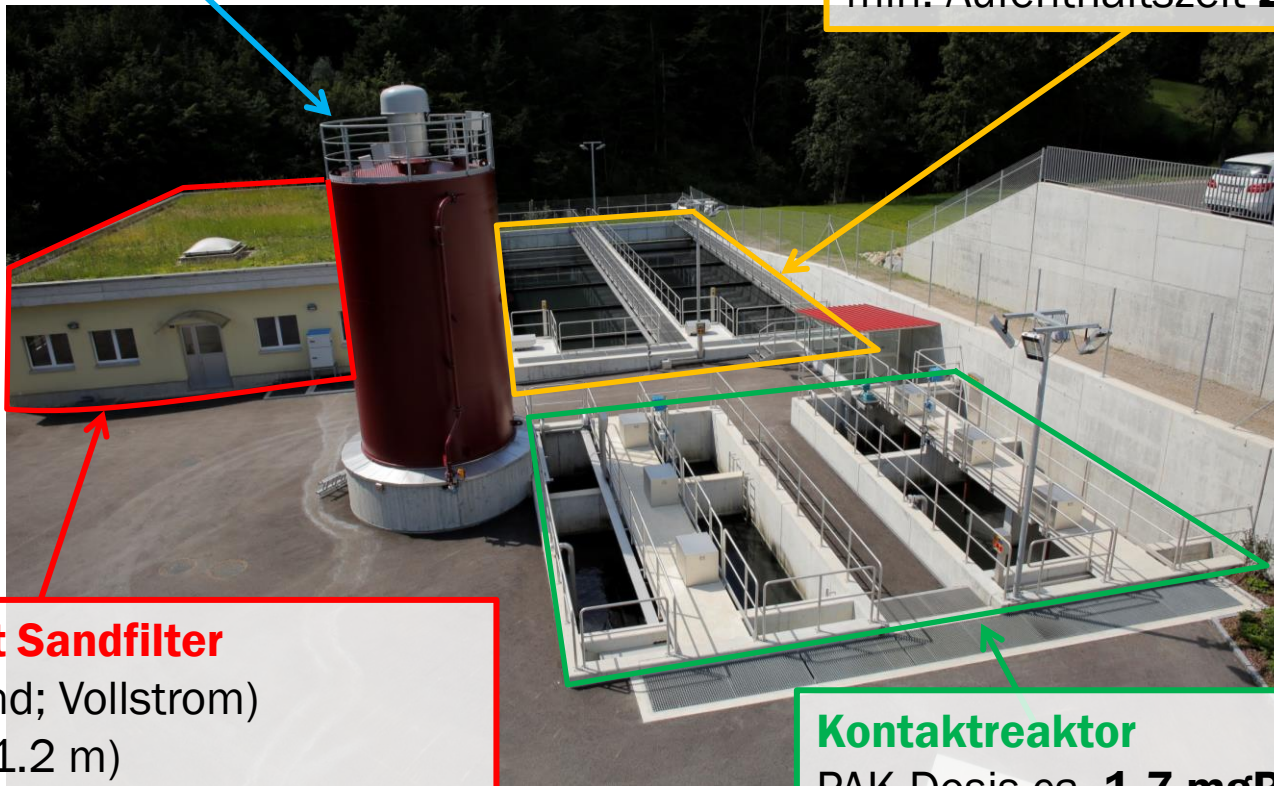
ARA Herisau

34'000 EW
 $Q_{\max} = 310 \text{ l/s}$
Teilstrom (170 l/s)



Silo für PAK-
Lagerung (75m³)

Sedimentation
min. Aufenthaltszeit **2 h**



1-Schicht Sandfilter

(bestehend; Vollstrom)

Blähton (1.2 m)

Bei Regenwetter: zusätzliche
Direktdosierung vor den Filter

Kontaktreaktor

PAK-Dosis ca. **1.7 mgPAK/mgDOC**

(152kg/d, anhand Tagesganglinie)

min. Kontaktzeit **30 min**

1 Mischzone, 3 Kammer (plug-flow)

2-strassig
Inbetriebnahme
2015

Quelle: ARA Herisau

ARA Thunersee

150'000 EW
 $Q_{\max} = 1350 \text{ l/s}$
Teilstrom (800 l/s)



