

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



Überblick Verfahrenstechnik und Verfahrenswahl

Julie Grelot, Pascal Wunderlin

VSA Plattform «Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen»

Elimination von Mikroverunreinigungen – 1 Jahr Umsetzung Gewässerschutzgesetzgebung



Vorfluter

Kläranlage



Einzugsgebiet

**Verfahren zur
Spurenstoffelimination**



Ozonung?



Aktivkohle?



Verfahrenskombination

- **Aktueller Stand und Trends?**
- **Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl?**

Aktueller Stand und Trends



Biologisch

Physikalisch

- Nanofiltration
- Umkehrosmose

Adsorption

- PAK Ulm
- GAK

Oxidation

- Ozon
- Ferrat
- AOP*

* advanced oxidation processes

Verfahrenskombination
(Oxidation + Adsorption)

Adsorption

- PAK Ulm
- PAK vor Filter
- PAK in Biologie
- Mikro-GAK
- GAK
- Extrafeine PAK

Oxidation

- Ozon

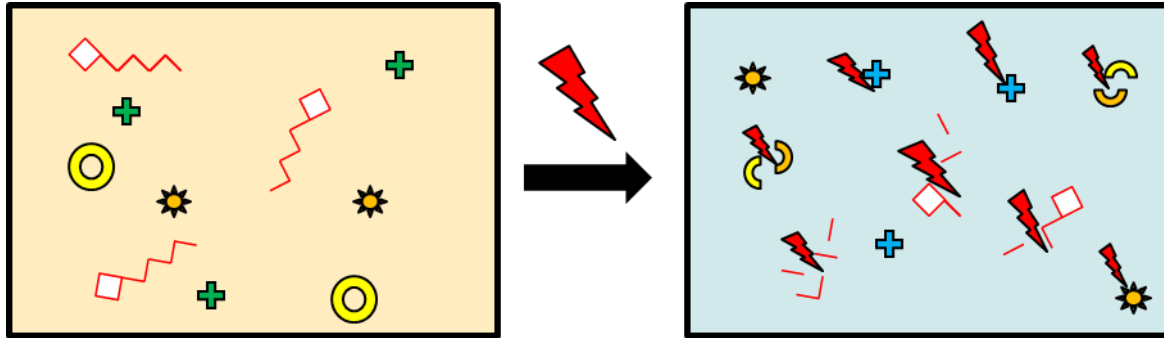
Künftige
Entwicklung?

2000

2016

2040

Allgemeines zur Ozonung



Berücksichtigung der Randbedingungen!

→ Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung (keine übermässige Bildung von problematischen Reaktionsprodukten)

- Die Spurenstoffe werden zerstört → Transformationsprodukte ohne Wirkung
- Übrige Abwasserinhaltsstoffe (organische, anorganische) reagieren ebenfalls mit Ozon → Reaktionsprodukte ohne Wirkung
- In problematischen Abwässern können toxische, persistente Reaktionsprodukte (z.B. Bromat) entstehen → **sorgfältig und frühzeitig abklären**

Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung (Empfehlung des VSA)



Verein Schweizer Abwasser- und Gewässerreinigungsfachleute
 Association suisse des professionnels de la protection des eaux
 Associazione italiana dei professionisti della protezione delle acque
 Swiss Water Association

Europastrasse 37
 Postfach, 8152 Glattbrugg
 sekretariat@vsa.ch
 www.vsa.ch
 T: 043 343 70 70
 F: 043 343 70 71

VSA-Empfehlung
Abklärungen- Verfahrenseignung- Ozonung
 Glattbrugg, 17. November 2016

Hintergrund
 Eine Ozonung als zusätzliche Reinigungsstufe auf einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage (ARA) bewirkt eine deutliche Oxidation und damit eine signifikante Verbesserung der Wasserqualität.

ABKLÄRUNGEN- VERFAHRENS-EIGNUNG- OZONUNG

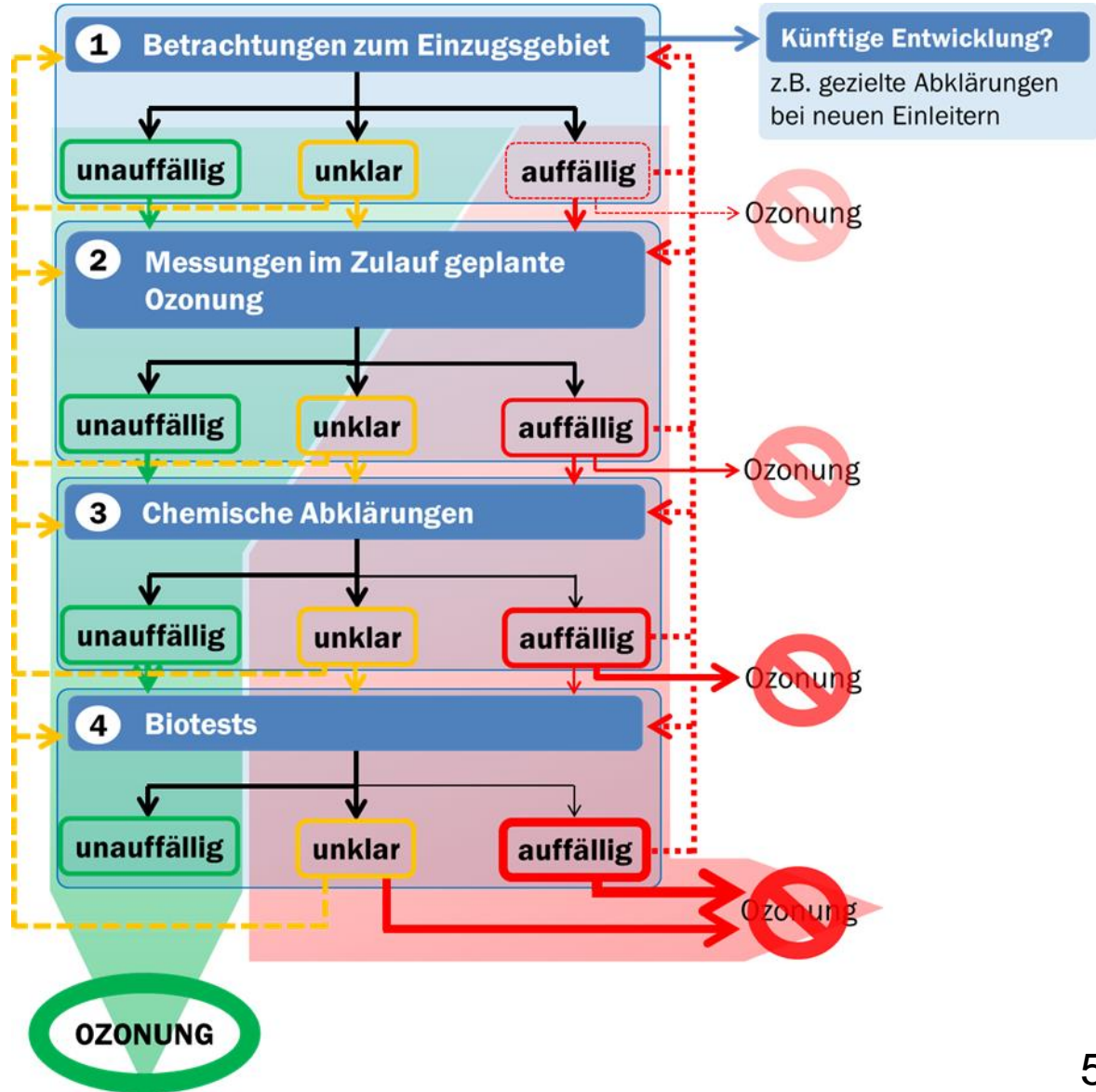
Redaktion P. Wunderlin (VSA)
Fachliche Begleitung Ch. Abegglen (VSA), E. Durisch (AWEL), Ch. Götz (Envilab), A. Joss (EAWAG), C. Kienle (Ökotoxzentrum), M. Langer (Ökotoxzentrum), A. Peter (WVZ), S. Santiago (Solutal), F. Soltermann (EAWAG), U. von Gunten (EAWAG), M. Weik (ECT), S. Zimmermann-Steffens (BAFU)

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 auch vorzeitig abgebrochen werden.

Zusammenfassung
 Mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination der Mikroverunreinigungen wird eine grosse Bandbreite von Stoffen aus dem Abwasser entfernt und die Wasserqualität signifikant verbessert. Als mögliche Verfahren stehen aktuell die Adsorption an Aktivkohle oder die Ozonung zur Verfügung. Es ist bekannt, dass sich gewisse Abwässer nicht für eine Ozonung eignen, insbesondere bei bedeutenden Industrieabwässern. In diesen Fällen können unerwünschte Nebenprodukte in erhöhten Konzentrationen gebildet werden, die vermieden werden müssen. Es ist daher wichtig, sich frühzeitig abzuklären, ob sich ein bestimmtes Abwasser für eine Ozonung eignet oder nicht. Dies ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung, dem pH-Wert, dem Gehalt an organischen Stoffen, den Kosten oder dem Platzbedarf – eine relevante Analyse muss in der Verfahrenswahl mitberücksichtigt werden.

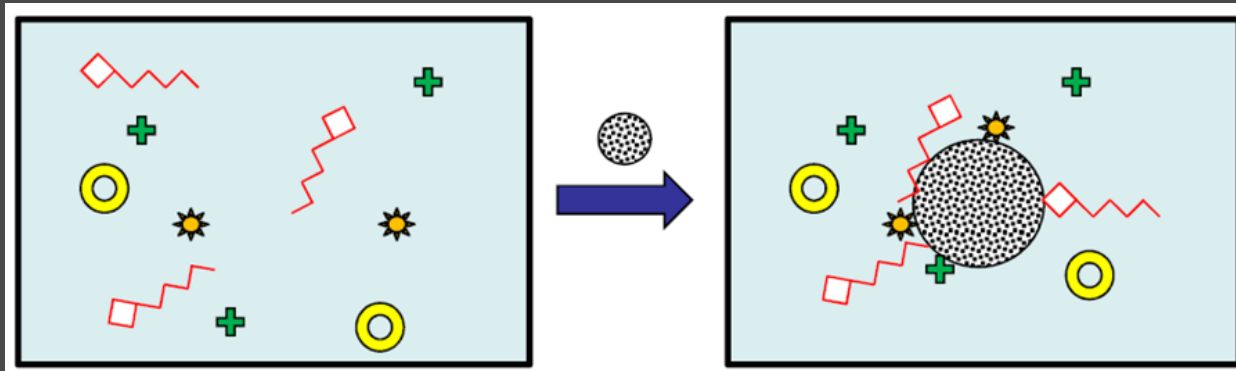
Das Vorgehen bei diesen Abklärungen wird nachfolgend detailliert beschrieben. Die Untersuchungen sind stufenweise aufgebaut und gliedern sich in folgende Bereiche:

- 1) Betrachtungen zum Einzugsgebiet
- 2) Messungen im Zulauf zur geplanten Ozonung
- 3) Abklärungen im Labor
- 4) Biotests



Wird demnächst publiziert

Allgemeines zur Aktivkohle



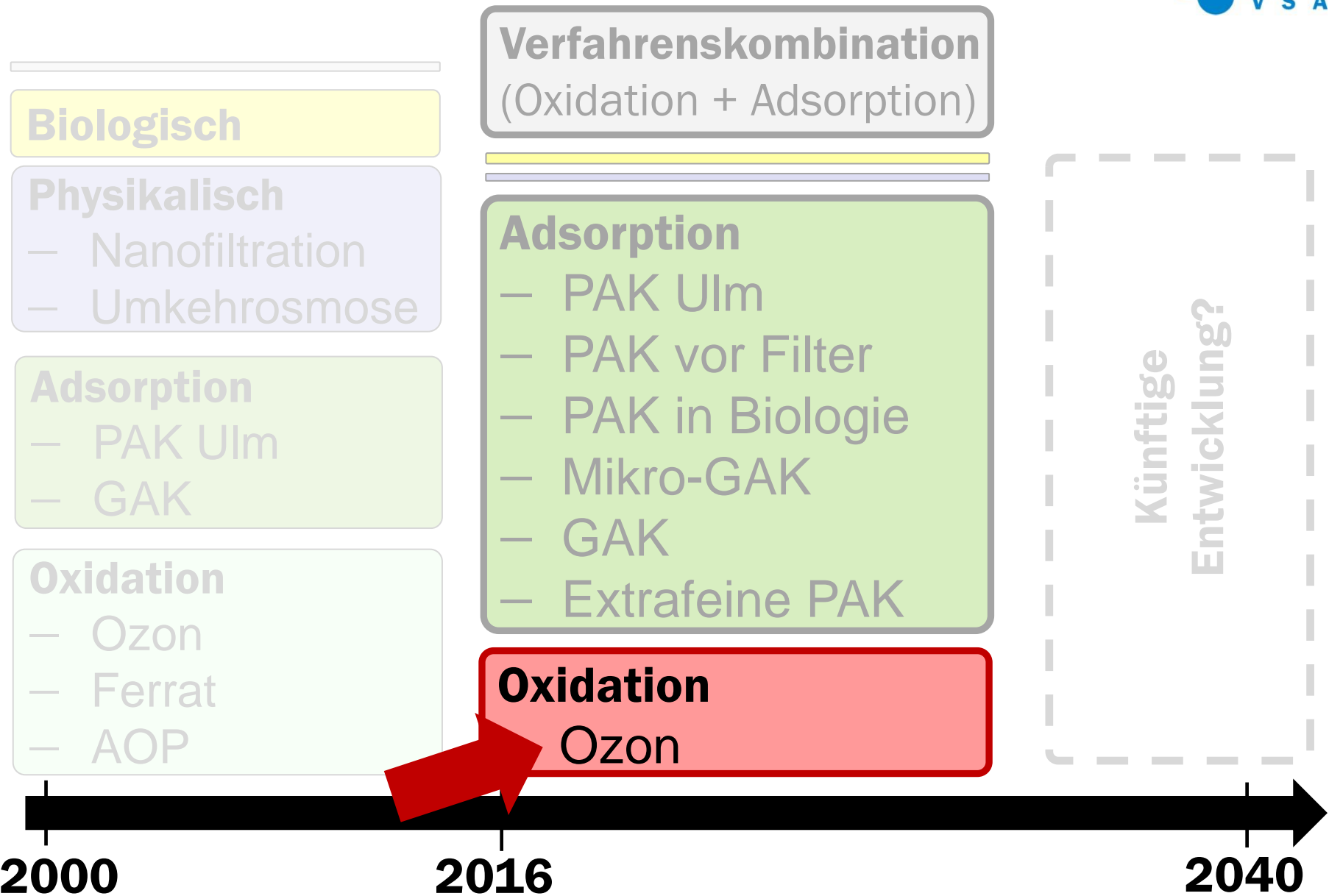
- Spurenstoffe lagern sich an die Aktivkohle an (**Adsorption**)
- Auch andere organische Stoffe lagern sich an die Aktivkohle an (**Konkurrenz**)
- Aktivkohle wird **(i)** in die Biologie zurückgeführt und mit dem Klärschlamm **verbrannt**, oder **(ii) regeneriert und wieder verwendet**.

