

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
Association



Kann die Kohle nachhaltig sein?

Marc Böhler (Eawag) marc.boehler@eawag.ch

NACHHALTIGKEIT

ursprüngliche Definition stammt aus der Forstwirtschaft, wo Hans Carl von Carlowitz (*sächsischen Oberberghauptmann, 1645 – 1714*)
im Jahr 1713 in einer Publikation (*»Sylvicultura oeconomica«*)
von der nachhaltigen Nutzung von Wäldern sprach,
daher vom Prinzip des nachhaltigen Umgangs mit natürlichen Ressourcen.

Was ist nachhaltig ?



NACHHALTIGKEIT

Ökologische Nachhaltigkeit

- Erhalt von Natur und Umwelt für die nachfolgende Generation

Ökonomische Nachhaltigkeit

- Wirtschaftsweise, die natürliche Ressourcen nicht ausbeutet
- langfristig tragfähig ist
- Grundlage für allg. Wohlstand ist

Soziale Nachhaltigkeit

- Gerechtigkeit zwischen Norden und Süden der Welt
- Sicherung der Grundbedürfnisse aller Menschen
- Zugang zu den Ressourcen dieser Welt sind gerecht verteilt

Was ist nachhaltig ?



NACHHALTIGKEIT

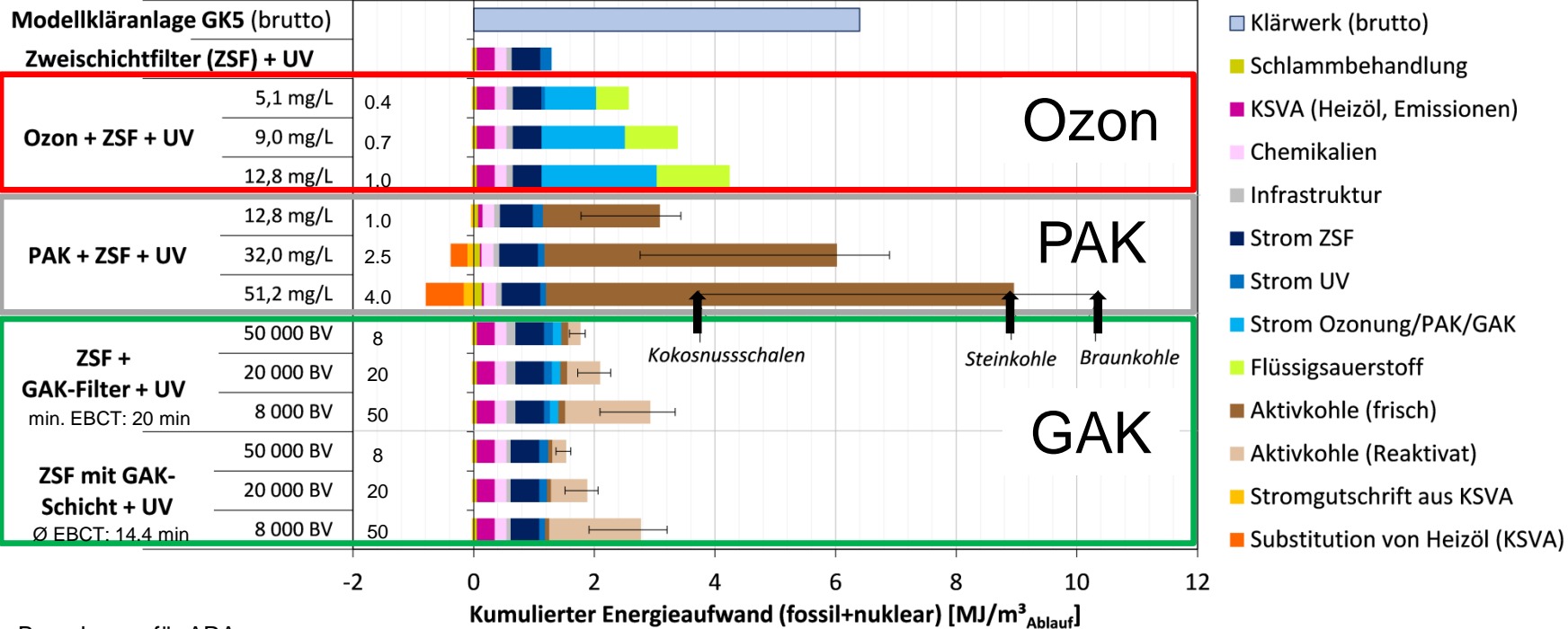
Ökologische Nachhaltigkeit

○ Erhalt von Natur und Umwelt für die nachfolgende Generation

- quantitative Aussagen können **Ökobilanz bzw. Life Cycle Assessment (LCA) -Studien** machen
- Studien sind aber sehr komplex
- verschiedene Wirkungsindikatoren:
 - kumulativer Energieverbrauch (fossil + nuklear, **KEA**)
 - Treibhausgaspotential (CO₂-Fussabdruck, **THP**)
 - Versauerungspotential
 - Süßwassereutrophierung, weitere
- bisher wenige Studien im Bereich der EMV

Energieaufwand (KEA) der Verfahren (Beispiel!)

g/gDOC

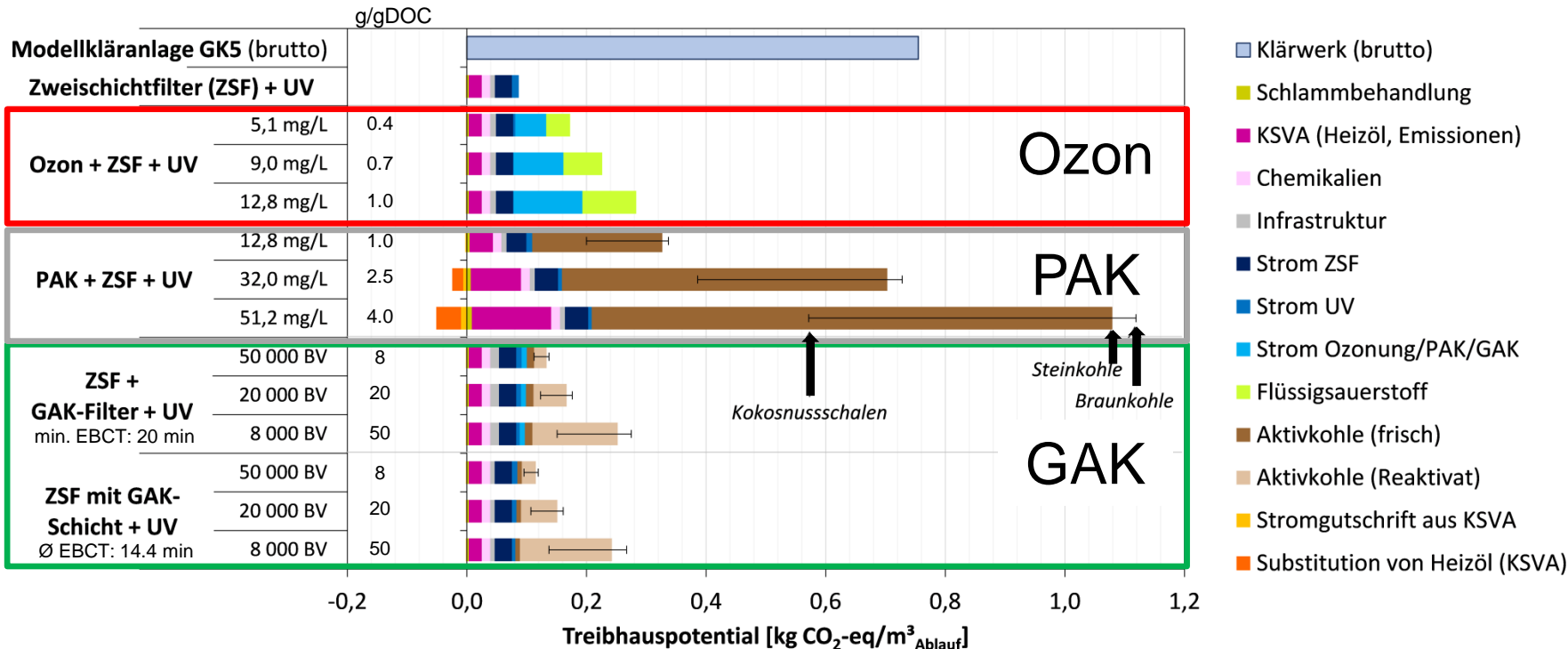


Berechnung für ARA:

- mit hohem DOC 12.8 mg/L
- erhöhten Anforderungen (Berliner Ziele) für P-Elimination < 0.1 mgP/L u. Desinfektion für Badegewässer im Sommerhalbjahr mit UV-Behandlung
- Deutscher Strom-Mix
- GAK: 400g/m³

Quelle: Mutz D., Remy C., Miede U. und Sperlich A. (2017). Einfluss von Ozonung oder Aktivkohleadsorption zur weitgehenden Entfernung organischer Spurenstoffe auf den Energieaufwand und CO₂-Fußabdruck einer Kläranlage. Korrespondenz Abwasser, Abfall 64(4), 310-20, aktualisierte Berechnung C. Remy 2019

Treibhausgaspotential (THP) der Verfahren (Beispiel!)