Sedimentation

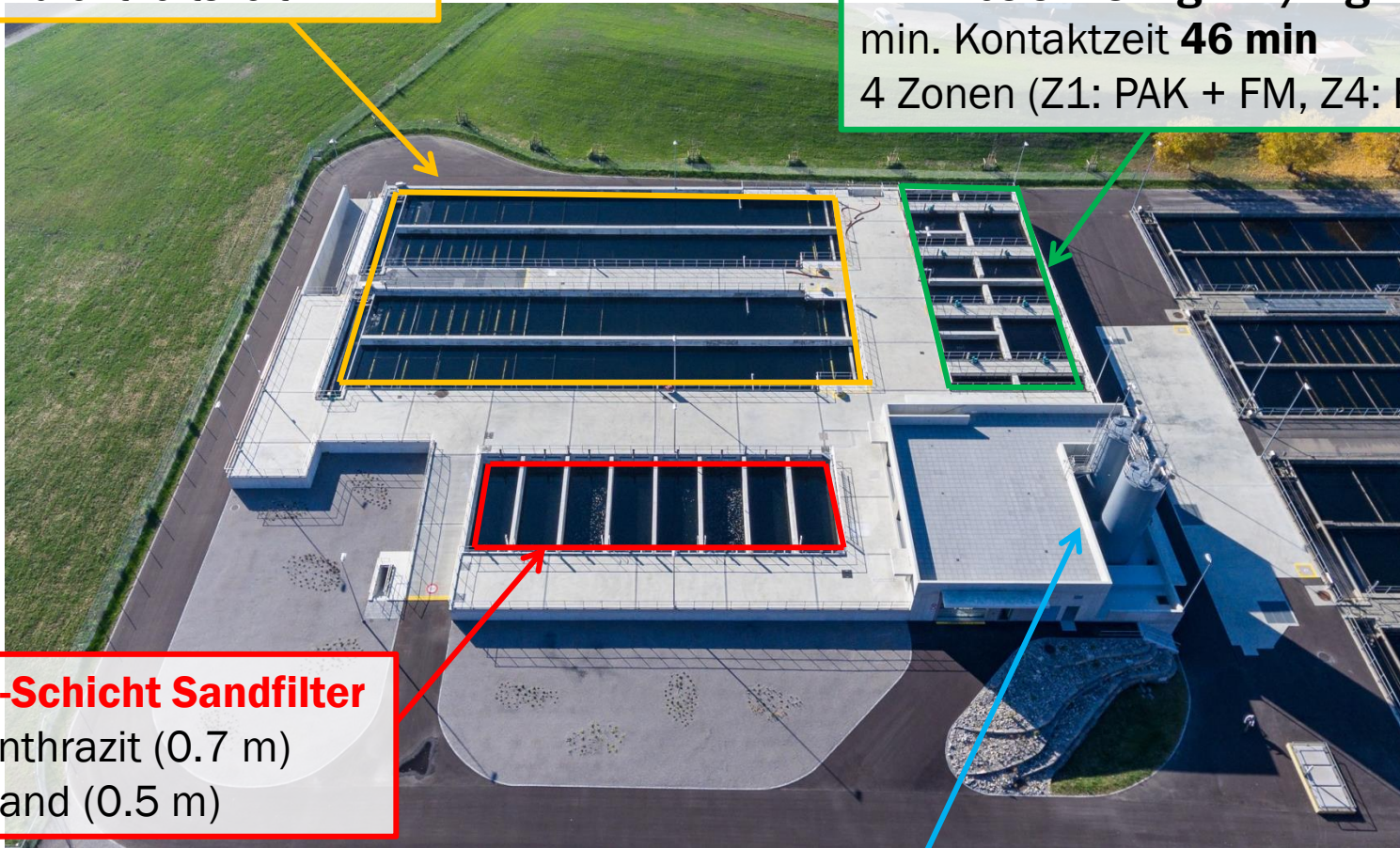
min. Aufenthaltszeit **2.7 h**

Kontaktreaktor

PAK-Dosis **1.5 mgPAK/mgDOC**

min. Kontaktzeit **46 min**

4 Zonen (Z1: PAK + FM, Z4: FHM)



2-Schicht Sandfilter

Anthrazit (0.7 m)

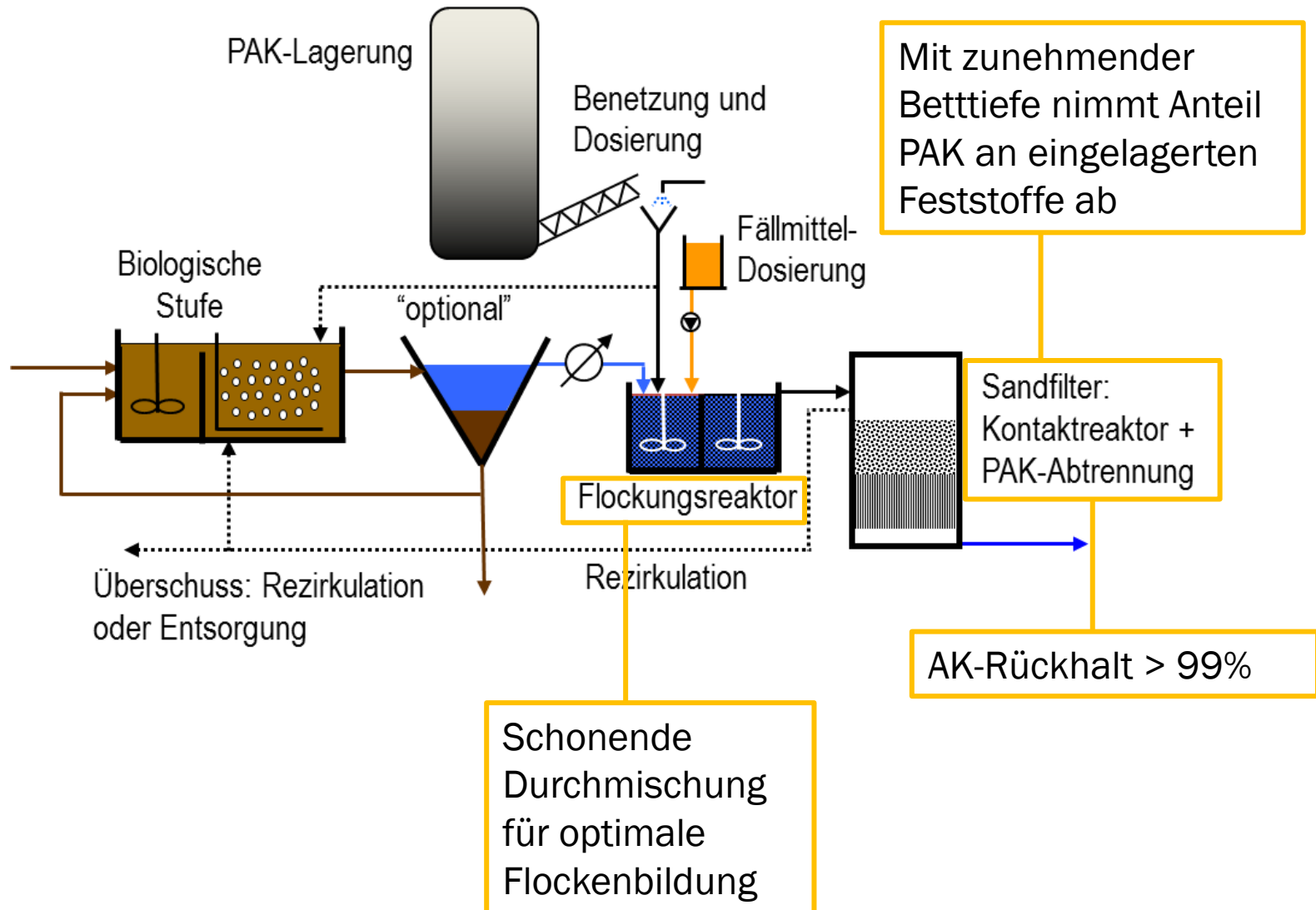
Sand (0.5 m)