Die Aktivkohle (PAK, Mikro- GAK) muss möglichst vollständig vom gereinigten Abwasser abgetrennt werden: **Aktivkohle-Schlupf unbedingt so weit wie möglich minimieren.**

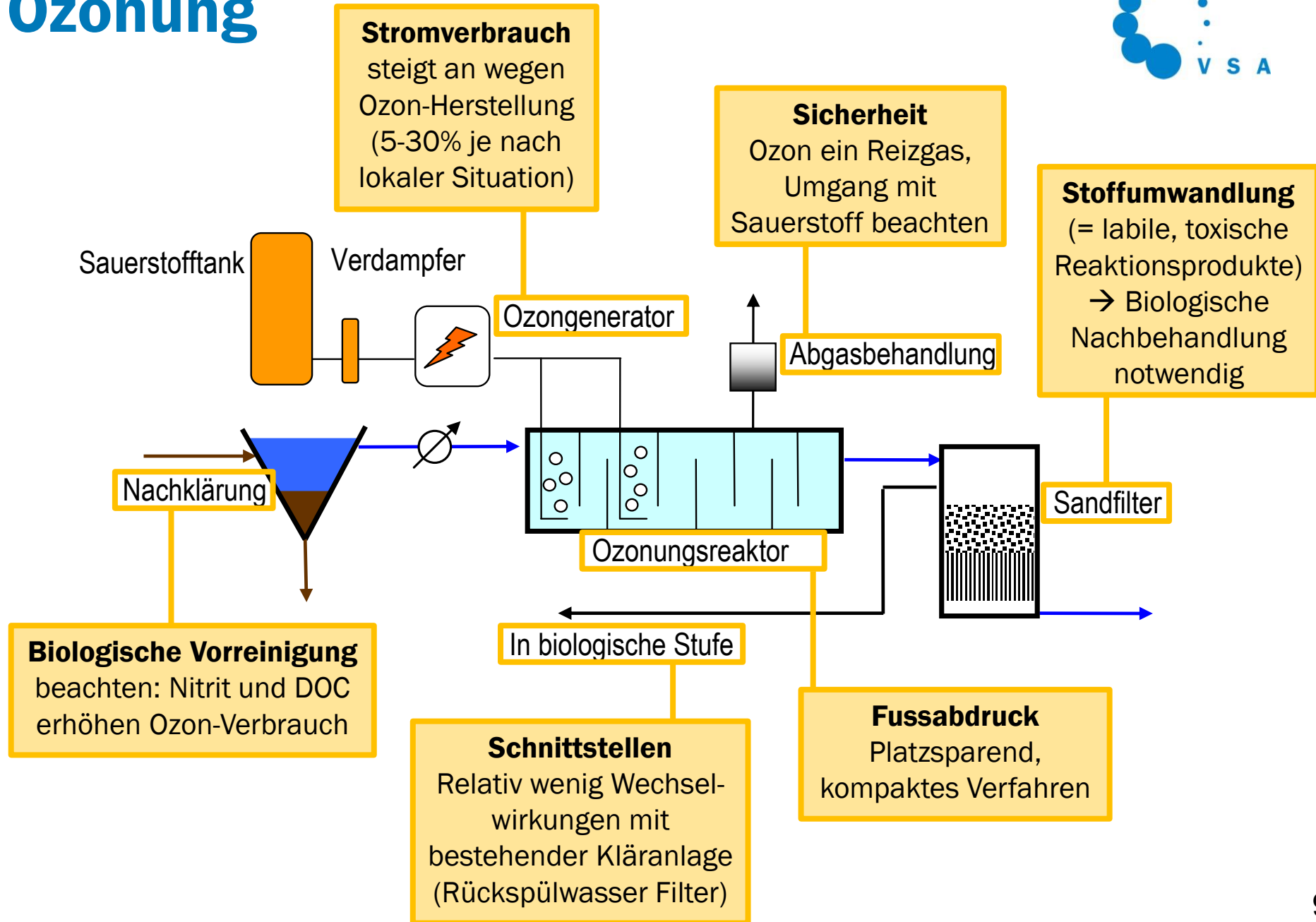
Charakterisierung der Aktivkohle

- ✓ Grosse spezifische Oberfläche: 800-1'200 m²/g
- ✓ Verschiedene Ausgangsrohstoffe: Stein- und Braunkohle, Holz, Torf, verschiedene Fruchtschalen (z.B. Kokosnussschalen)
- ✓ Verschiedenen Produkte und Körnungen
 - Granulierte Aktivkohle (GAK): 0.6-2.4 mm
 - Mikro-granulierte Aktivkohle (Mikro-GAK): 0.3-0.5 mm
 - Pulveraktivkohle (PAK): 20-50 µm
 - «Super»-feine Aktivkohle: < 1 µm
- ✓ Verschiedene Aktivkohle Produkte auf dem Markt:
«herkömmliche» Parameter (wie Iodzahl etc.) im Abwasser nicht aussagekräftig

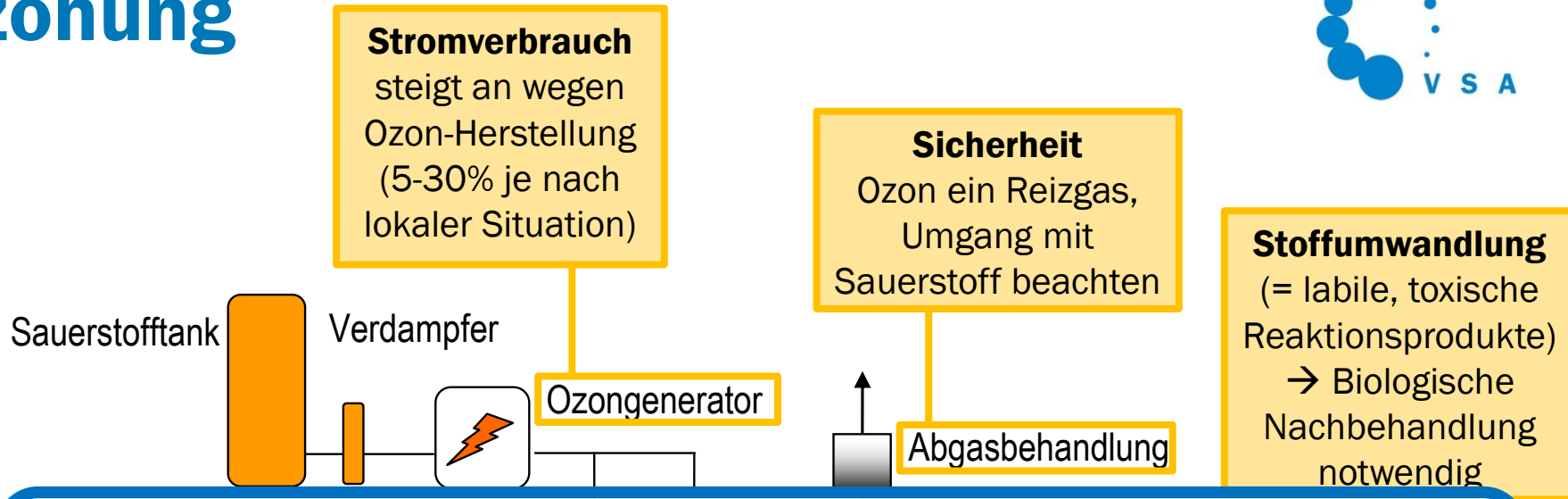
Es ist empfohlen, dass vorgängig mittels Schüttelversuchen das am besten geeignete Aktivkohle-Produkt ausgewählt wird (z.B. anhand UV_{254nm}-Absorbanz-Abnahme).



Ozonung



Ozonung



- ✓ **Erprobtes Verfahren mit bereits relativ viel Erfahrung**
- ✓ Eine biologisch aktive Nachbehandlung ist notwendig, zur Elimination von labilen, toxischen Reaktionsprodukten
- ✓ Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung frühzeitig durchführen
- ✓ Betrieb Ozonung mit geeignetem «Überwachungskonzept» (gewisse Einschränkung der Entwicklungen von Industriegebieten im Einzugsgebiet).

Biologische Nachbehandlung
erhöhen Ozonverbrauch

bestehender Kläranlage
(Rückspülwasser Filter)

ARA Neugut

The pathway to clean water ...

Ozonreaktor

Sauerstofftank



(Quelle: www.neugut.ch)

Bau Ozonung Klärwerk Werdhölzli



Webcam anmelden

Webcam kaufen

Webcam oder Ort suchen...



Wetter Webcam Zürich (Zürich, Zürichsee)

Schweiz > Zürich > Zürich



Dia-Show

02.02.2017 ▾

- 13:30
- 13:42
- 13:54
- 14:06
- 14:12
- 14:24
- 14:30
- 14:42
- 14:54
- 15:00**
- 15:12
- 15:24
- 15:30
- 15:42
- 15:54
- 16:00
- 16:12
- 16:24
- 16:30
- 16:42
- 16:54
- 17:00
- 17:12
- 17:24
- 17:36
- 17:42
- 17:54



Bau Ozonung Klärwerk Werdhölzli



Webcam anmelden Webcam kaufen Webcam oder Ort suchen...

Wetter Webcam Zürich (Zürich, Zürichsee)

Schweiz > Zürich > Zürich

Technology by www.sietec.ch 02.02.2017 15:00:01

7.9°C

Weitere Projekte in der Realisierungsphase:

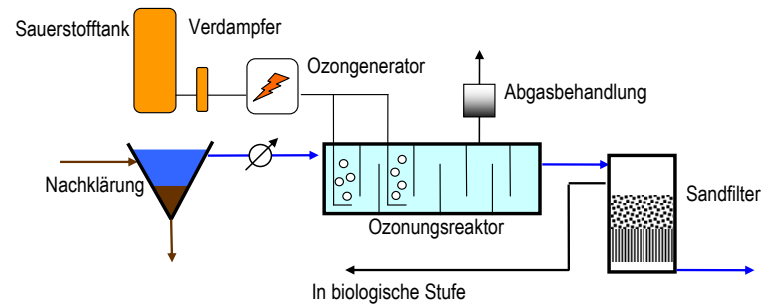
- Oberwynental (O₃-SF): in Betrieb (seit Herbst 2016)
- Kloten-Opfikon (O₃-SF): in Planung
- Morgental (O₃-SF): in Planung
- Neuchâtel (O₃-SF): in Planung
- Porrentruy (O₃-SF): in Planung
- ...