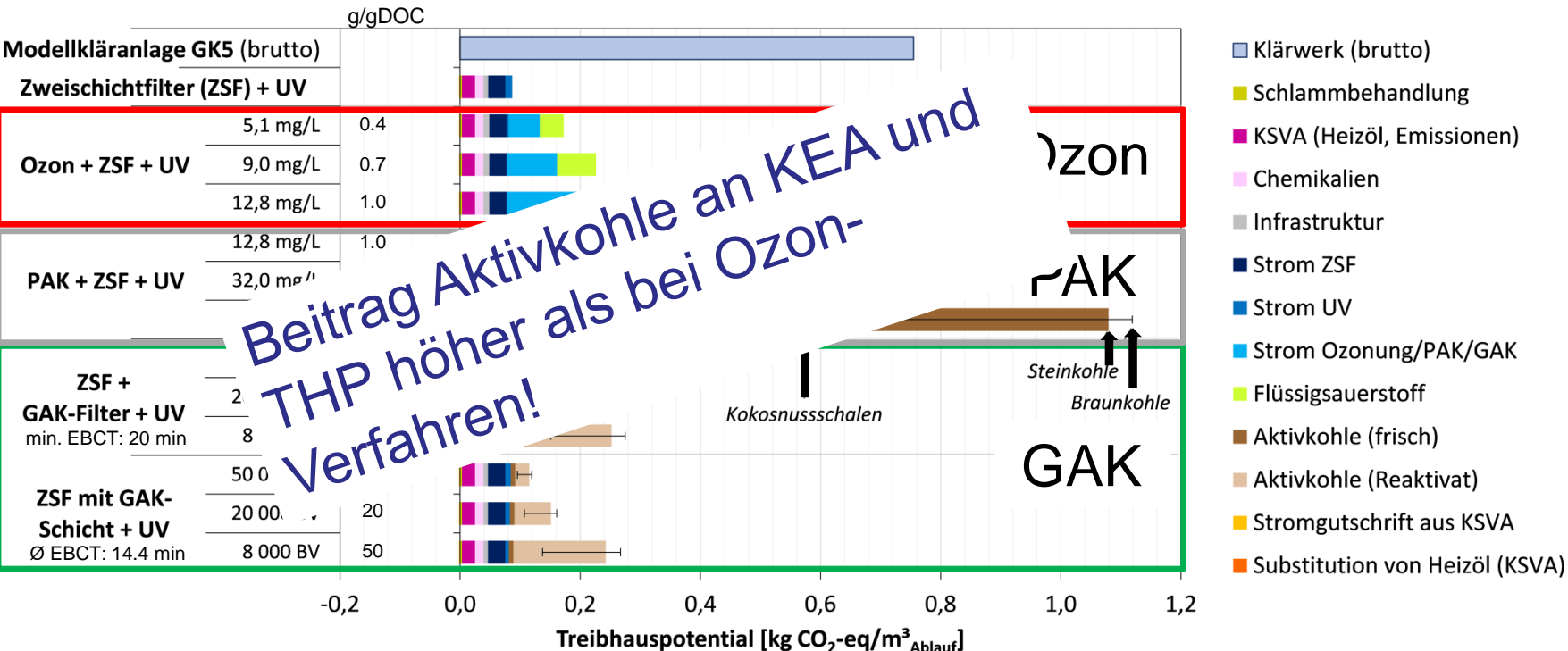


Berechnung für ARA:

- mit hohem DOC 12.8 mg/L
- erhöhten Anforderungen (Berliner Ziele) für P-Elimination < 0.1 mgP/L u. Desinfektion für Badegewässer im Sommerhalbjahr mit UV-Behandlung
- Deutscher Strom-Mix
- GAK: 400g/m³

Quelle: Mutz D., Remy C., Miede U. und Sperlich A. (2017). Einfluss von Ozonung oder Aktivkohleadsorption zur weitestgehenden Entfernung organischer Spurenstoffe auf den Energieaufwand und CO₂-Fußabdruck einer Kläranlage. Korrespondenz Abwasser, Abfall 64(4), 310-20, aktualisierte Berechnung C. Remy 2019

Treibhausgaspotential (THP) der Verfahren (Beispiel!)



Berechnung für ARA:

- mit hohem DOC 12.8 mg/L
- erhöhten Anforderungen (Berliner Ziele) für P-Elimination < 0.1 mgP/L u. Desinfektion für Badegewässer im Sommerhalbjahr mit UV-Behandlung
- Deutscher Strom-Mix
- GAK: 400g/m³

Quelle: Mutz D., Remy C., Miede U. und Sperlich A. (2017). Einfluss von Ozonung oder Aktivkohleadsorption zur weitestgehenden Entfernung organischer Spurenstoffe auf den Energieaufwand und CO₂-Fußabdruck einer Kläranlage. *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 64(4), 310-20, aktualisierte Berechnung C. Remy 2019

Einflussfaktoren auf AK-Bedarf bzw. Footprint



- *Welches Verfahren und Qualitätsziel?*
- *Welche Abwassermatrix (DOC,)*
- *Ort/Höhe Dosierung? - Welche Dosierstrategie?*
- *Welcher Ausgangsrohstoff?*
- *Welcher Ursprung des Rohstoffes?*
- *Welches Herstellungsverfahren?*
- *Art, Qualität und Effizienz des Produktes?*
- *Ist Reaktivierung möglich?*
- *Ist Wiederverwertung möglich?*

Wie viel Aktivkohle braucht es in CH?



Annahmen: 10 Mio. EW in CH
 50% mit EMV-Stufe
 50% mit O₃ / 50% Aktivkohle (AK) = 25% der EW
 0.35 m³/EW*Tag behandelte Abwassermenge

Aktivkohledosis:

10 bis 15 mgAK/L oder 1 bis 2 mgAK/mgDOC (PAK = GAK)

Aktivkohleverbrauch EMV CH:

rund **4'000 Tonnen pro Jahr** oder 0,5 Kg / Jahr u. Einwohner
(Bezug: 8.42 Mio. Einwohner in CH, 2017)

zum Vergleich

Grillkohleverbrauch CH:

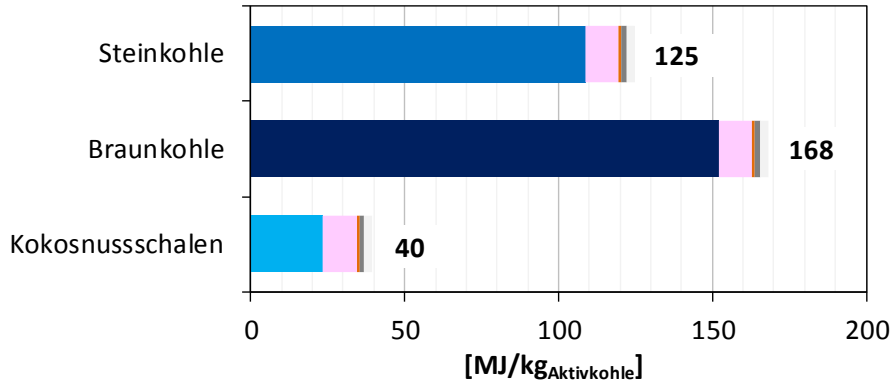
Quelle: WWF Schweiz, 2018

rund **13'000 Tonnen pro Jahr** oder 3,5 Kg / Jahr u. Haushalt 2017

Herstellung von Aktivkohle



* Kumulierter Energieaufwand (fossil): Herstellung von frischer Aktivkohle

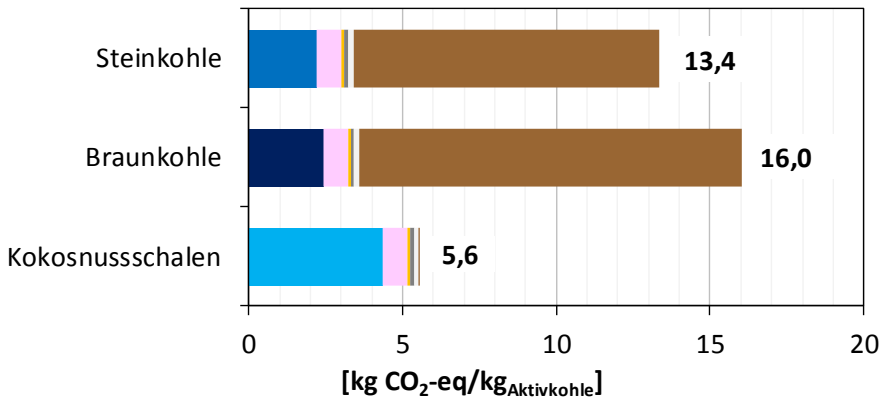


biogener Ausgangsrohstoff

- Faktor 3 bis 4 bezgl. KEA
- Faktor 2.5 bis 2.8 bezgl. THP

besser!

* Treibhauspotential (GWP 100a): Herstellung von frischer Aktivkohle



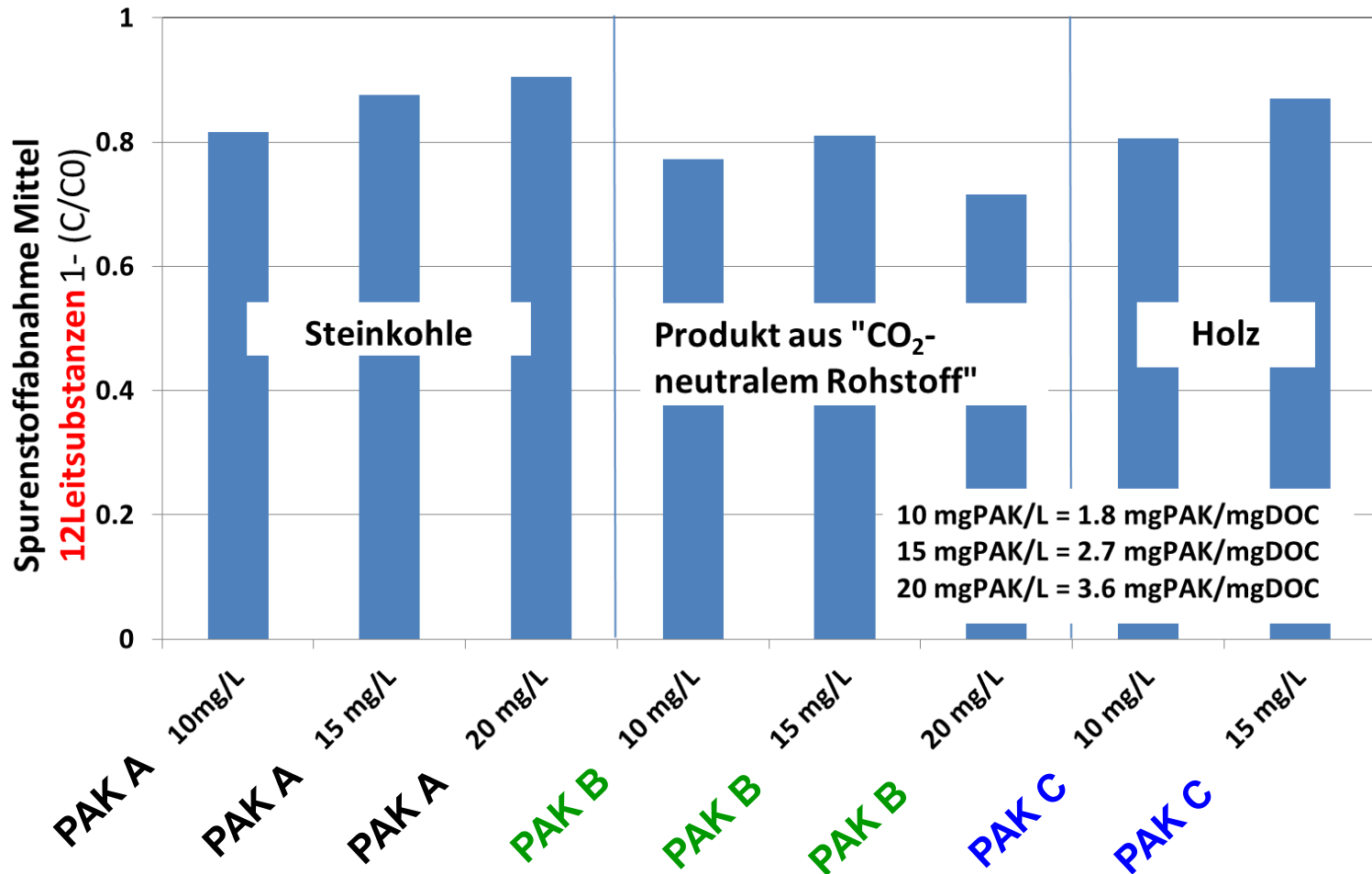
pro kg Aktivkohle:

Steinkohle Gewinnung	4 kg
Biochar Herstellung	10 kg Rohmaterial = 3 kg Biochar
Braunkohle Gewinnung	5,5 kg
Dampf	3,5 kg
Strom [CN]	0,1 kWh
Transport, LKW	600 km
Transport, Schiff	15 000 km
Emissionen beim Abbrand	3 kg (StK), 4,5 kg (BrK), 2 kg (Biochar)

Biogene Ausgangsrohstoffe im Vergleich



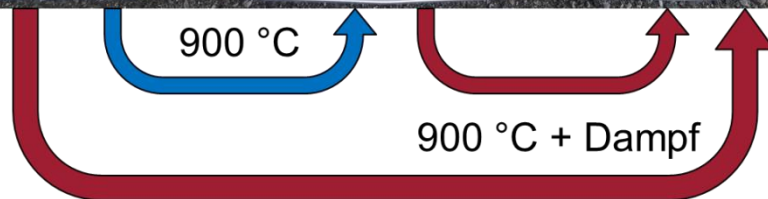
EMV nach 24h Batchtest mit **kommerziellen PAKs**:



Projekt Empyrion



Idee der Herstellung von Aktivkohlen aus Schweizer Holz und biogenen Abfällen sowie aus Klärschlamm