Silos für PAK-
Lagerung (2*80 m³)

2-strassig
Inbetriebnahme 2018

Quelle: ARA
Thunersee

PAK vor einen Sandfilter



ARA Schönau

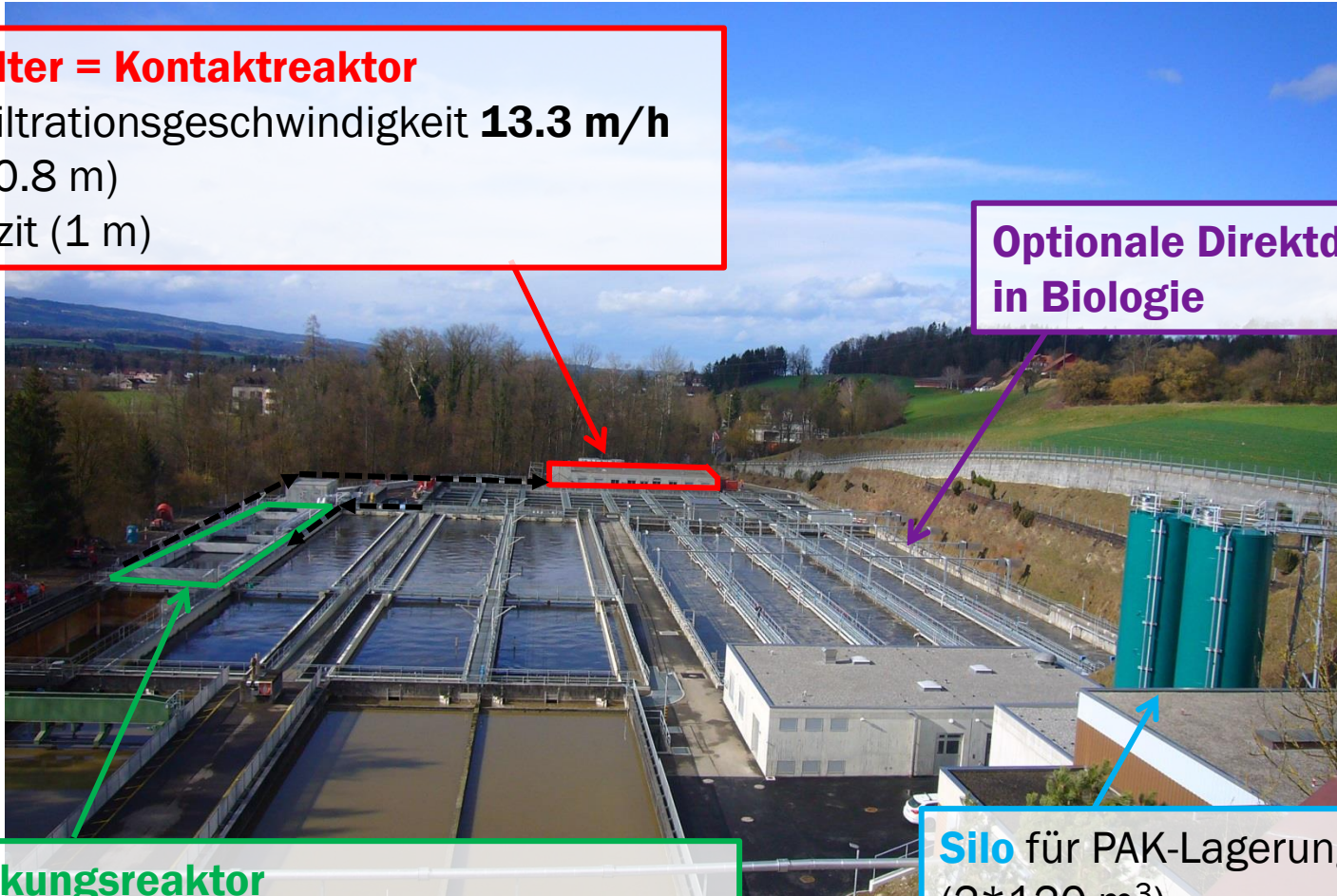
245'000 EW
 $Q_{\max} = 1'600 \text{ l/s}$
Vollstrom