Dia-Show

02.02.2017 ▾

13:30
13:42
13:54
14:06
14:12
14:24
14:30
14:42
14:54
15:00
15:12
15:24
15:36
15:48
15:59
16:00
16:12
16:24
16:36
16:48
16:59
17:00
17:12
17:24
17:36
17:48

Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl

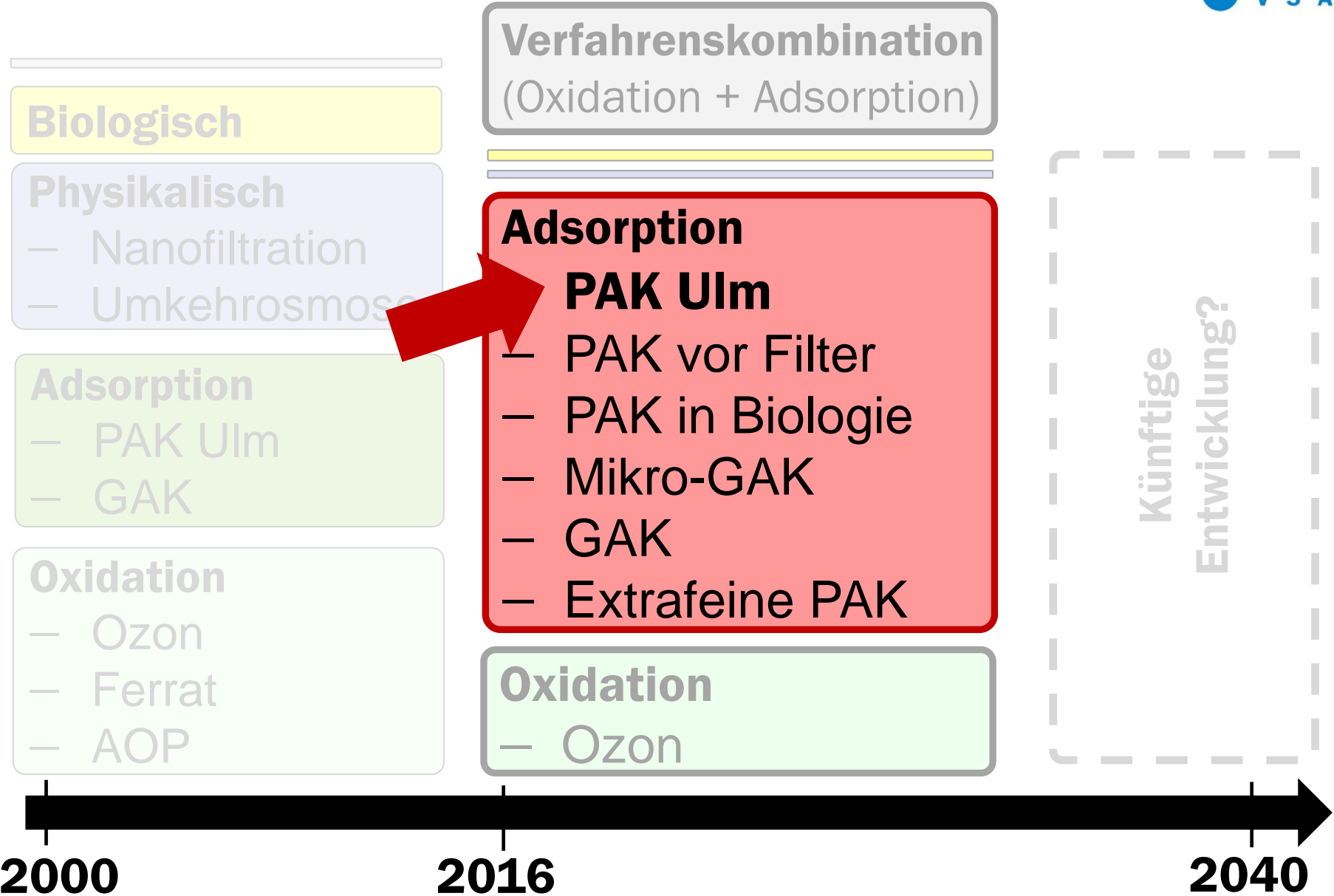


Vorfluter

Kläranlage

**Einzugs-
gebiet**

- **Bildung Oxidationsnebenprodukte minimal**
- Trinkwasserfassung unterliegend?
- **Biologisches Reinigungsverfahren** (periodische NO_2^- Spitzen, erhöhte DOC-Ablaufwerte)?
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Filter)?
- Baugrund?
- Abwasserzusammensetzung?
- Industrien? Welche? Anteil? Einfluss?
- Künftige Entwicklung?
- **Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung**



PAK («Ulmer Verfahren»)



Einfluss auf Biologie

→ ausreichende Kapazität in der Biologie für PAK-Rückführung
→ Schlammvolumenindex wird tendenziell besser, wenn vorher schlecht

Herzstück der Anlage

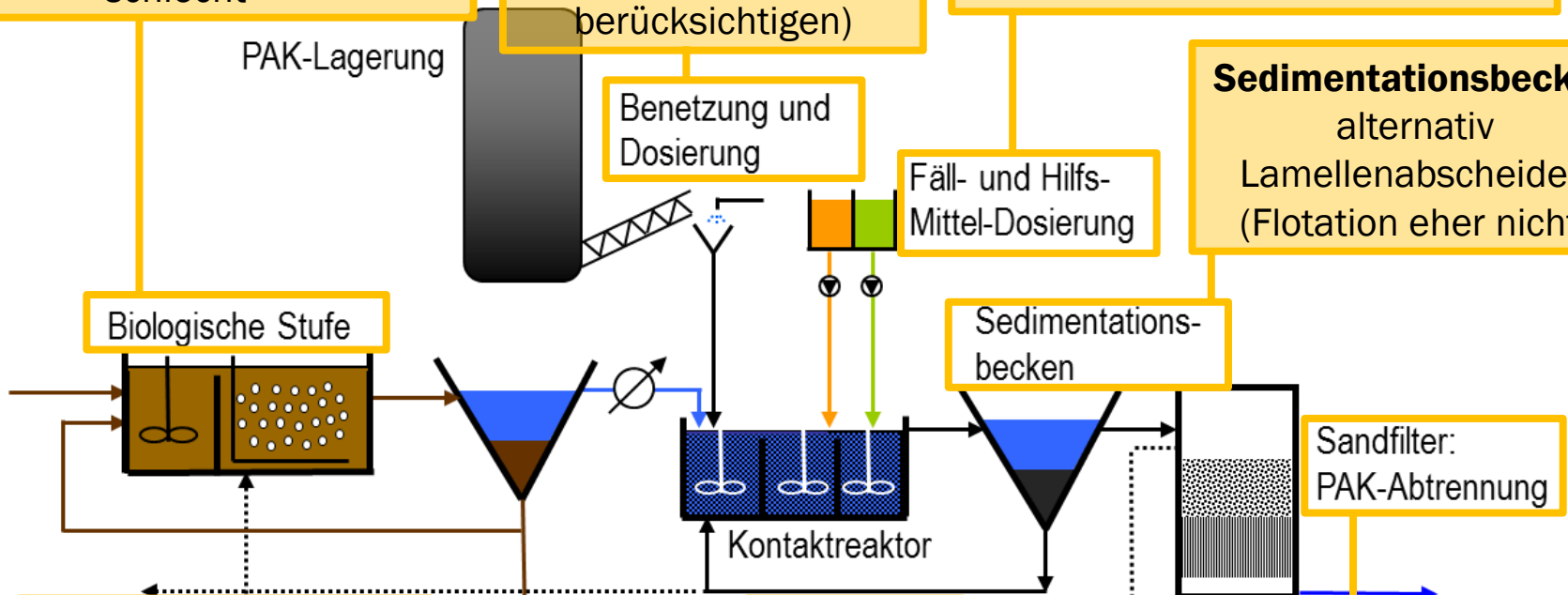
kann am Anfang Probleme verursachen (sicherheitstechnische Aspekte im Umgang mit PAK berücksichtigen)

Entscheidend für Flockenausbildung

Ort der Dosierung und Produkt

Sedimentationsbecken

alternativ Lamellenabscheider;
(Flotation eher nicht)



Biologische Stufe

Benetzung und Dosierung

Fäll- und Hilfsmittel-Dosierung

Sedimentationsbecken

Sandfilter: PAK-Abtrennung

Kontaktreaktor

Überschuss: Rezirkulation oder Entsorgung

Rezirkulation

Filter-Rückspülwasser

Schnittstellen

relativ grosse Wechselwirkungen mit bestehender Anlage; insgesamt keine negativen Auswirkungen der PAK

Abrasion

der Pumpen und Leitungen bis jetzt nicht festgestellt

PAK-Abtrennung

grosse Verfahrensvielfalt (Sandfilter, Tuchfilter als Polizeistufe geeignet und erprobt) → positive Zusatzeffekte durch Sandfiltration

PAK («Ulmer Verfahren»)



Einfluss auf Biologie

→ ausreichende Kapazität in der Biologie für PAK-Rückführung
→ Schlammvolumenindex wird tendenziell besser, wenn vorher schlecht

Herzstück der Anlage

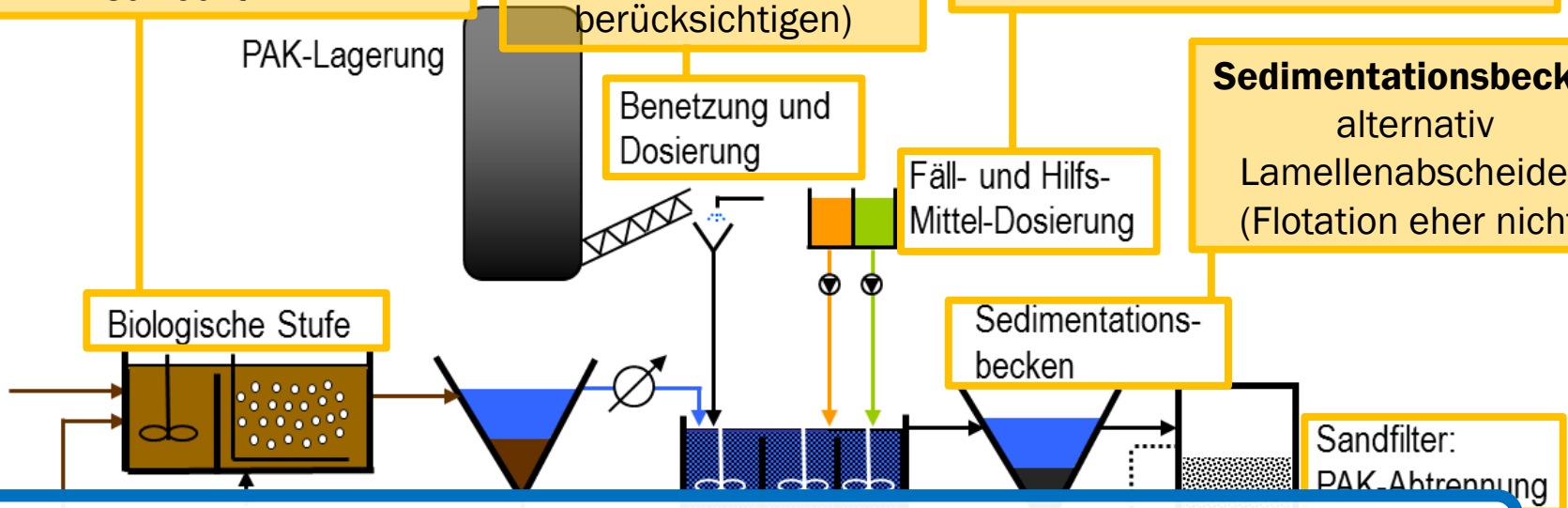
kann am Anfang Probleme verursachen (sicherheitstechnische Aspekte im Umgang mit PAK berücksichtigen)

Entscheidend für Flockenausbildung

Ort der Dosierung und Produkt

Sedimentationsbecken

alternativ Lamellenabscheider; (Flotation eher nicht)



- ✓ **Ein gutes, robustes und bewährtes Verfahren**
- ✓ Sehr viele grosstechnische Erfahrungen vorhanden, da bereits einige Anlagen in Betrieb (z.B. Baden-Württemberg, D)