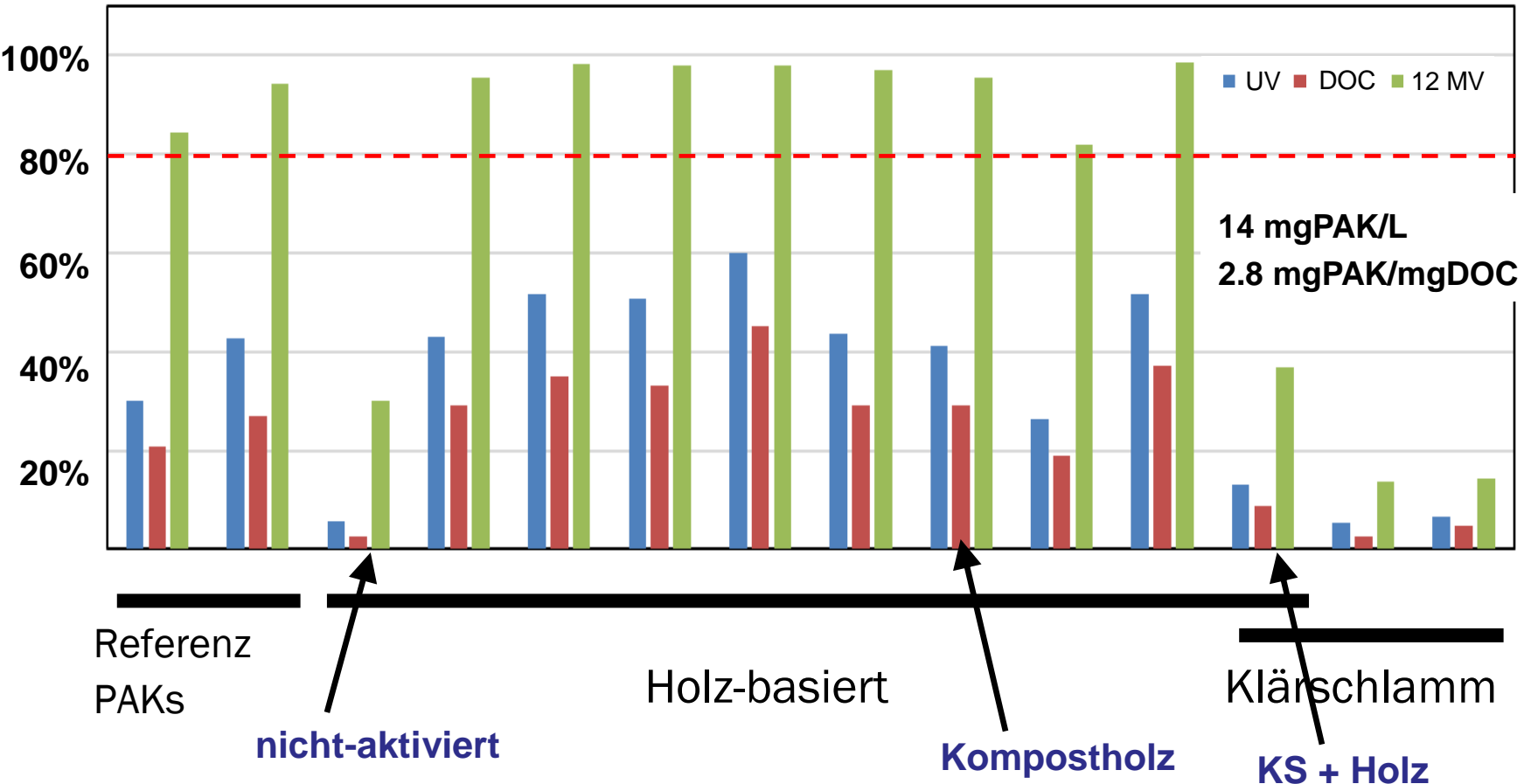
Projekt-Team:

N. Hagemann, I. Hilber, T. Bucheli
(**Agroscope**),
R. Kägi, M. Böhler, C. McArdel, A.
Maccagnan (**Eawag**),
H.-P. Schmidt (**Ithaka Institute**)
*unterstützt durch das **Bafu***

Projekt Empyrion



Effizienz der produzierten Aktivkohlen nach 24h
Batchtest



Quelle: Hagemann, N., Bucheli, T., Schmidt, H.-P., Kägi, R., Böhler, M., McArde, C.S. (2019): «Aktivkohle – Made in Switzerland!» Aqua & Gas, Bd. 1, 2018

Projekt Empyrion



Effizienz der produzierten Aktivkohlen nach
Batchtest



Quelle: Hagemann, N., Bucheli, T., Schmidt, H.-P., Kägi, R., Böhler, M., McArde, C.S. (2019): «Aktivkohle – Made in Switzerland!» Aqua & Gas, Bd. 1, 2018

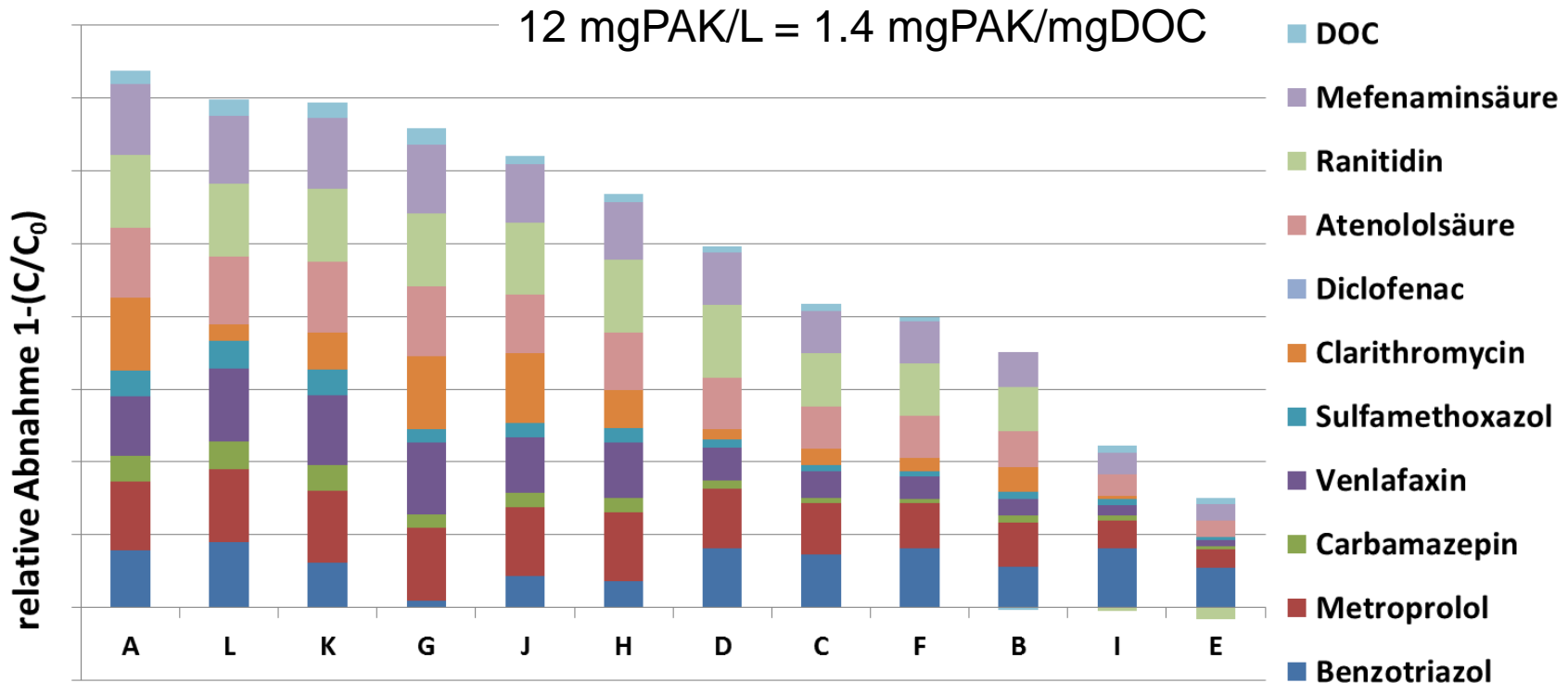
EMPYRION 2

- (1) *Eignung von CH Aktivkohlen für die EMV auf Ebene Pilotanlage – volltechnische ARA*
- (2) *Fokus auf Ausgangsrohstoff »**Kompostholz**«*
- (3) *Herstellung von Klärschlamm-Aktivkohlen – Effekt von AK im Klärschlamm*

Kooperationen und optionale Partner (Auswahl)

- *diverse Biomassenverwerter (holziges Siebüberkorn)*
- *ARA ProRhenno – Test von AK auf Basis Kompostholz*
- *ARA Thunersee – Biomassezentrum Spiez*
- *ARA Herisau – KS-Aktivkohlen*