Sandfilter = Kontaktreaktor

max. Filtrationsgeschwindigkeit **13.3 m/h**
Sand (0.8 m)
Anthrazit (1 m)

Optionale Direktdosierung
in Biologie



Flockungsreaktor

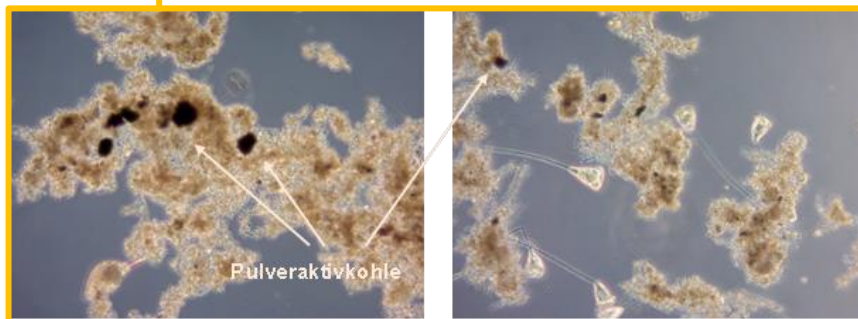
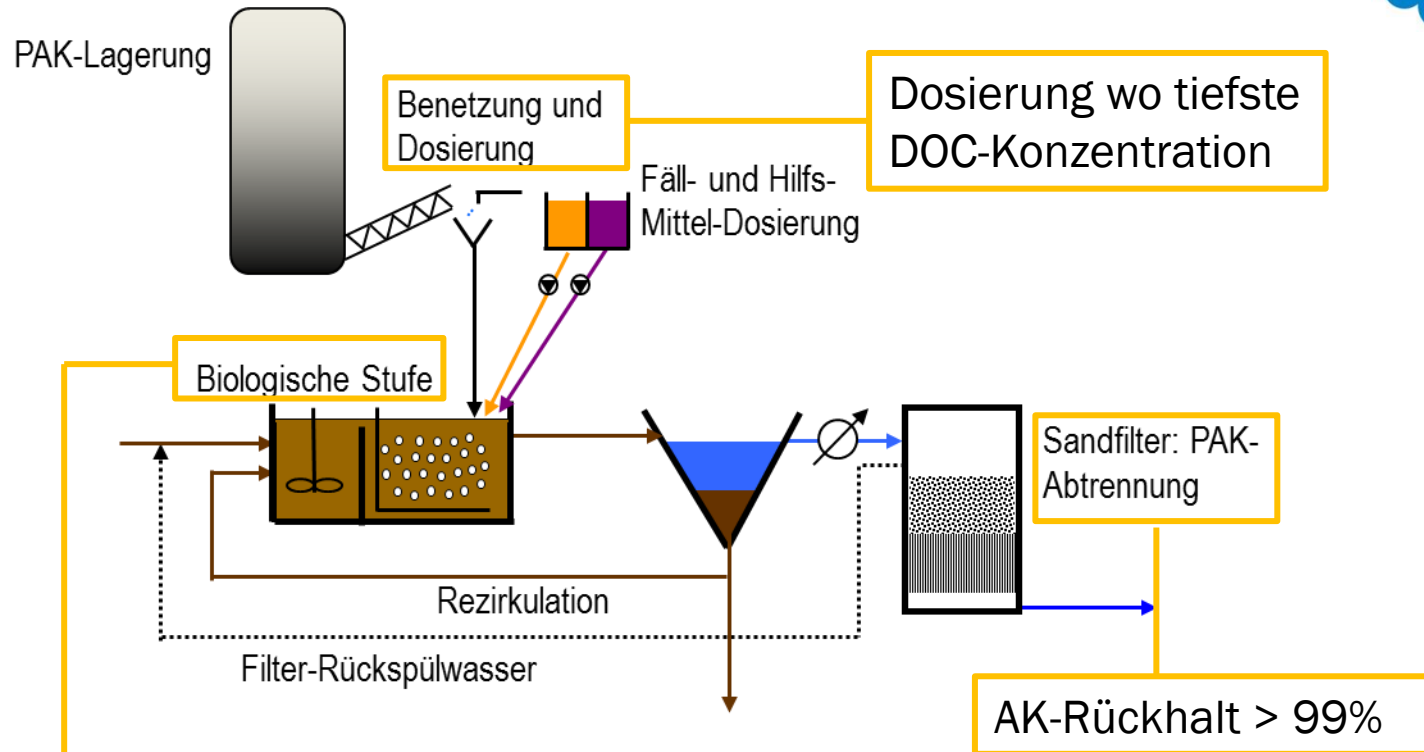
PAK-Dosis 10 mg/L (**2.1 mgPAK/mgDOC**)
min. Kontaktzeit **15 min**
5 Zonen (Z1: PAK, Z2: FM)

Silo für PAK-Lagerung
(2*120 m³)

Quelle: GVRZ

2-strassig
Inbetriebnahme 2018

PAK in die Biologie



Direktdosierung in Belebtschlammbiologie, MBR oder SBR möglich

ARA Wetzikon

37'500 EW

$Q_{\max} = 480 \text{ l/s}$ ($Q_{\text{Ausbau}} = 650 \text{ l/s}$)

Vollstrom



Silo für PAK-
Lagerung (100 m³)

Sandfilter

Sand (1.5 m)