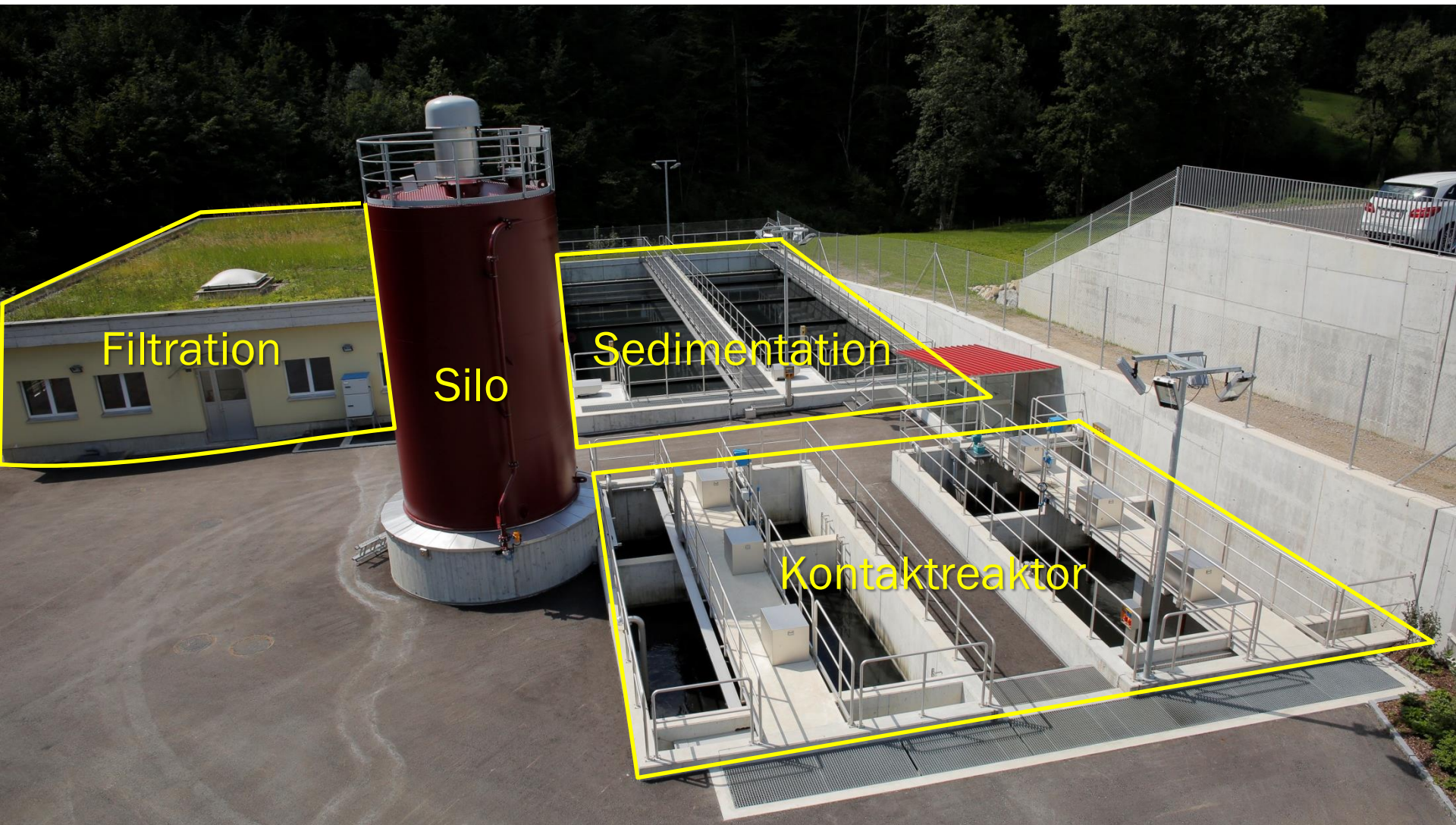
relativ
mit bestehender Anlage;
insgesamt keine negativen
Auswirkungen der PAK

Abrasion
der Pumpen und Leitungen
bis jetzt nicht festgestellt

PAK-Abtrennung
grosse Verfahrensvielfalt
(Sandfilter, Tuchfilter als
Polizei-
stufe geeignet und erprobt) →
positive Zusatzeffekte durch
Sandfiltration

Kläranlage Bachwis, Herisau

Erste Schweizer Pulveraktivkohle-Stufe



PAK-Stufe ARA Thunersee



Baustellenansicht 01.02.2017



<http://www.arathunersee.ch/anlage/pak/>

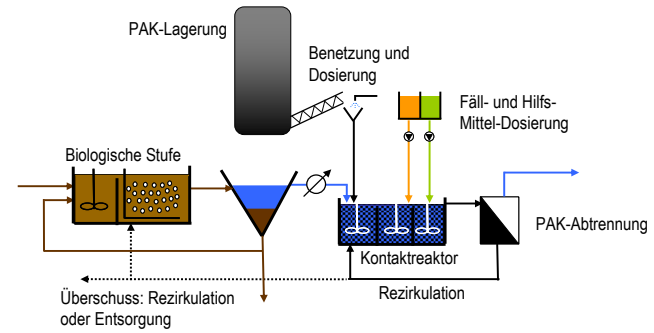
Baustellenansicht 01.02.2017



Weitere Projekte in der Realisierungsphase:

- Fehraltorf (PAK-Ulm): in Planung
- ...

Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl

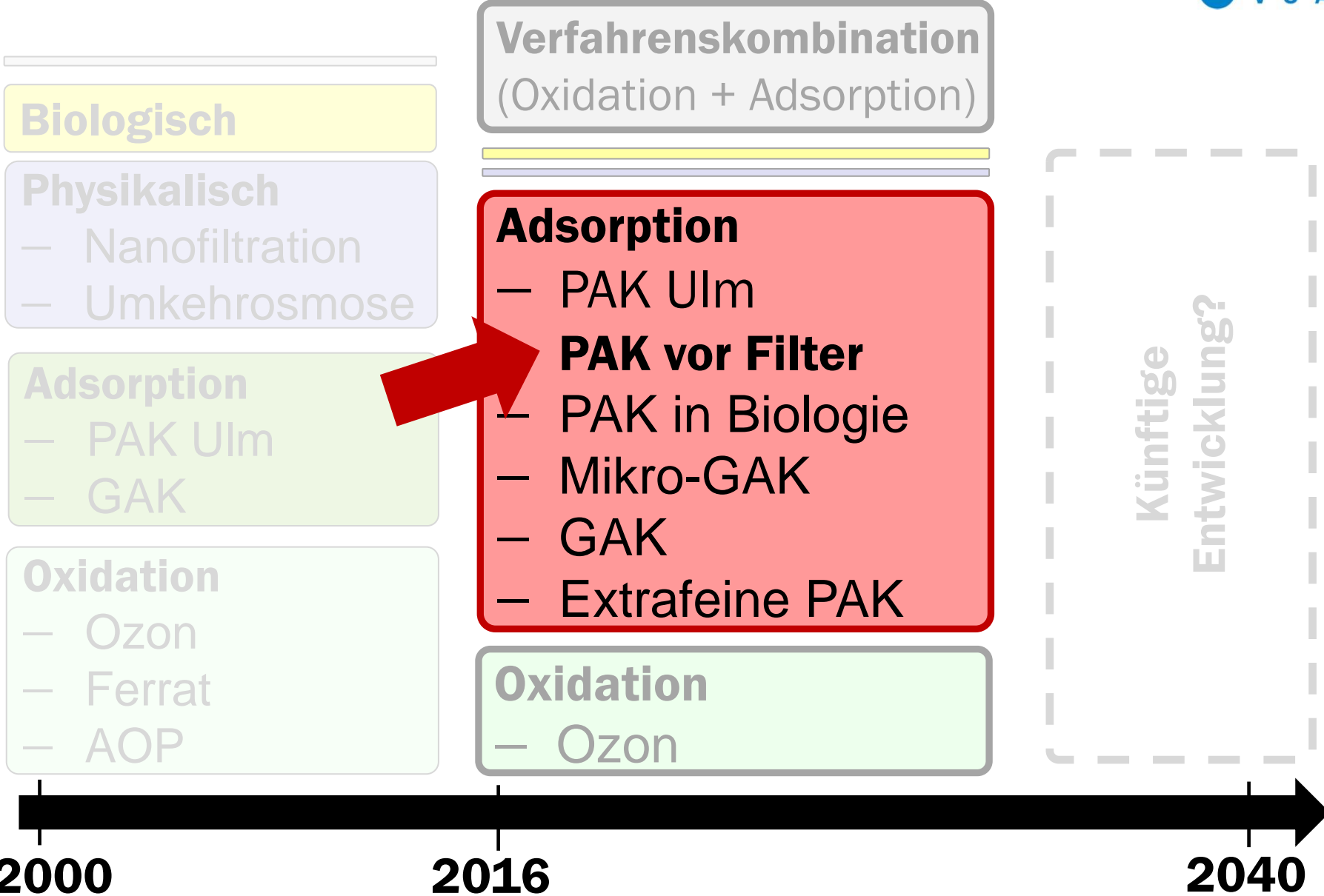


Vorfluter

Kläranlage

**Einzugs-
gebiet**

- **Aktivkohle-Schlupf minimieren**
- **Biologisches Reinigungsverfahren** (ausreichend Kapazität für PAK-Rückführung)?
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Kontakt, Sedimentationsbecken, Filter)?
- **Ausreichend Platz vorhanden?**
- **CSB-Spitzen, periodische Verfärbung des Abwassers?** (Effiziente Elimination mit Aktivkohle)



PAK vor Sand-Filter



PAK-Dosierung
→ PAK-Verbrauch vergleichbar mit Ulmer-Verfahren (1.7-2mgPAK/mgDOC)

Flockungsprozess
sehr wichtig für Einlagerung und Rückhalt der Kohle im Filter (d.h. nicht zu hohe Turbulenzen, kaskadierte Flockung), Fällmittel, kein FHM

Einfluss auf Biologie
→ ausreichende Kapazität in der Biologie für PAK-Rückführung
→ Schlammvolumenindex wird tendenziell besser, wenn vorher schlecht

Benetzung und Dosierung

Fäll- und Hilfs-Mittel-Dosierung

Biologische Stufe

Sedimentations-becken

Sandfilter: PAK-Abtrennung

Kontaktreaktor

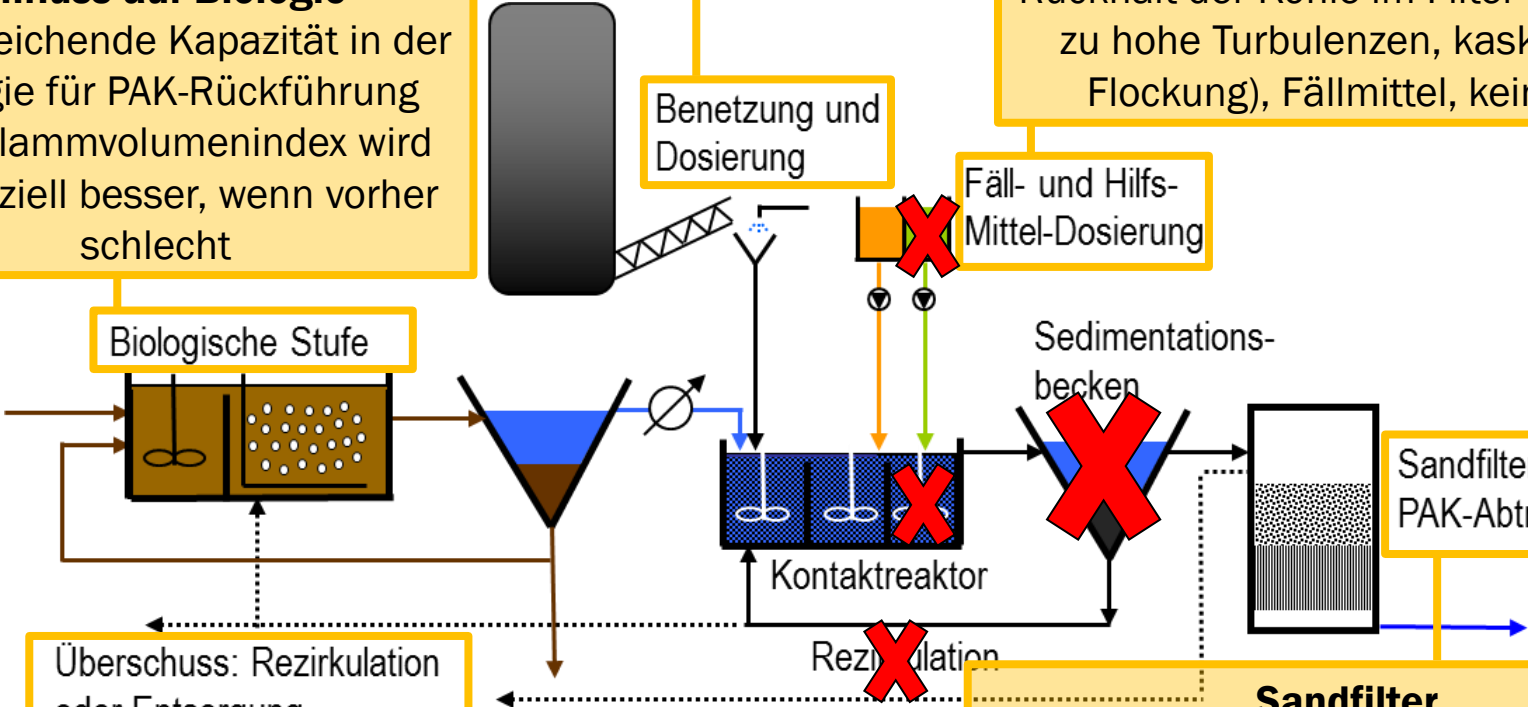
Überschuss: Rezirkulation oder Entsorgung

Rezirkulation

Sandfilter

Schnittstellen
relativ grosse Wechselwirkungen mit bestehender Anlage (z.B. ausreichend Reserven in Biologie)

diskontinuierlich rückgespülter 2-Schicht-Sandfilter (PAK-Rückhalt und Kontaktzone)
10-20min Aufenthaltszeit im Flockungs- und Kontaktreaktor bei Q_{max}



PAK vor Sand-Filter



PAK-Dosierung

→ PAK-Verbrauch vergleichbar mit Ulmer-Verfahren (1.7-2mgPAK/mgDOC)

Einfluss auf Biologie

→ ausreichende Kapazität in der Biologie für PAK-Rückführung
→ Schmutzindexwertschwankungen
tenden

Benetzung und

Flockungsprozess

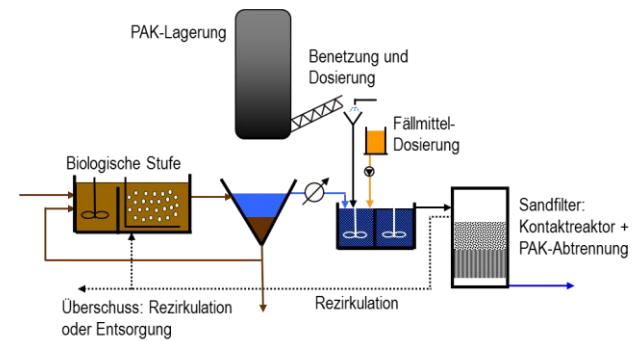
sehr wichtig für Einlagerung und Rückhalt der Kohle im Filter (d.h. nicht zu hohe Turbulenzen, kaskadierte Flockung), Fällmittel, kein FHM