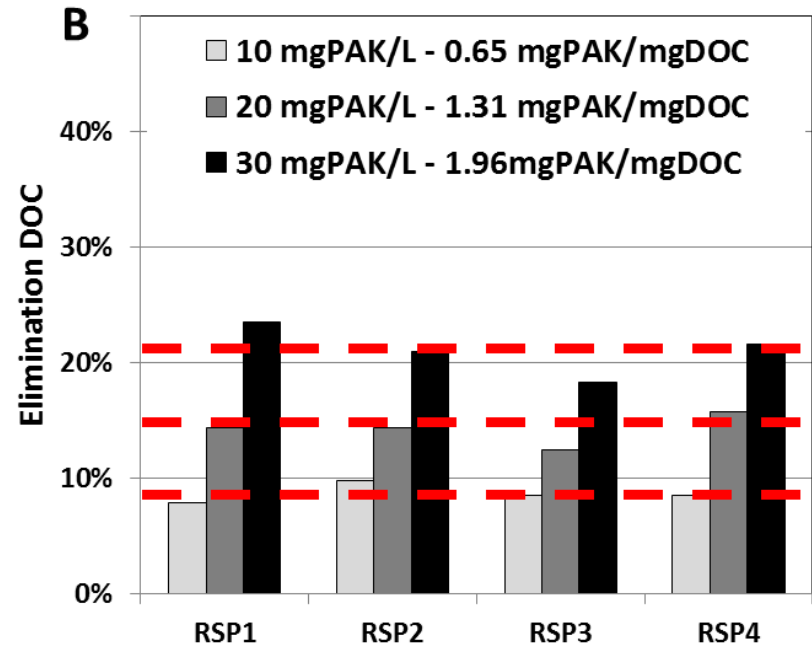
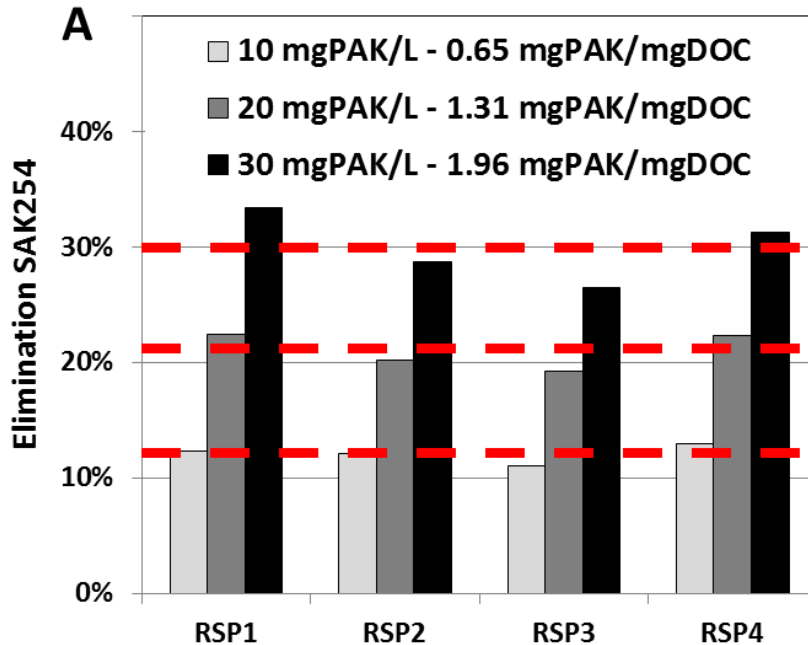
Auswahl, Leistungsfähigkeit und Qualität von PAK



A bis L = unterschiedliche PAK-Produkte diverser Lieferanten
 Abwasser einer ARA mit $C_0 = 8.6 \text{ mgDOC/L}$

Quelle: Böhler, M. (2010): Vergleichender Test von verschiedenen Pulveraktivkohlen zur Elimination von Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser, Kurzbericht, Eawag, Dübendorf

Auswahl, Leistungsfähigkeit und Qualität von PAK



RSP = Rückstellprobe aus PAK-Lieferung eines PAK-Typs
Abwasser mit $C_0 = 15.3 \text{ mgDOC/L}$

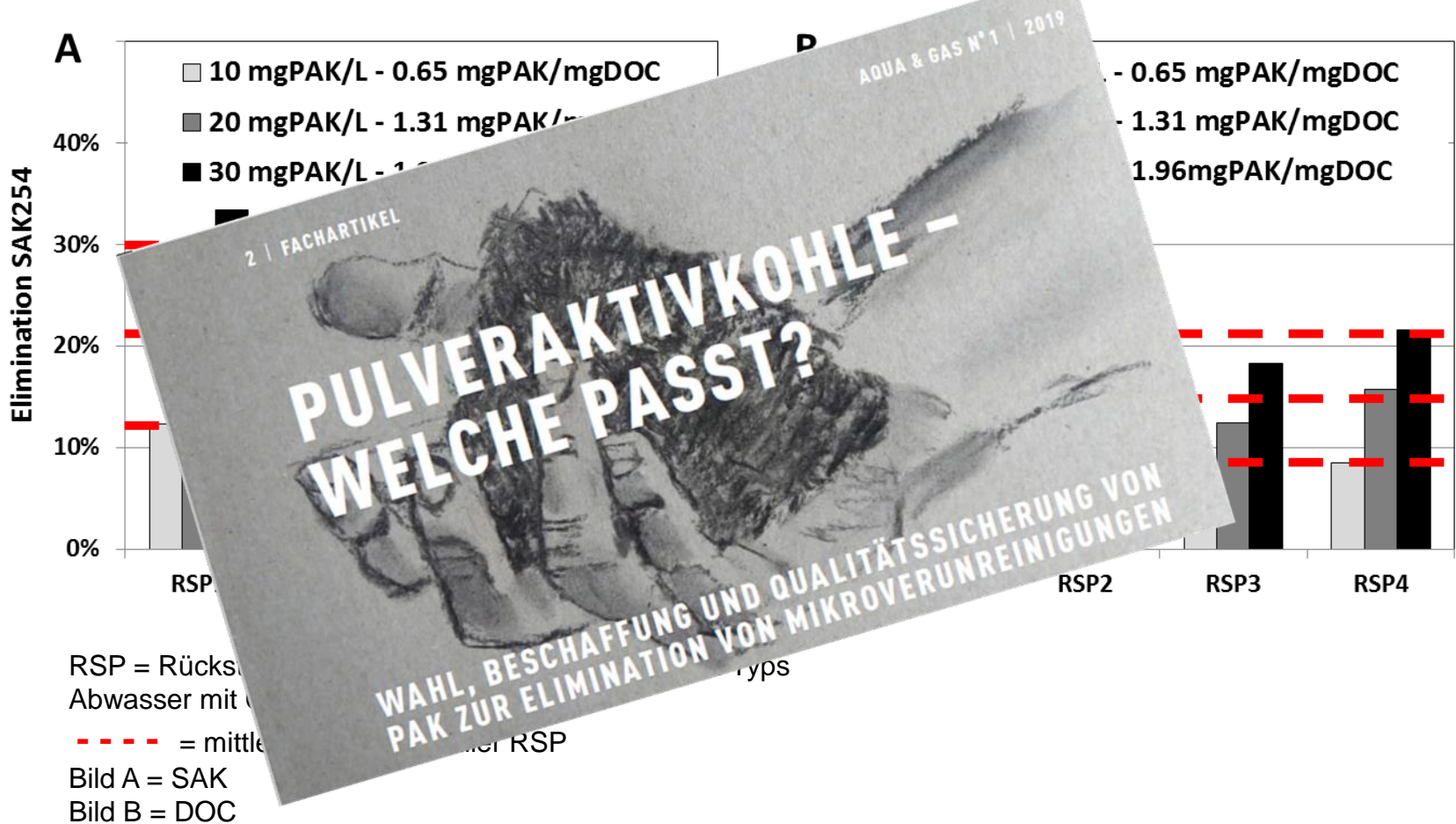
- - - = mittlere Elimination aller RSP

Bild A = SAK

Bild B = DOC

Daten: Böhler, M. (2016): Bestimmung der Effizienz von PAK-Lieferchargen ARA Furt, Herisau, Kurzbericht, Eawag, Dübendorf