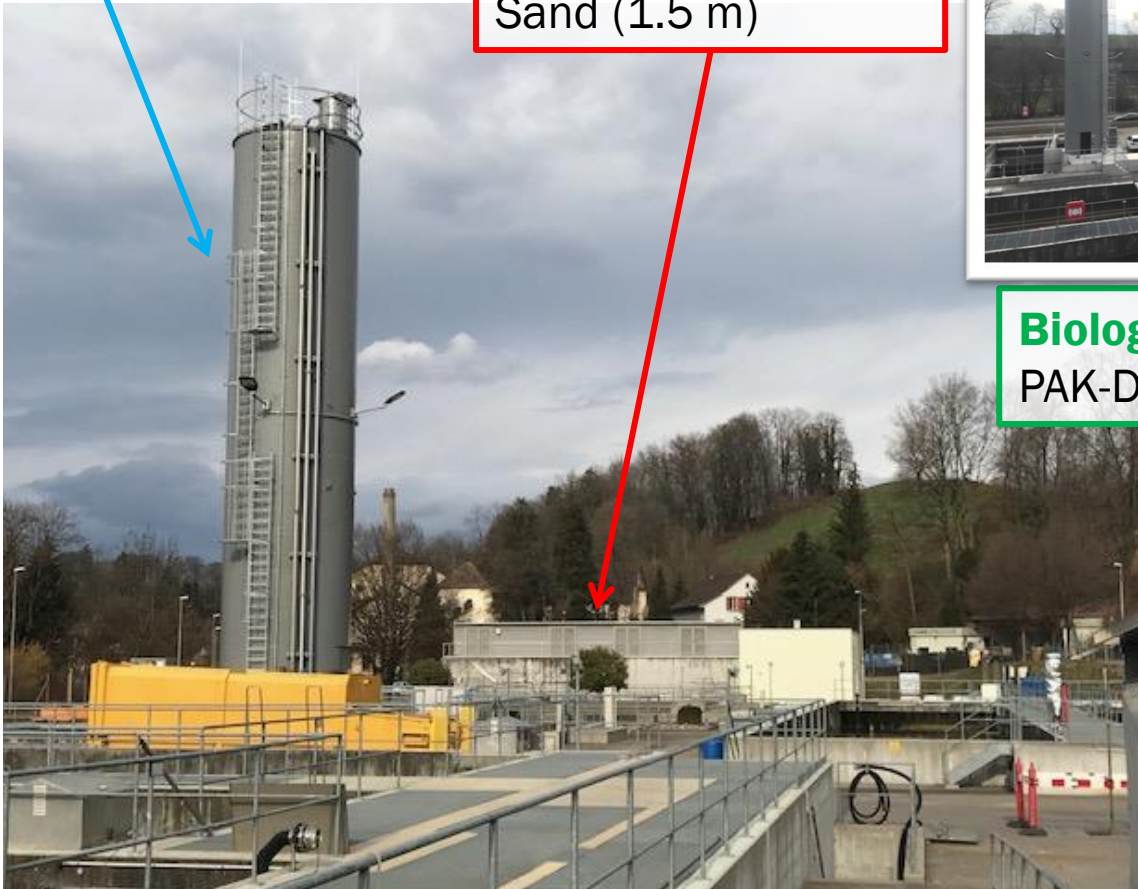
Nachklärung

Aufenthaltszeit **2.2 h**
(mit 480 l/s)



Biologie = Kontaktreaktor

PAK-Dosis **15 mgPAK/L** (geschätzt)