- ✓ Geringer Platzbedarf
- ✓ Bisherige Erfahrungen (PAK-Rückhalt, Rückspülverhalten) sind sehr gut, aber noch nicht Standard
- ✓ Grosstechnische Umsetzungen laufen, d.h. **auf dem Weg zum Standardverfahren:**
 - Schönau-Cham (Möglichkeit der Direktdosierung in die Biologie)
 - La Chaux-de-Fonds
 - Lachen-Untermarch

relativ grosse Wechselwirkungen mit bestehender Anlage (z.B. ausreichend Reserven in Biologie)

10-20min Aufenthaltszeit im Flockungs- und Kontaktreaktor bei Q_{max}

Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl



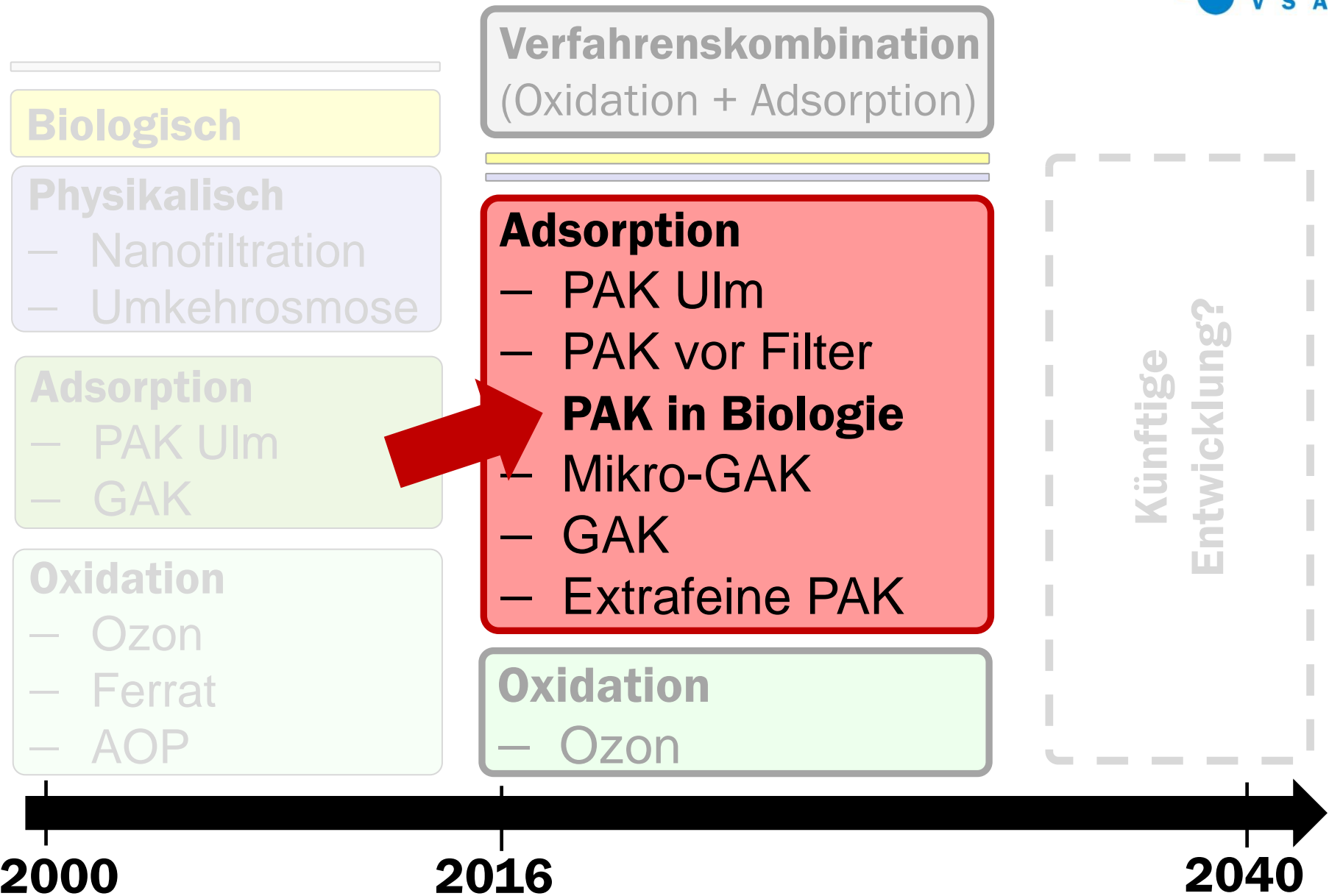
Vorfluter

Kläranlage



**Einzugs-
gebiet**

- **Aktivkohle-Schlupf minimieren**
- Biologisches Reinigungsverfahren (ausreichend Kapazität für PAK-Rückführung)?
- **Geringer Platzbedarf**
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Flockungsreaktor, Sand-Filter)?
- CSB-Spitzen, periodische Verfärbung des Abwassers? (Effiziente Elimination mit Aktivkohle)



PAK in die (Membran-)Biologie

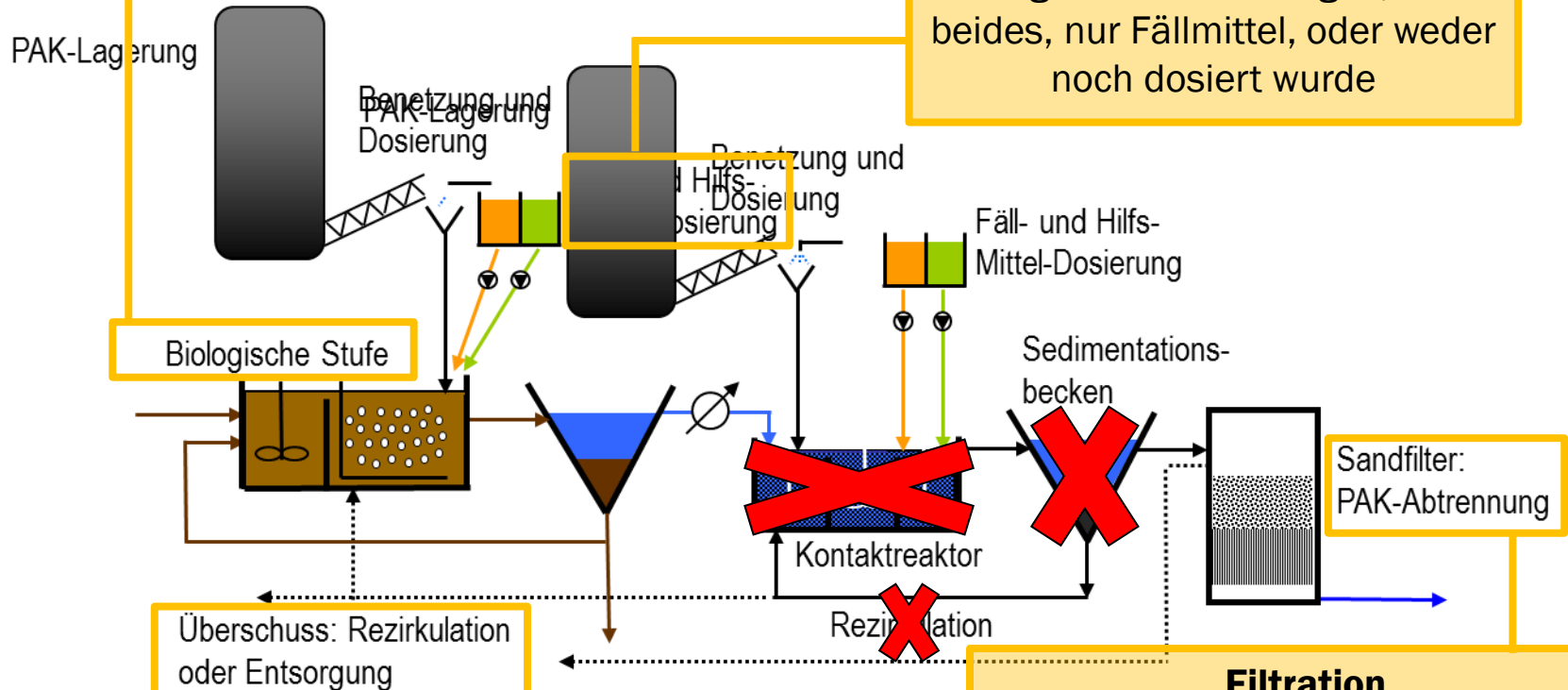


Einfluss auf Biologie

- Durch PAK-Rückführung in Biologie ausreichend Kapazität notwendig
- Schlammvolumen-index wird tendenziell besser, wenn vorher schlecht

Fallspezifisch entscheiden

es gab Untersuchungen, wo beides, nur Fällmittel, oder weder noch dosiert wurde



Schnittstellen

relativ grosse Wechselwirkungen mit bestehender Anlage

Filtration

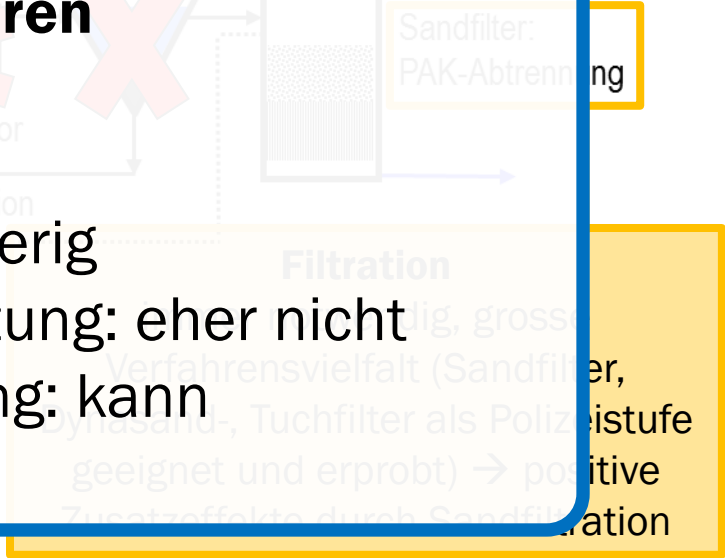
immer notwendig, grosse Verfahrensvielfalt (Sandfilter, Dynasand-, Tuchfilter als Polzeistufe geeignet und erprobt) → positive Zusatzeffekte durch Sandfiltration

PAK in die (Membran-)Biologie

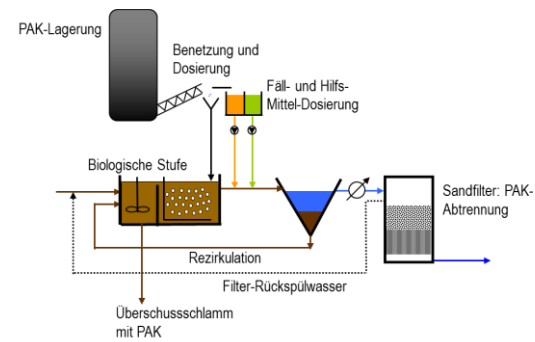


Einfluss auf Biologie

-
- ✓ Für kleiner/mittlere ARA (<50'000 EW) mit tiefem DOC im Ablauf (<5mg/L), und vorhandener Kapazität in der Biologie
-
- ✓ Tendenziell höherer PAK-Verbrauch: ~3 gPAK/gDOC (PAK-Verbrauch bei MBR jedoch tiefer im Bereich von 2gPAK/gDOC, da feinere PAK verwendet werden kann → Versuche LeLocle)
- ✓ Geringe Investitions-, höhere Betriebskosten
- ✓ **Auf dem Weg zum Standardverfahren**
- ✓ Eignung von Biofilmsystemen:
 - Biofilter → Einschätzung: schwierig
 - Wirbelbett (MBBR) → Einschätzung: eher nicht
 - Hybridwirbelbett → Einschätzung: kann funktionieren, Testbedarf



Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl



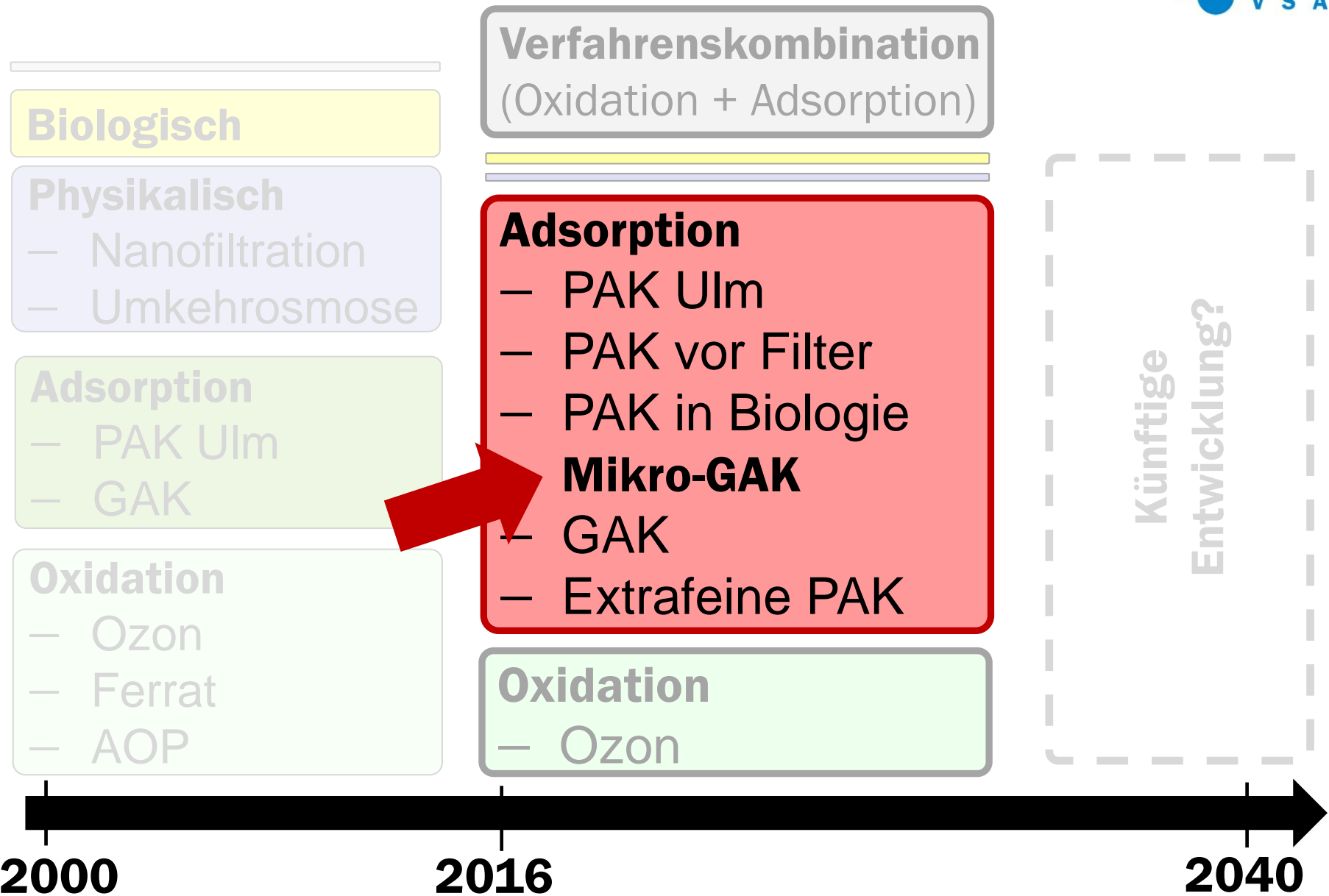
Vorfluter

Kläranlage



**Einzugs-
gebiet**

- **Aktivkohle-Schlupf minimieren**
- Biologisches Reinigungsverfahren (**DOC-Ablaufwerte tief?**)
- **Ausreichend Kapazität in der Biologie für PAK-Zugabe?**
- **Geeignetes biologisches Verfahren?**
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Sand-Filter)?
- CSB-Spitzen, periodische Verfärbung des Abwassers? (Effiziente Elimination mit Aktivkohle)



Mikro-granulierte Aktivkohle (μ GAK)



Zugabe Frischkohle
die Zugabe erfolgt
«Batchweise»
→ vorgängig Feinanteile
auswaschen (sehr wichtig
gegen Kohle-Schlupf)

Kohlerückhalt
Kohlerückhalt vermutlich
ausreichend ohne
zusätzliche Filtration

Rezirkulation
«Filtergeschwindigkeiten» im
Bereich von 7-15m/h damit
Kohlebett in Schwebelagerung
von Kohle abhängig:
Körnung, Dichte, etc.)

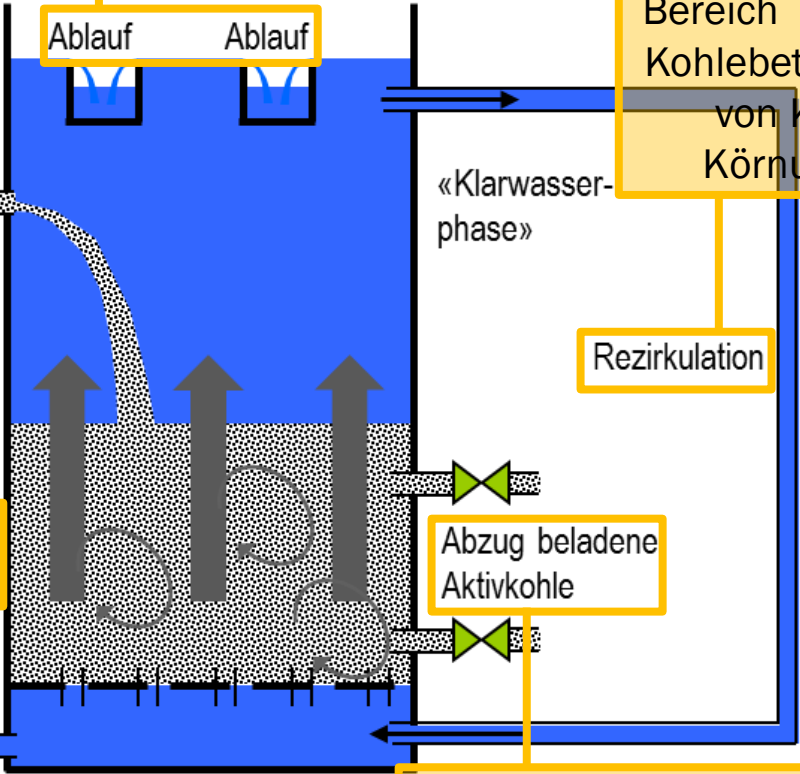
Zulaufqualität
GUS lagert sich
tendenziell im Kohlebett
ein (unerwünscht) → bis
10mg/L GUS eher keine
Vorfiltration notwendig

Zugabe frische
Aktivkohle

Mikro-GAK
(μ GAK)

Abzug beladene
Aktivkohle

Zulauf



Mikro-GAK
→ Relativ grosse Kohlemenge (zirka 300 g/L) im System
(mit hohem Kohlealter von durchschnittlich 90-100 Tagen)
→ Kontaktzeit: 8-17 Minuten

Regeneration Mikro-GAK
→ diskontinuierlicher Kohleabzug
→ die Kohle wird nicht die Biologie
zurückgeführt, sondern regeneriert und
wieder verwendet

Mikro-granulierte Aktivkohle (μ GAK)



Zugabe Frischkohle

die Zugabe erfolgt

«Batchweise»

→ vorgängig
auswaschen (sehr wichtig)
gegen

Kohlerückhalt

Kohlerückhalt vermutlich
ausreichend ohne
zusätzliche Filtration

Rezirkulation

«Wartungsarbeiten» im
7-15 m/h damit
Schwabe (stark
hängig:
e, etc.)

- ✓ Pilotierung zeigt: **Technisch interessant und machbar, aber auch noch Unsicherheiten bei grosstechnischer Umsetzung** (z.B. Wartungsaufwand, Betriebskosten, Effizienz des Kohlerückhalts)
- ✓ Vorfiltration, zusätzlicher Kohle-Rückhalt («Polizei-Stufe»): zu überprüfen
- ✓ Grosstechnische Umsetzung als nächster Schritt:
 - Penthaz
 - (Pilotierung: ARA Penthaz, ARA Langmatt)

Zusatz GUS

tendenziell
ein (unern
10mg/L G
Vorfiltrat

Mikro-GAK

→ Relativ grosse Kohlemenge (zirka 300 g/L) im System
(mit hohem Kohlealter von durchschnittlich 90-100 Tagen)
→ Kontaktzeit: 8-17 Minuten

Regeneration Mikro-GAK

→ diskontinuierlicher Kohleabzug
→ die Kohle wird nicht die Biologie
zurückgeführt, sondern regeneriert und
wieder verwendet

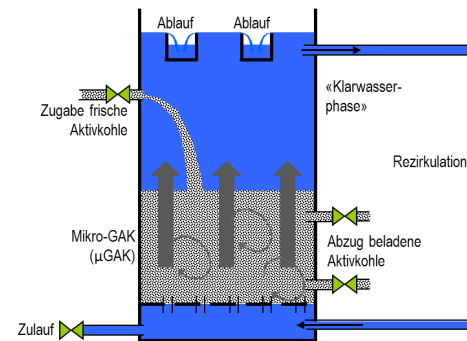
Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl

Vorfluter

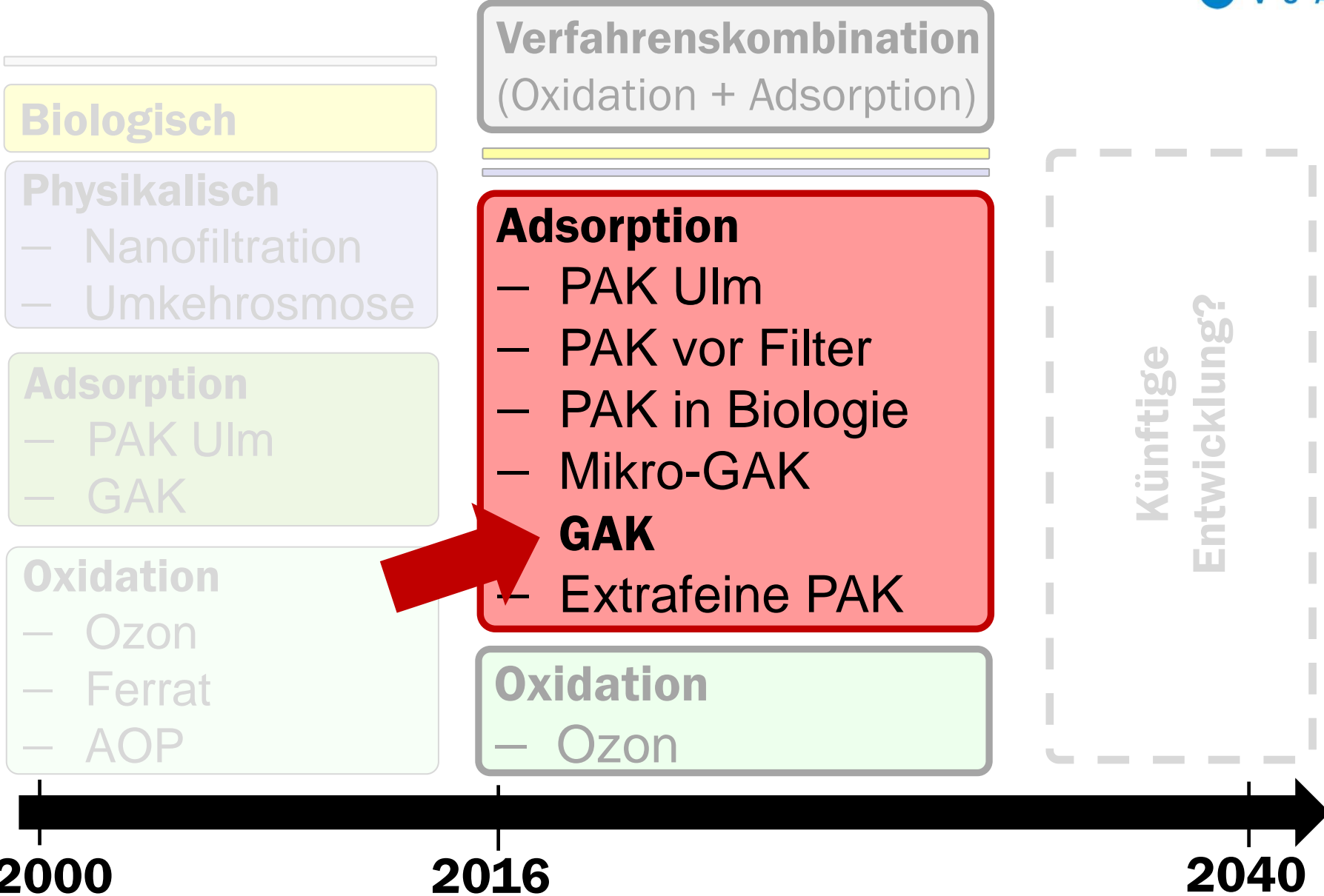
Kläranlage



Einzugsgebiet



- **Aktivkohle-Schlupf minimieren**
- Biologisches Reinigungsverfahren (DOC-Werte im Zulauf zum Filter tief?)
- **Feststoffabtrennung in Nachklärung (GUS-Werte im Zulauf zum Filter tief?)**
- CSB-Spitzen, periodische Verfärbung des Abwassers? (Effiziente Elimination mit Aktivkohle)



Granulierte Aktivkohle (GAK)



Biologische Vorreinigung

DOC- und GUS-Konzentrationen sind wichtige Randbedingungen: → DOC führt zur Beladung der Aktivkohle → GUS zu höheren Filtrerrückspülintervallen