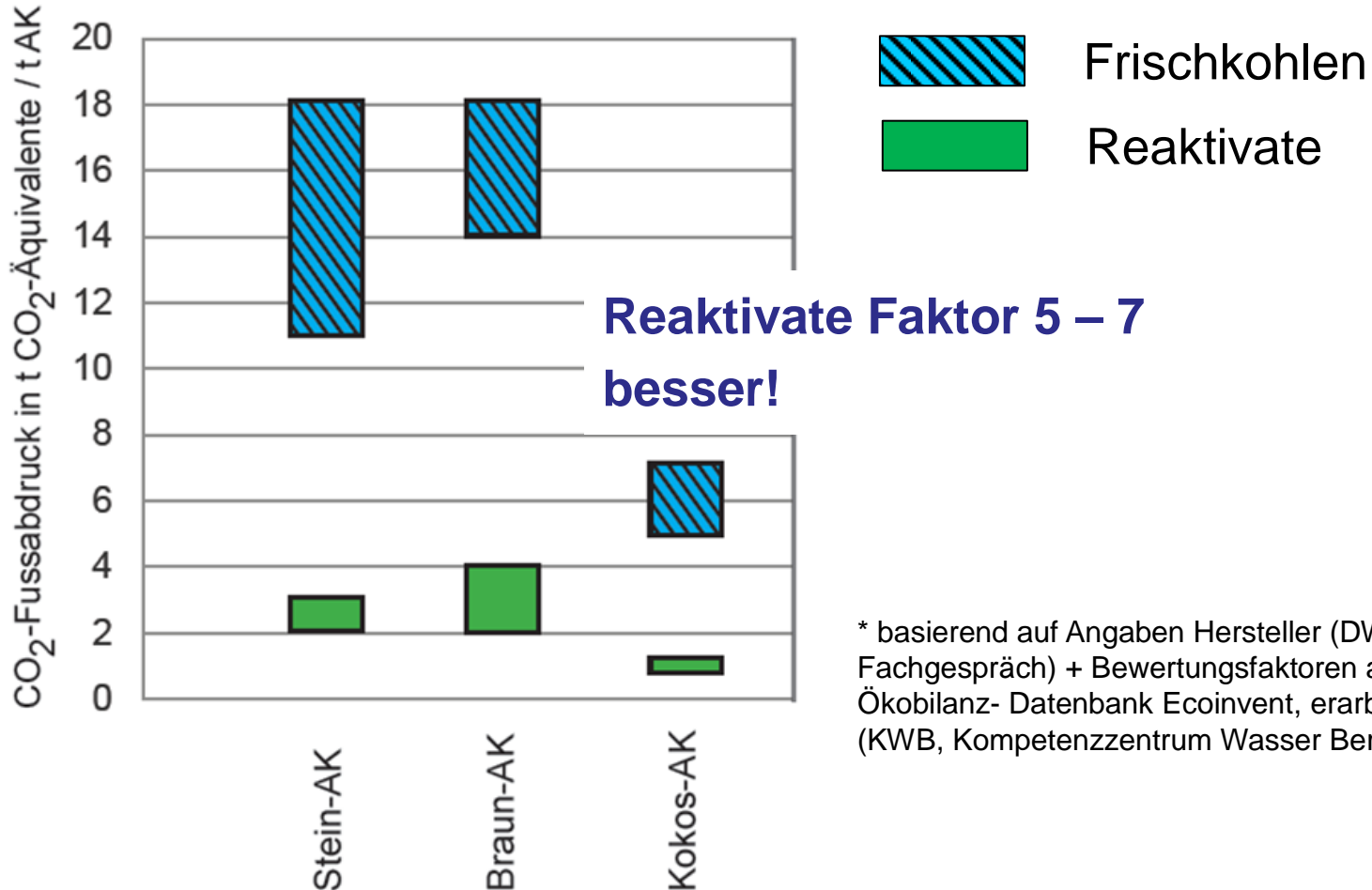
Auswahl, Leistungsfähigkeit und Qualität von PAK



Daten: Böhler, M. (2016): Bestimmung der Effizienz von PAK-Lieferchargen ARA Furt, Herisau, Kurzbericht, Eawag, Dübendorf