Quelle: ARA Wetzikon

2-strassig
Inbetriebnahme 2019

GAK im Wirbelbett

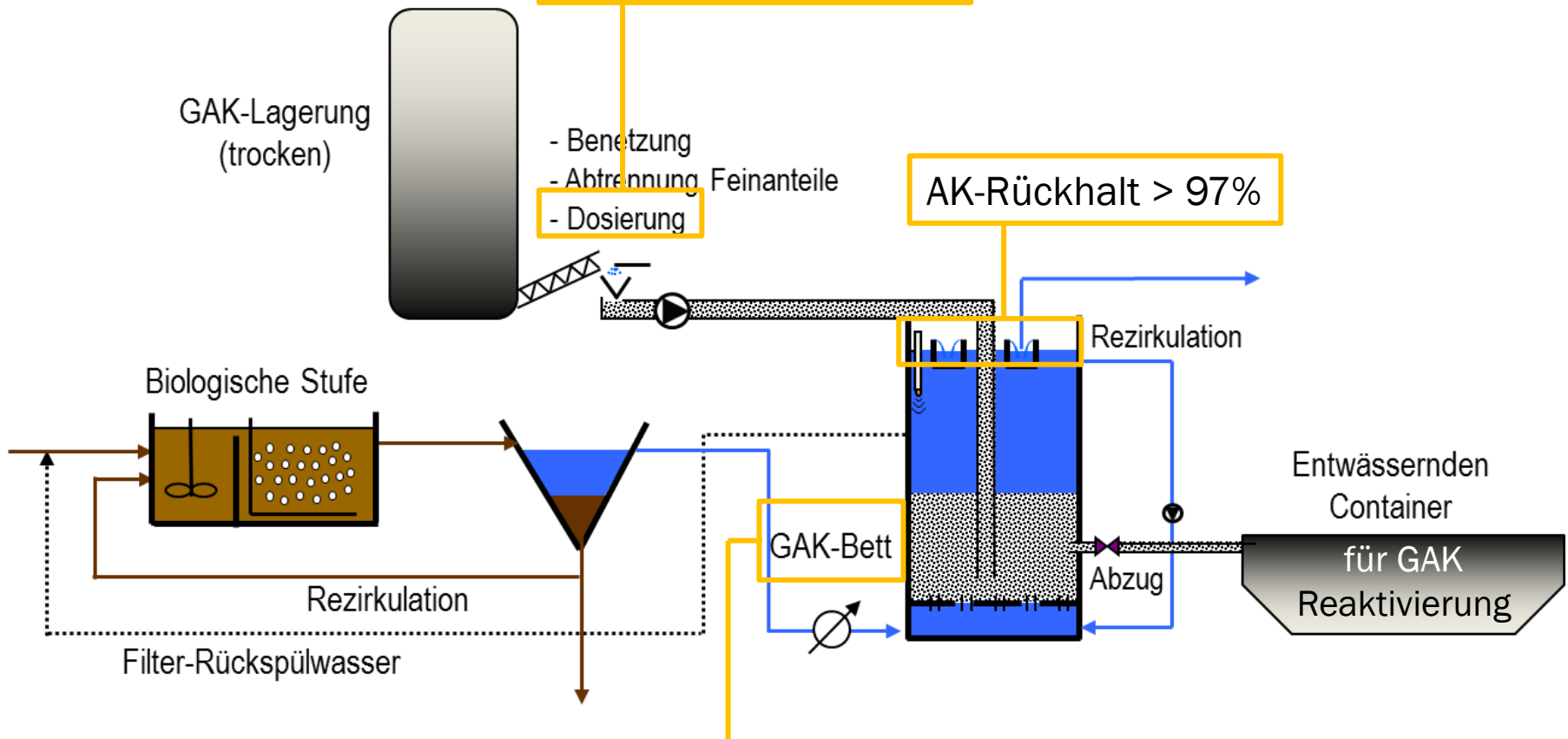


Batchartige Dosierung
alle 2 Tage

GAK-Lagerung
(trocken)

- Benetzung
- Abtrennung Feinanteile
- Dosierung

AK-Rückhalt > 97%



GAK-Bett (Höhe 1.5 m Ruhe, 2.2 m expandiert)
mittlere Korngrösse 0.5 mm
Standzeit 100 Tage (Trägheit System)

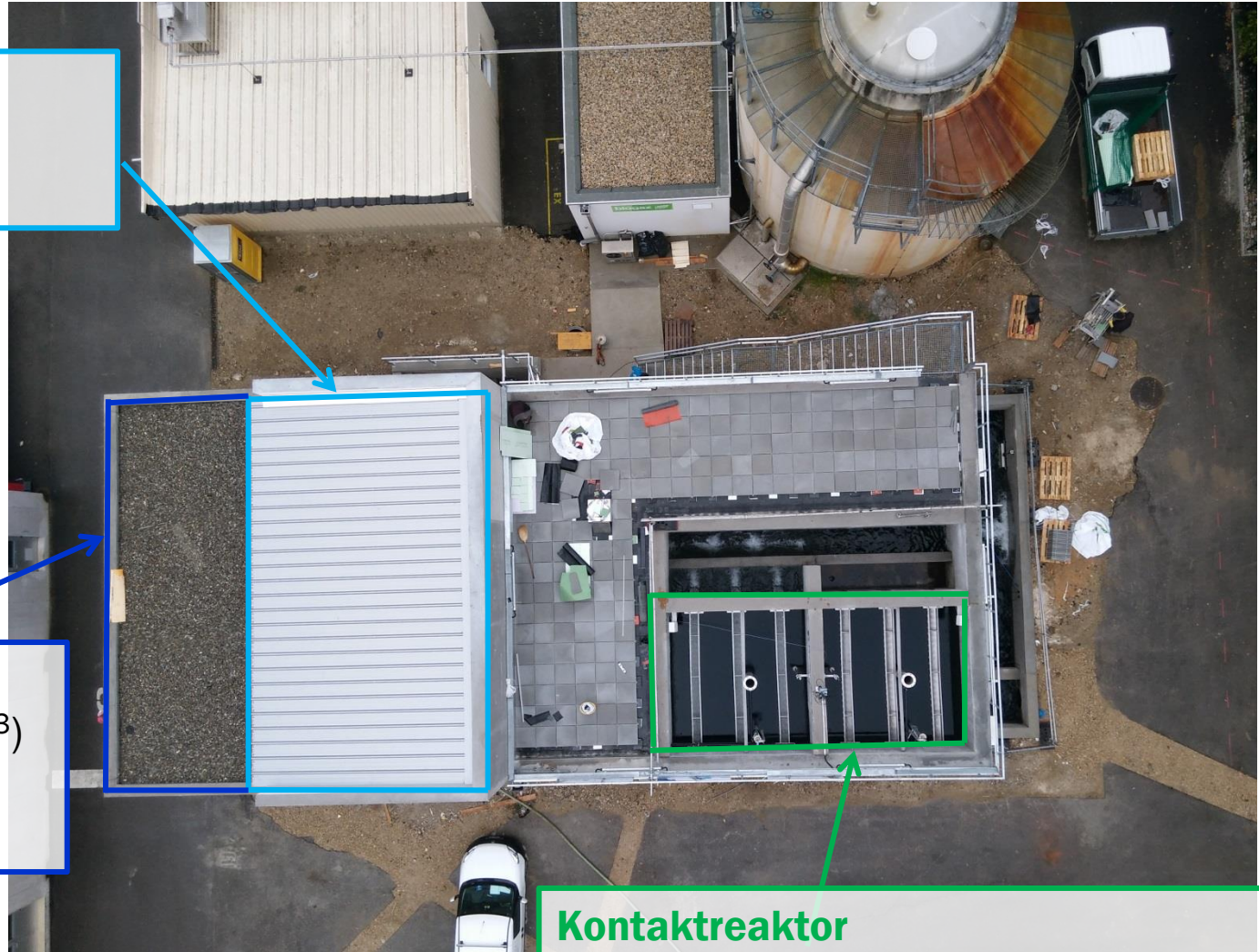
ARA Penthaz

15'000 EW
 $Q_{\max} = 150 \text{ l/s}$
Teilstrom (90 l/s)