Auslegung GAK-Filter

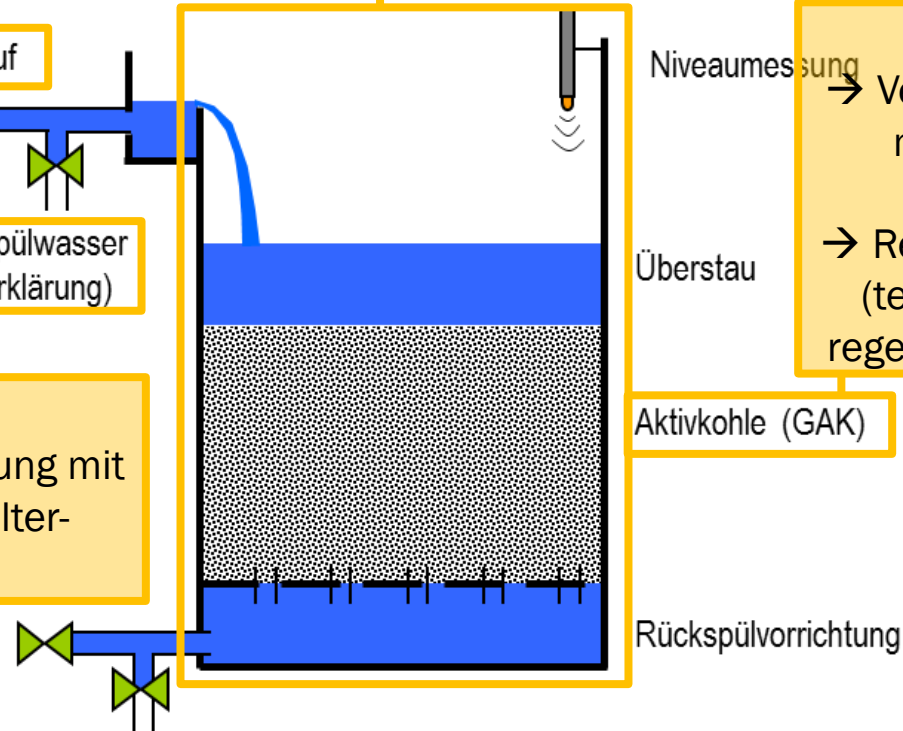
Kontaktzeit entscheidend, daher etwas andere Auslegung als Sandfilter → d.h. tendenziell grössere Filter notwendig, ABER: im Moment noch zu wenig Sicherheit → d.h. Investitions- und Betriebskosten unsicher

Zulauf

Rückspülwasser (zu Vorklärung)

Schnittstellen

relativ wenig Wechselwirkung mit bestehender Anlage (Filter-Rückspülwasser)



GAK

→ Verschiedene Produkte mit verschiedenen Körnungen
→ Regeneration der Kohle (teurer, wenn häufiger regeneriert werden muss)

Granulierte Aktivkohle (GAK)



Biologische Vorreinigung

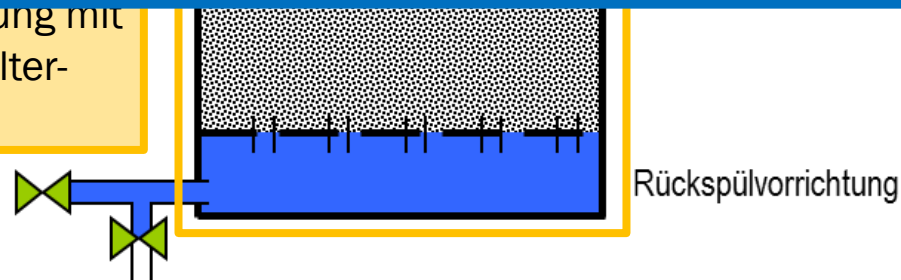
DOC- und GUS-Konzentrationen sind wichtige Randbedingungen: → DOC führt zur Beladung der Aktivkohle
→ GUS zu höheren

Auslegung GAK-Filter

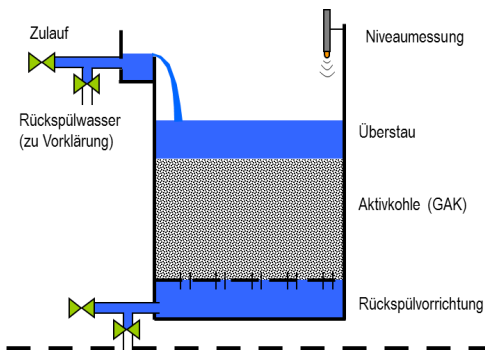
Kontaktzeit entscheidend, daher etwas andere Auslegung als Sandfilter
→ d.h. tendenziell grössere Filter notwendig, ABER: im Moment noch zu wenig Sicherheit → d.h. Investitions-

- ✓ Interessantes Verfahren: verfahrenstechnisch machbar, Wirtschaftlichkeit noch offen (Regenerationsfrequenz der GAK; Parallelbetrieb zur Verlängerung der Standzeiten)
- ✓ **Im Moment noch nicht als Verfahrensvariante, es braucht noch mehr Wissen/Erfahrungen** (Projekte sind am Laufen)

relativ wenig Wechsellagerung mit bestehender Anlage (Filter-Rückspülwasser)



Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl



Vorfluter

Kläranlage



**Einzugs-
gebiet**

- Biologisches Reinigungsverfahren (DOC-Werte im Zulauf zum Filter tief?)
- **Feststoffabtrennung in Nachklärung (GUS-Werte im Zulauf zum Filter tief?)**
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Sand-Filter)?
- CSB-Spitzen, periodische Verfärbung des Abwassers? (Effiziente Elimination mit Aktivkohle)

Verfahrenskombination
(Oxidation + Adsorption)

Biologisch

Physikalisch

- Nanofiltration
- Umkehrosmose

Adsorption

- PAK Ulm
- GAK

Oxidation

- Ozon
- Ferrat
- AOP

Adsorption

- PAK Ulm
- PAK vor Filter
- PAK in Biologie
- Mikro-GAK
- GAK
- Extrafeine PAK

Oxidation

- Ozon

Künftige
Entwicklung?

2000

2016

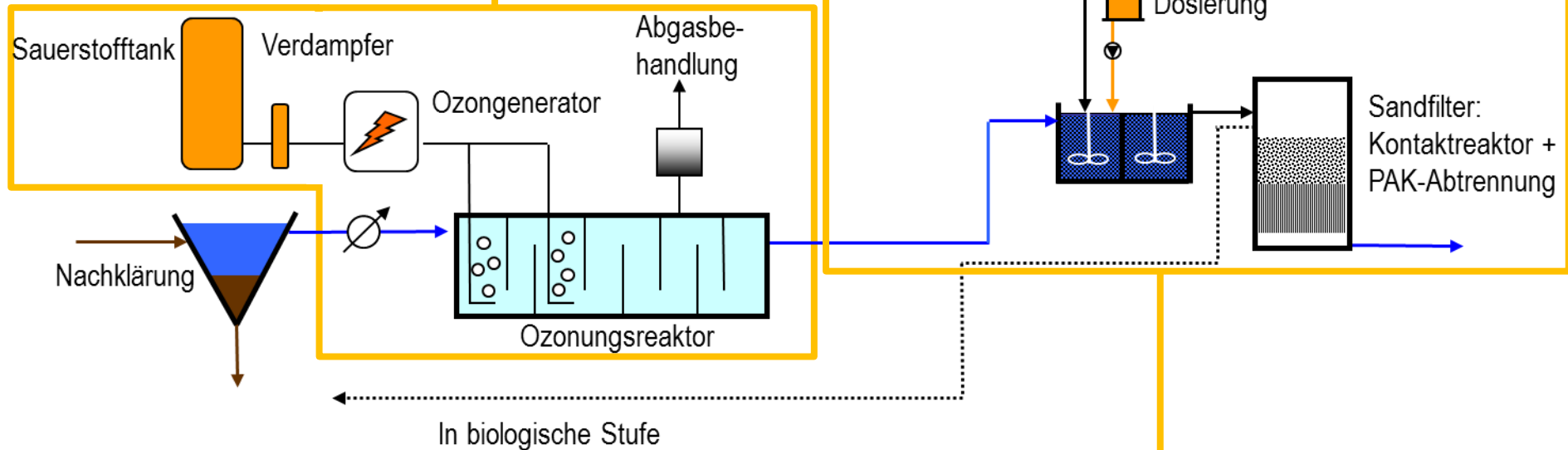
2040

Verfahrenskombination (O₃ mit PAK)



Ozonung

Die Ozondosis ist tiefer als bei einer «alleinigen» Ozonung



PAK-Stufe

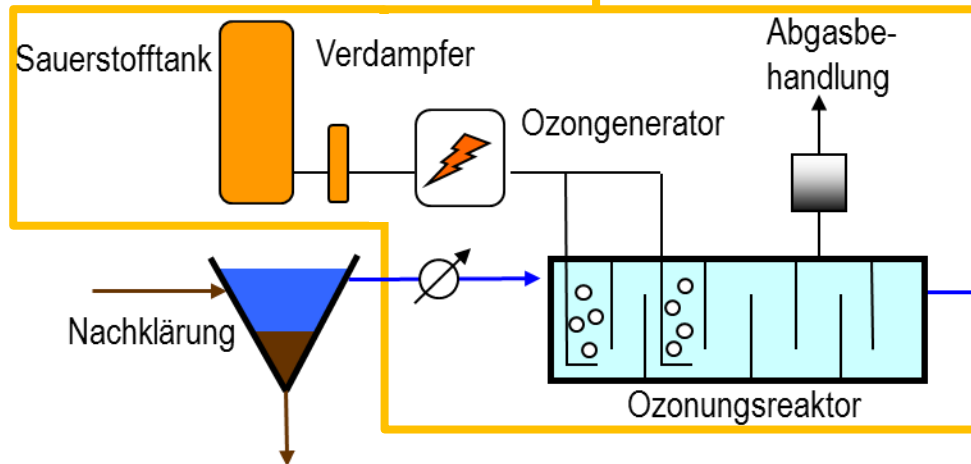
Die PAK-Dosis ist tiefer als bei einer «alleinigen» PAK-Stufe (mögliche Verfahren: PAK vor den Sandfilter, Pulsagreen)

Verfahrenskombination (O₃ mit GAK)



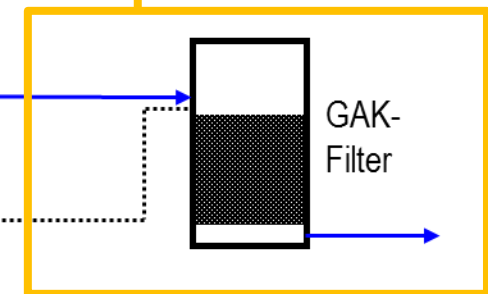
Ozonung

Die Ozondosis ist tiefer als bei einer «alleinigen» Ozonung



GAK-Filtration

Die Standzeiten der GAK sind vermutlich länger als bei einer «alleinigen» GAK-Filtration



In biologische Stufe



Verfahrenskombination (O₃-PAK/GAK)



- ✓ Technisch möglich und machbar, hat zusätzliche Effekte, die über gesetzliche Anforderungen hinausgehen (u.a. auch höhere Flexibilität)
- ✓ Verfahrenskombination löst nicht die «Probleme» einer Ozonung (bei unklarem/ungeeignetem Abwasser; siehe Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung)
- ✓ Kann für grosse ARA interessant sein
- ✓ Projekte in Umsetzung:
 - Altenrhein (O₃-GAK): im Bau
 - ProRheno (O₃-PAK-Sandfilter): in Planung
 - Vidy (O₃-PAK(Pulsagreen)): in Planung

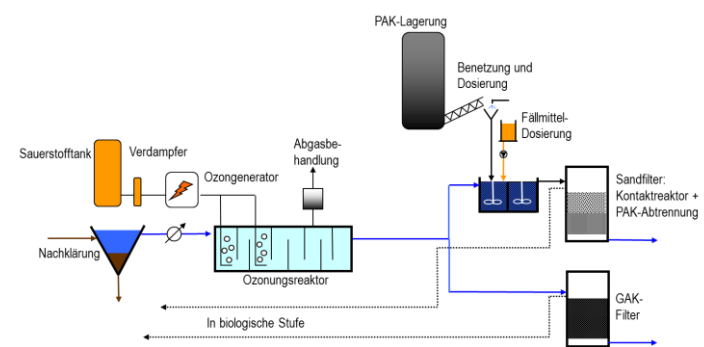
Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl