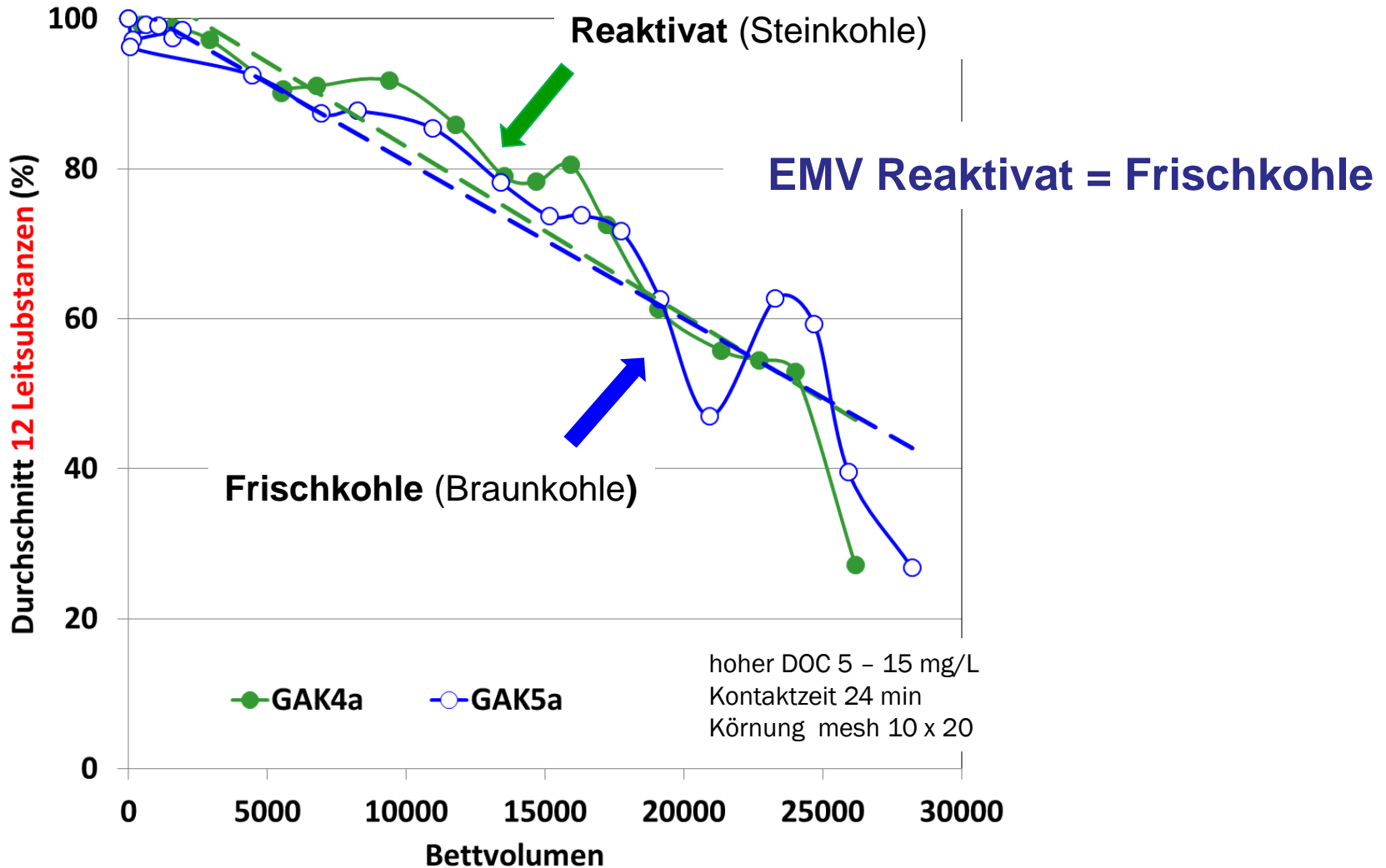
Frischkohle **versus** Reaktivat

Spannweiten für den CO₂ – Fussabdruck *



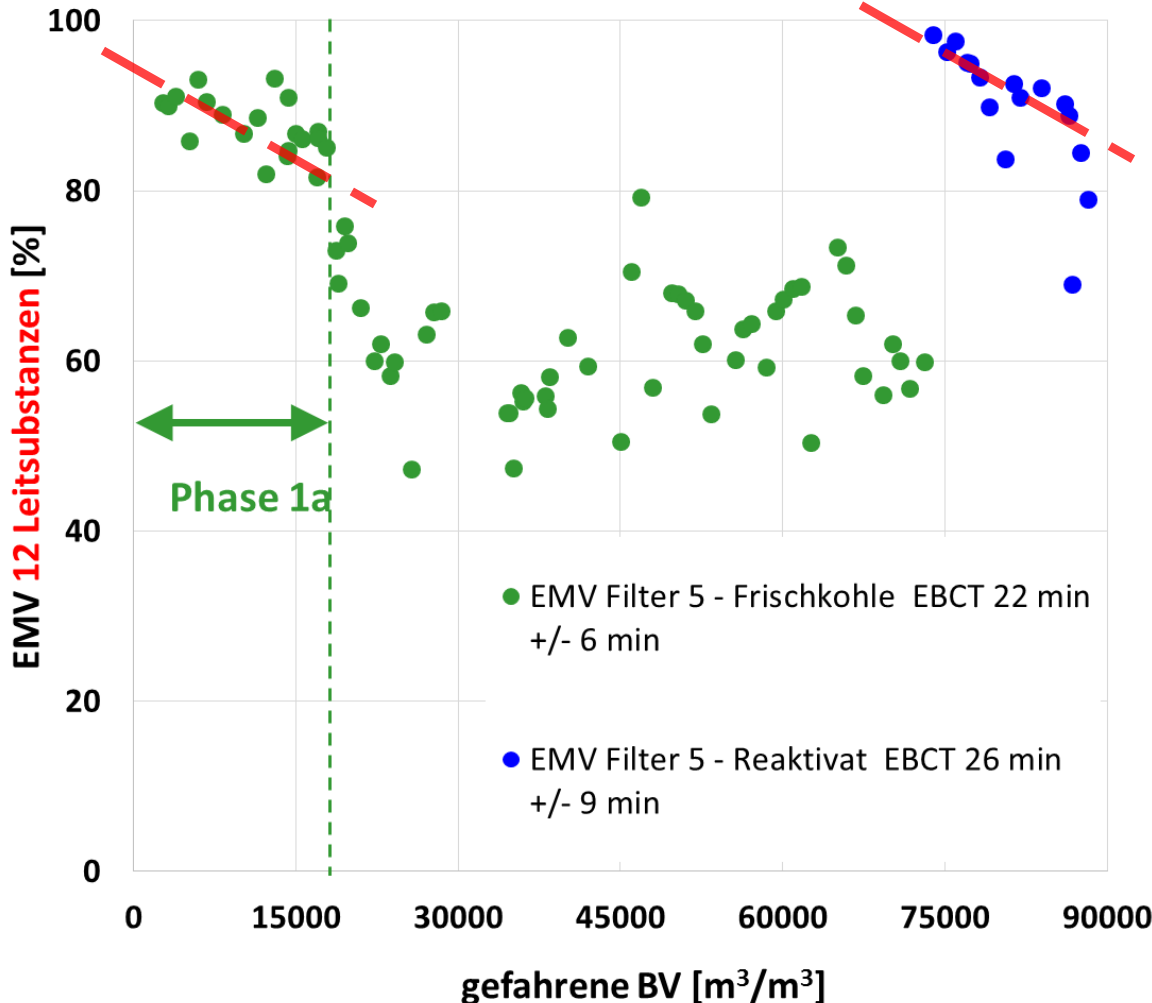
* basierend auf Angaben Hersteller (DWA-Fachgespräch) + Bewertungsfaktoren aus Ökobilanz- Datenbank Ecoinvent, erarbeitet C. Remy (KWB, Kompetenzzentrum Wasser Berlin)

Frischkohle versus Reaktivat



Frischkohle **versus** Reaktivat

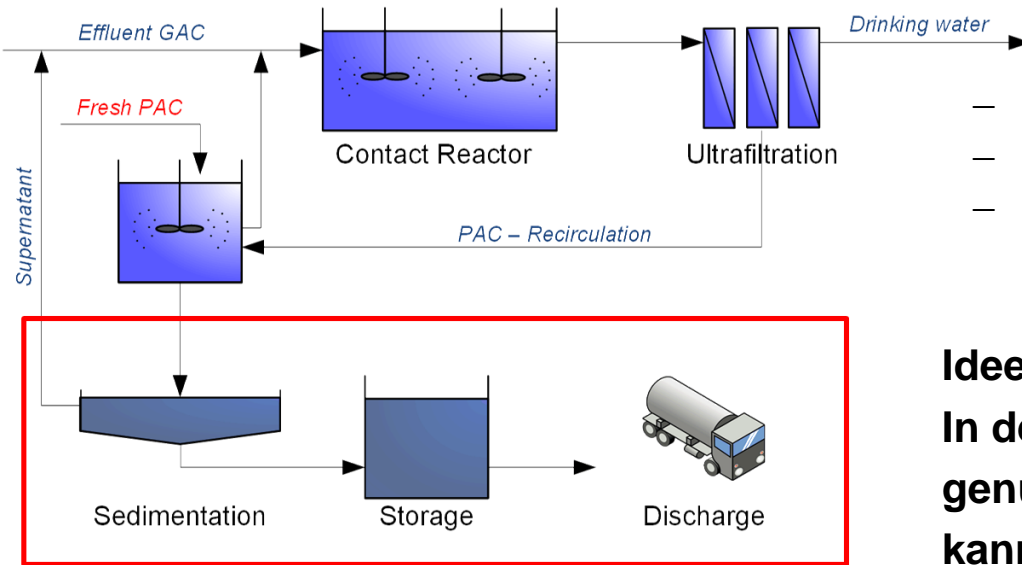
Erfahrungen Reaktivierung in Bülach (GAK Braunkohle)



- Reaktivierung in CH möglich!
- Aktivierung erfolgreich (Jodzahl um 300 mg/gGAK gesteigert)
- EMV-Leistung gleich wie Frisch-GAK
- vgl. hohes Make-Up (rd. 25%)



Wiederverwertung von AK aus TWA



- 16 tPAK/Jahr
- Thermische Entsorgung notwendig
- hoher Wassergehalt = hohe Entsorgungskosten

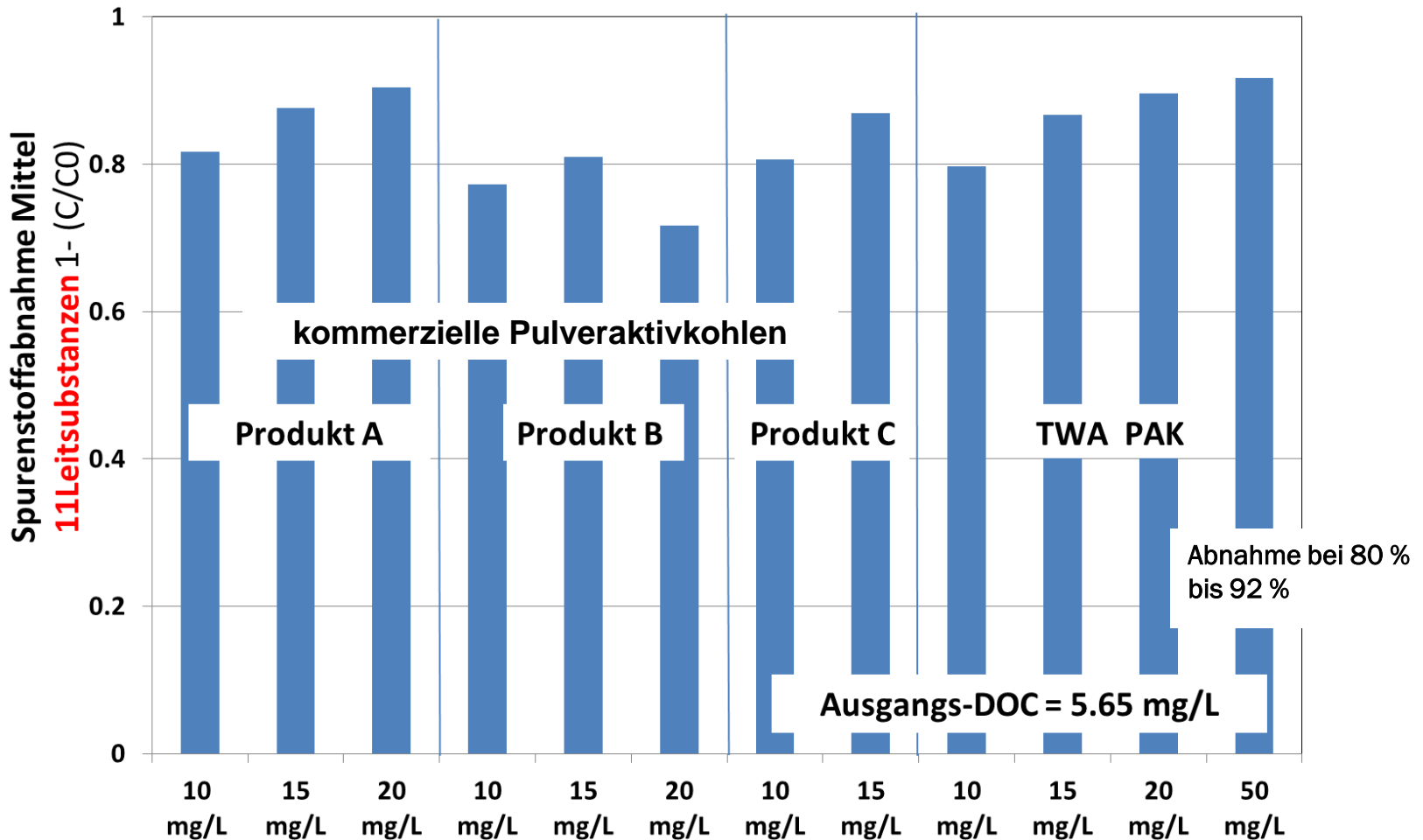
Idee:
In der Trinkwasseraufbereitung (TWA) genutzte PAK ist ein Wertstoff und kann zur EMV eingesetzt werden!