Silo (25 m³)
für Lagerung
frische GAK

**Entwässernden
Container** (25 m³)
für Lagerung
beladene GAK



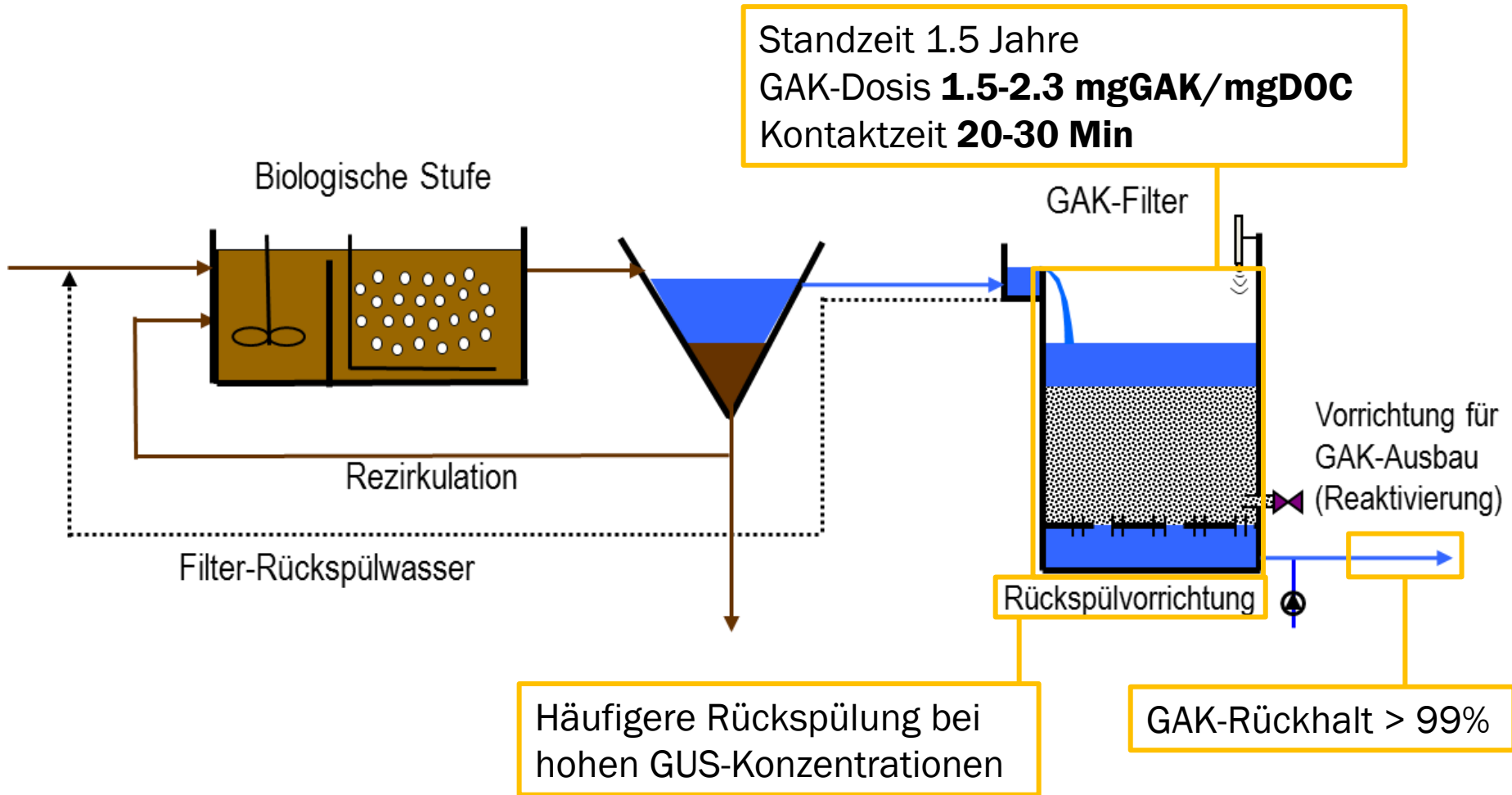
Kontaktreaktor
GAK-Dosis 15 mg/L (**2 mgGAK/mgDOC**)