Vorfluter

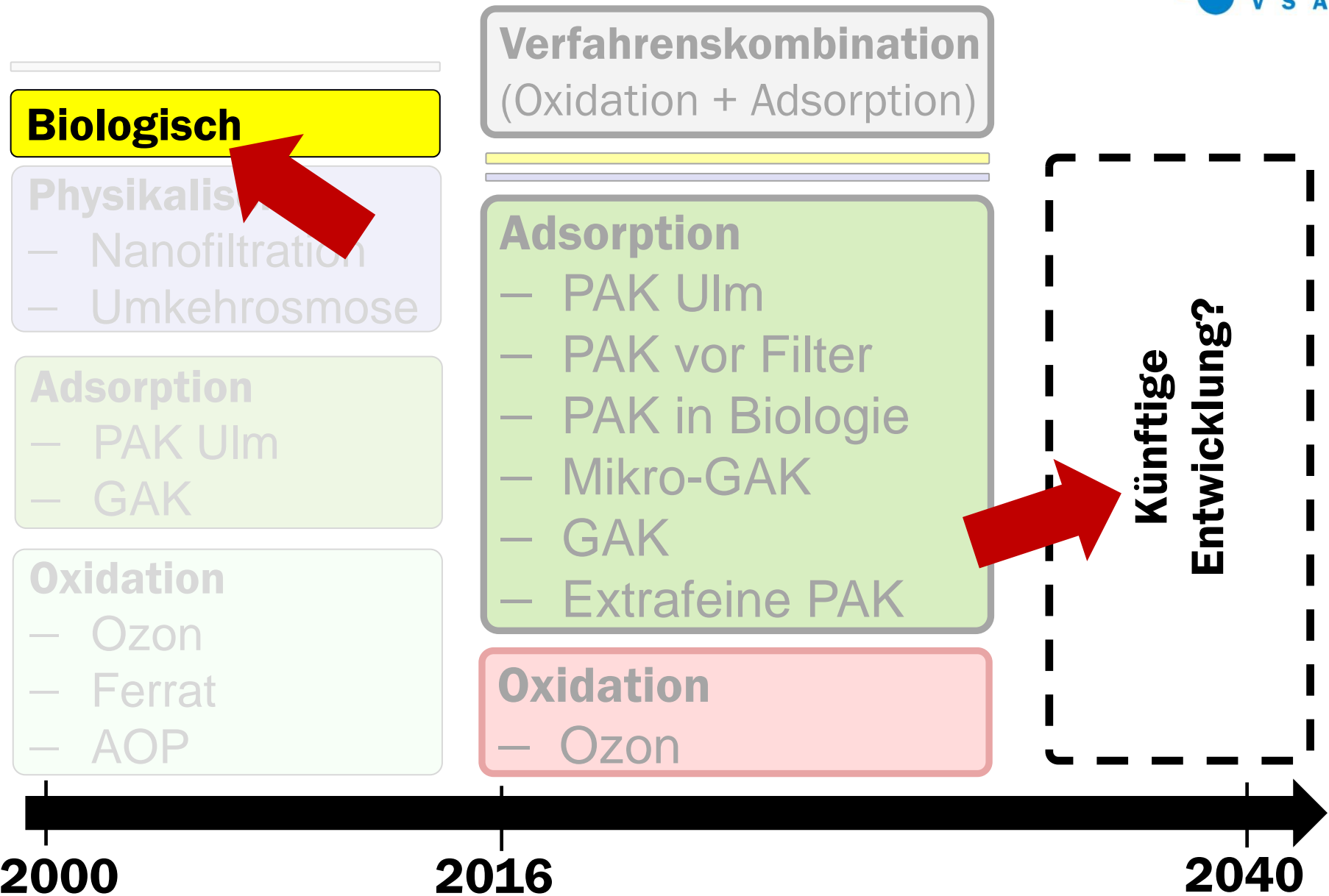
Kläranlage



Einzugs-
gebiet



- **Bildung Oxidationsnebenprodukte minimal**
- **Aktivkohle-Schlupf minimieren**
- **Biologisches Reinigungsverfahren** (periodische NO_2^- Spitzen, erhöhte DOC-Ablaufwerte)?
- **Kapazität in Biologie** für die Rückführung der PAK?
- Bestehende Infrastruktur (z.B. Filter)?
- **Abwasserzusammensetzung?**
- Industrien? Welche? Anteil? Einfluss?
- Künftige Entwicklung?
- Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung



Weitere Verfahren

- **Biologische Verfahren:** Nicht ausreichend, um gesetzliche Anforderungen in der Schweiz einzuhalten, da keine Breitbandwirkung (bei der Mehrheit der Stoffe bleibt der Abbau wie bei der Nitrifikation)
- **Ferrat:** Breitbandwirkung, Fe(III) zur P-Fällung, grosstechnische Herstellung von Ferrat schwierig, da es rasch zerfällt, starke pH-Änderungen bei Ferrat-Zugabe zum Abwasser, keine weiteren Projekte im Moment am Laufen
- **AOPs (UV, H₂O₂,...):** Energieverbrauch deutlich höher als bei Ozon/Aktivkohle, Oxidation mittels OH[•] Radikale, sehr unspezifisch mit der Wassermatrixreaktion
- **Dichte Membranen (Nanofiltration, Umkehrosmose):** Retentate (bis 25% des Abwassers) muss behandelt/entsorgt werden, hoher Energieverbrauch, hohe Kosten, keine weiteren Erfahrungen mit diesen Verfahren.
- ...

**Am Horizont befinden sich
aktuell keine «neuen»
Verfahren. Meistens sind neue
Ansätze technisch und
wirtschaftlich unterlegen.**



Vorfluter

Kläranlage



Einzugsgebiet

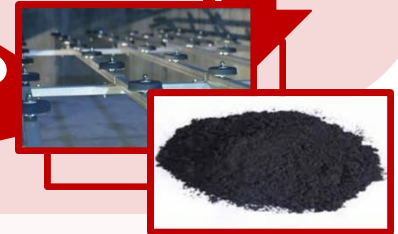
Verfahren zur Spurenstoffelimination



Ozonung?



Aktivkohle?



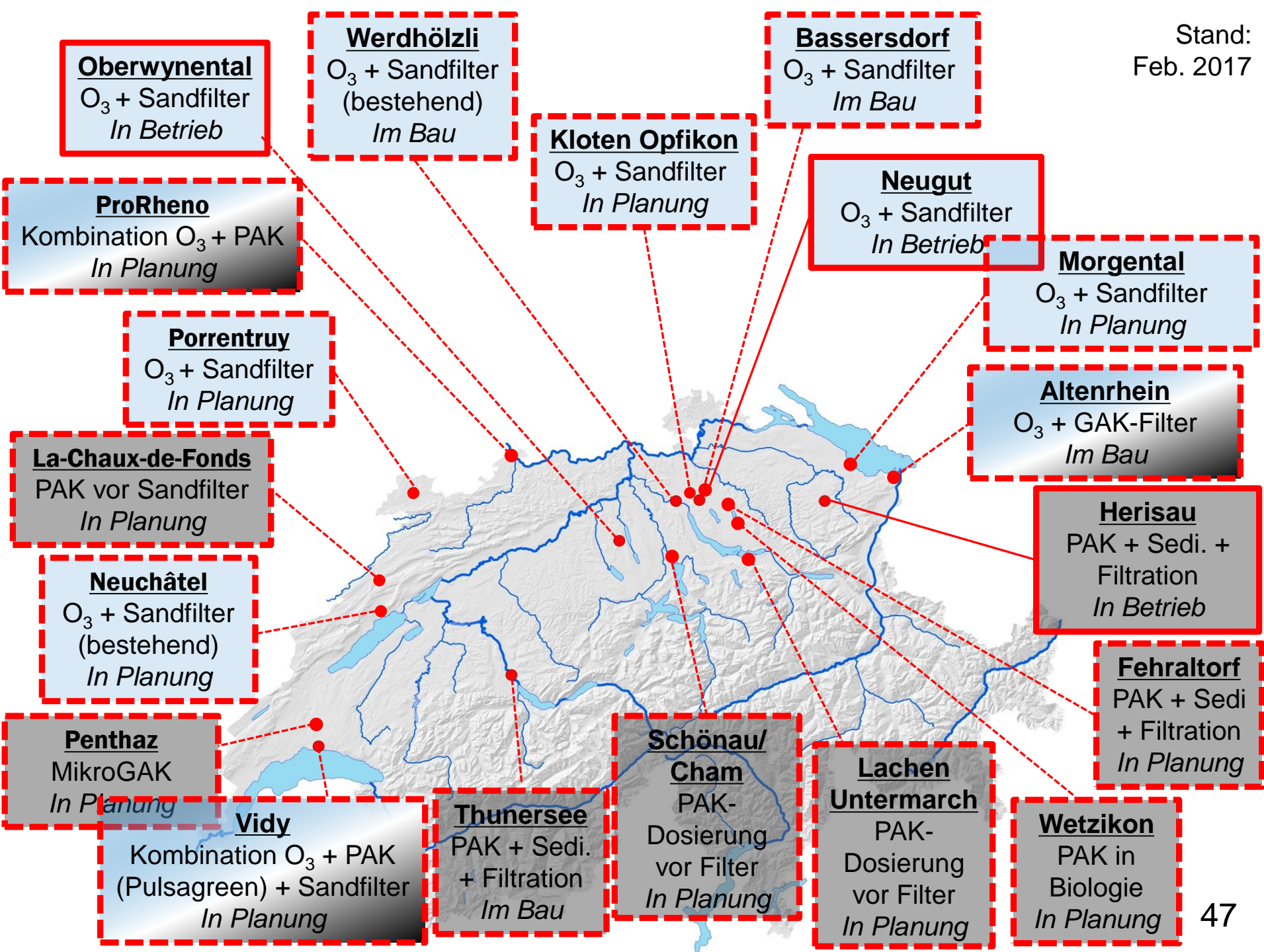
Verfahrenskombination

- ✓ Technische Trends
- ✓ Wichtige Punkte bei der Verfahrenswahl

Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Besten Dank an

- die Begleitgruppe: M. Baggenstos (Wabag), M. Lambert (Alpha), Th. Wintgens (FHNW), K. Leikam (Pöyry), D. Urfer (RWB), S. Zimmermann-Steffens (Bafu), D. Dominguez (Bafu), A. Joss (Eawag), Ch. Abegglen (VSA)
- das Bafu
- das Plattform-Leitungsteam



ANHANG: Weiterführende Literatur

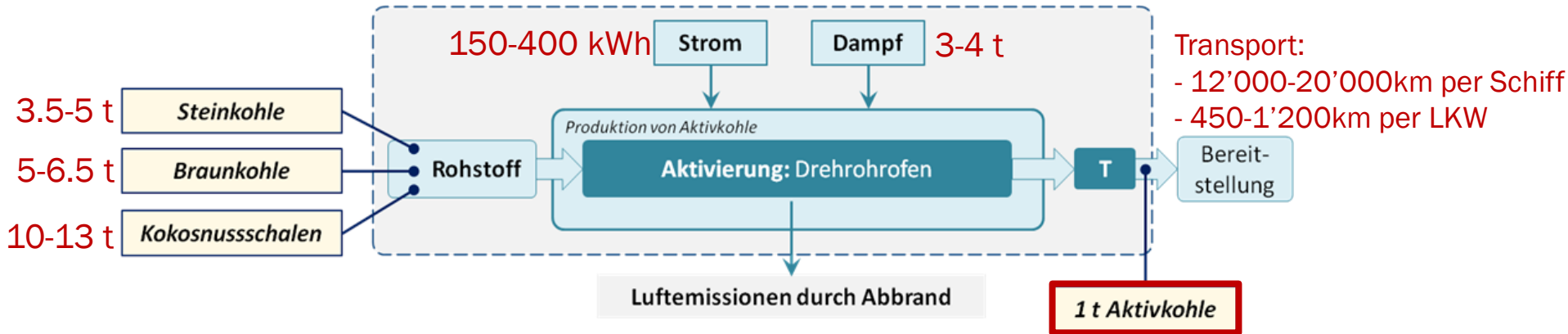


- [Abklärungen Verfahrenseignung Ozonung](#) (Version Vernehmlassung)
- Faktenblatt [Reaktionsprodukte](#) der Ozonung
- Faktenblatt [PAK in der Schlammbehandlung](#)
- Sicherheitsfaktenblätter [Ozon](#), [Sauerstoff](#) und [PAK](#)
- Steckbriefe und Berichte:
 - Ozonung in Betrieb auf ARA [Neugut](#)
 - Ulmer-Verfahren in Betrieb auf ARA [Bachwis](#), Herisau
 - Ulmer-Verfahren im Bau auf ARA [Thunersee](#)
 - PAK vor Filter in Planung auf ARA [Schönau](#), Cham ([Abschlussbericht](#) Pilotversuch)
 - Pilotversuch mit Mikro-GAK auf ARA [Penthaz](#) ([Zwischenbericht](#))
 - Pilotversuch mit GAK auf ARA Bülach ([Zwischenbericht](#))
 - Pilotversuch mit Membranbiologie auf ARA [Le Locle](#)

Herstellung Aktivkohle und Umweltauswirkungen

Aktivkohleeinsatz auf kommunalen Kläranlagen zur Spurenstoffentfernung

Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-8.6
„Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen“⁽⁴⁾



- Der Rohstoffverbrauch macht bei Stein- und Braunkohle den grössten Anteil des Aufwands aus
- Aufwand zur Herstellung frischer Aktivkohle ist um 5mal grösser als bei einem Reaktivat.

Rohstoff		Primärenergieverbrauch fossil	CO ₂ -Fußabdruck
		[GJ/t AK]	[t CO ₂ -Äqu./t AK]
Steinkohle	frische AK	109–124	11–18
	Reaktivat	17–29	2–3
Braunkohle	frische AK	152–184	14–18
	Reaktivat	20–37	2–4
Kokosnussschalen	frische AK	28–51	5–7
	Reaktivat	9–14	1

Tabelle 1: Spannweiten für Primärenergieverbrauch und CO₂-Fußabdruck von frischer Aktivkohle (AK) und Reaktivat für verschiedene Rohstoffe