2-strassig
Inbetriebnahme 2018

Quelle: Triform SA

GAK-Filter

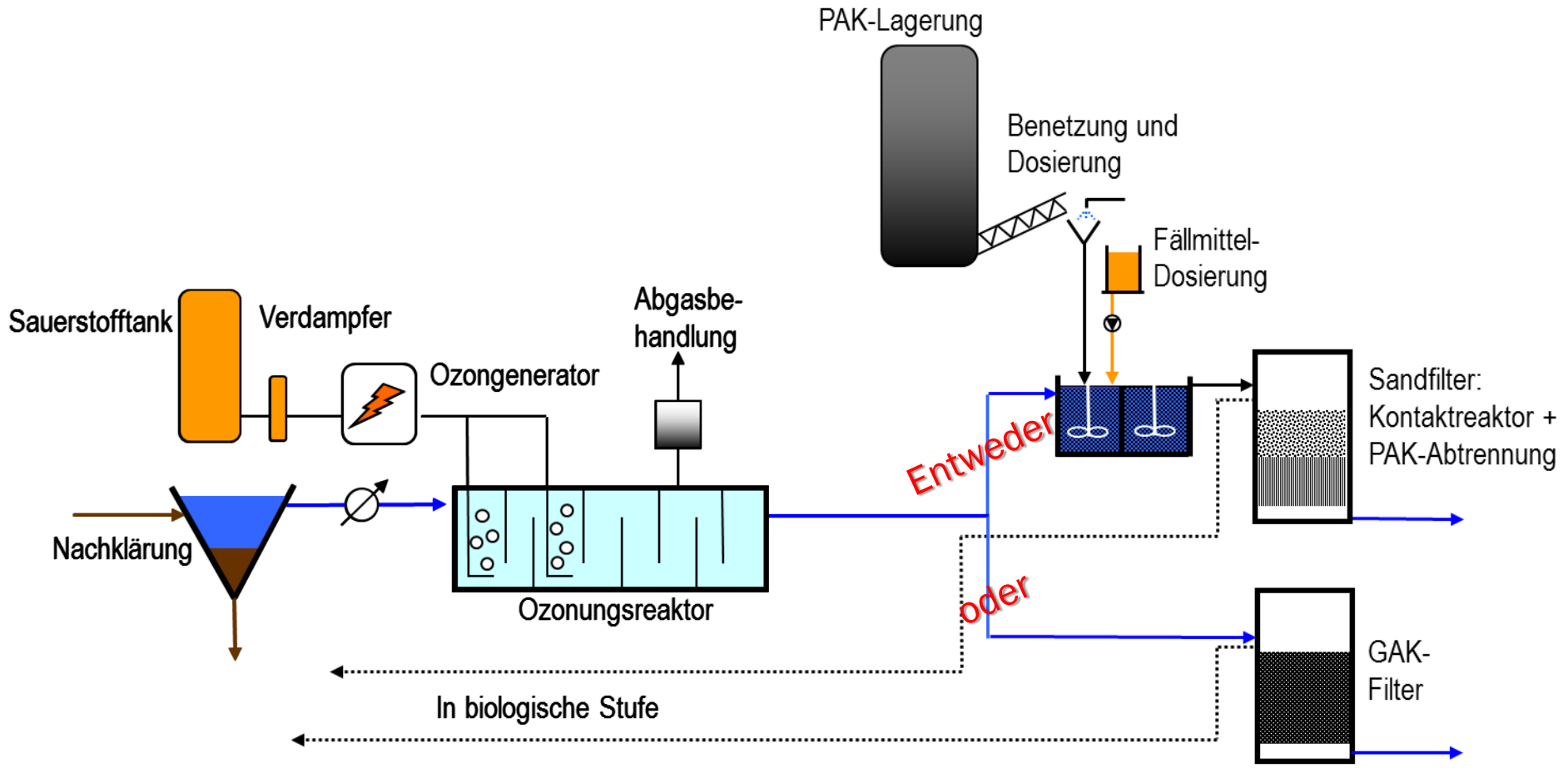
Erkenntnisse für kommunale ARA



- **Fazit Pilotierungen**
 - Gesetzliche Anforderungen bzgl. Spurenstoffelimination können eingehalten werden
 - Unsicherheiten bzgl. Standzeit der GAK (Wirtschaftlichkeit)
- **Reaktivierung der GAK**
 - Reaktivierung in der Schweiz möglich (Batrec)
 - Vorteil: kein Transport ins Ausland nötig
 - GAK-Verlust von 10-20% erwartet
 - CO₂ Emissionen <1/2 von PAK
 - Für eine zukünftige Zusammenarbeit braucht es das Interesse verschiedener Akteure (PAK-Lieferant, Batrec, ARA-Betreiber)

Workshop über Stand GAK-Verfahren im Spätsommer 2019 geplant

Kombination Ozonung + Aktivkohle



Kombination Ozonung + Aktivkohle



- **Ozonung + PAK**
 - Pilotversuch + geplante Realisierung ARA ProRhenno (Basel)
- **Ozonung + GAK**
 - Pilotversuch ARA Glarnerland
 - Pilotversuch ARA Bülach
 - Pilotversuch ARA Langmatt
 - Pilotversuche + Realisierung ARA Altenrhein
- Reduzierte spezifische Ozondosierung (ca. $0.15 \text{ mgO}_3/\text{mgDOC}$)
- Viel Flexibilität
- Komplexität und Betriebsaufwand steigt

Geplante Pilotierungen und offene Fragen



- **Pilotierungen am Laufen/geplant**
 - Superfeine PAK mit Ultrafiltration ARA Châteauneuf (Sion)
 - GAK in Dynasand-Filter ARA Moos (Amriswil)
 - Kombination O_3 + GAK ARA Altenrhein

- **Offene Fragen:**
 - Synthetische GAK
 - PAK-Dosierung auf einen Dynasand-Filter
 - ...

Ausblick

- **Etablierte Verfahren**

- Ozonung
- PAK im Ulmer-Verfahren

?

- **Auf dem Weg zum Standardverfahren**

- PAK vor Sandfilter
- PAK in Biologie
- PAK und Membran

?

- **Weitere Erfahrungen nötig**

- GAK im Wirbelbett
- GAK-Filtration
- Verfahrenskombinationen

Welche Neuerungen sind vielversprechend?

PAK vor Dynasand

DynasandCarbon

PAK in Biofilter/MBBR
mit Polzeistufe