Die neue Trinkwasseraufbereitung (TWA) Muttenz



Projekt-Team: J. Löwenberg (CSD Envirotec), M. Böhler (Eawag), A. Meier (VSA), W. Stegmann (TWA), «WIEDER-VERWERTUNG VON PULVERAKTIVKOHLE AUS DER TRINKWASSERAUFBEREITUNG ZUR UMSETZUNG DER SPURENSTOFFELIMINATION AUF KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN» unterstützt durch das Bafu

Wiederverwendung von AK aus TWA



Quelle: M. Böhler, »LABORVERSUCHE ZUR BESTIMMUNG DER REST-ADSORPTIONSKAPAZITÄT VON PAK DER TWA MUTTENZ«, Kurzbericht, Eawag, 2017

Wiederverwendung von AK aus TWA

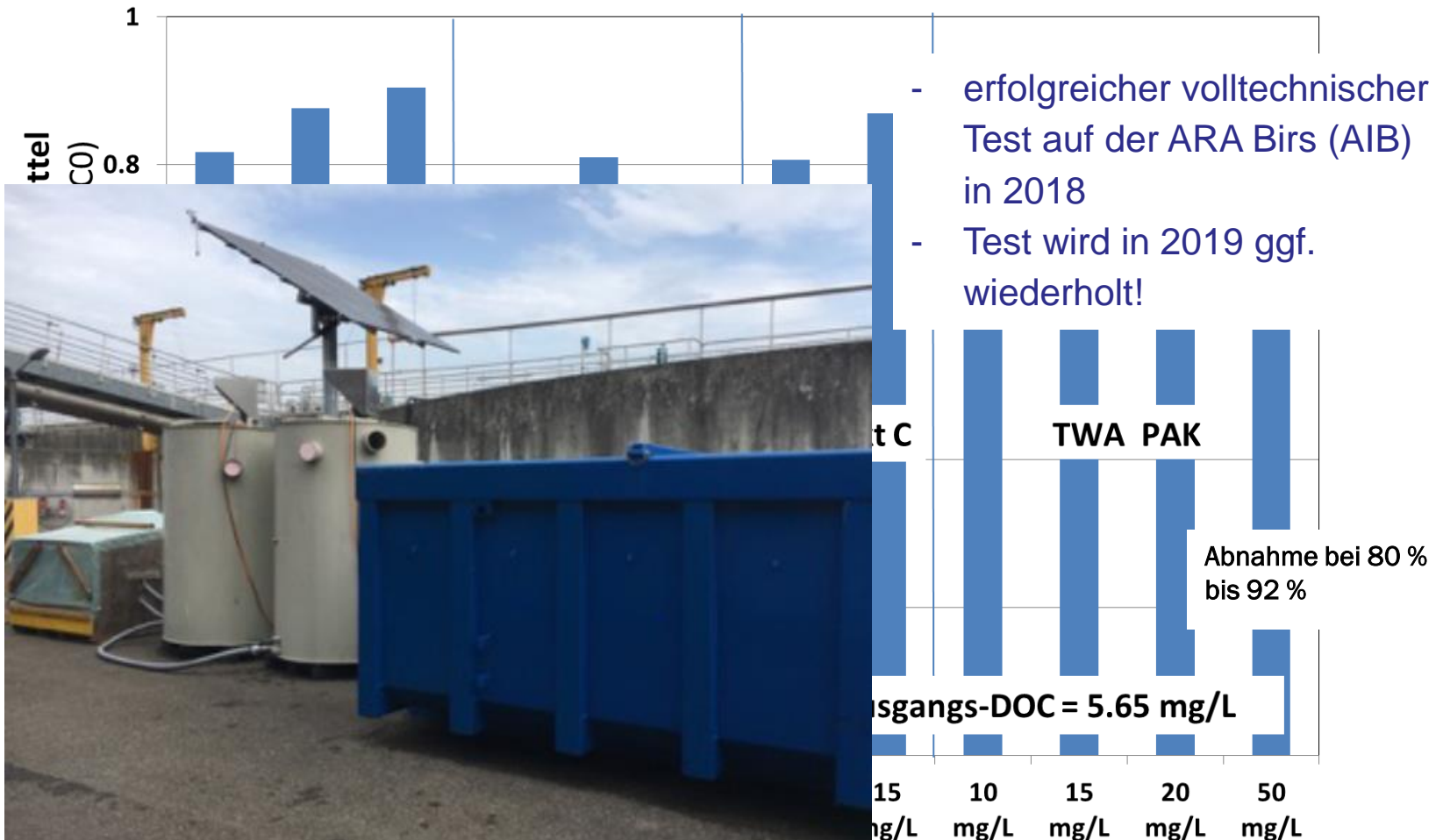


Bild: L. Engel, Bachelorarbeit, «Einsatz von gebrauchter Pulveraktivkohle aus der Trinkwasseraufbereitung in der Abwasserbehandlung, betreut N. Stoecklin (AIB) und Prof. T. Wintgens (FHNW), 2018

Pulver **versus** Granulat

- **PAK meist als Frischkohle** (kann Anteile aufgemalener, reaktiverer AK beinhalten – Anteil i.d.R. meist unbekannt!)
- **GAK als Frischkohle oder alternativ Reaktivat** (Reaktivat 10-20% Frischkohle bzw. Make-Up)
- **GAK bezüglich KEA und THP immer besser als PAK** (Option der Reaktivierung)
- **PAK ist i.d.R. Einwegprodukt** – Erhöhung ÜSS
- **PAK-Einsatz kann optimiert werden** (PAK-Typ, Dosis und Dosierort – Abwassermatrix)
- **PAK kann bedarfsgerecht dosiert werden** (Q, DOC oder SAK254-abhängig)

- **GAK-Verbrauch abhängig von erreichte Bettvolumina** (BV, m³/m³)

Verbrauch AK bei GAK-Raumfiltration

- spezifischer AK-Verbrauch bei GAK-Nutzung abhängig von erreichten Bettvolumina (BV)
- erreichbare BV abhängig von Kontaktzeit (EBCT)
- längere Standzeit GAK (BV) bei gleichem Abbruchkriterium bei Vor-Ozonung des Abwassers möglich

spezifisches Gewicht GAK kg/m^3

erreichte BV m^3/m^3

= AK-Dosis in kgAK/m^3 Abwasser behandelt

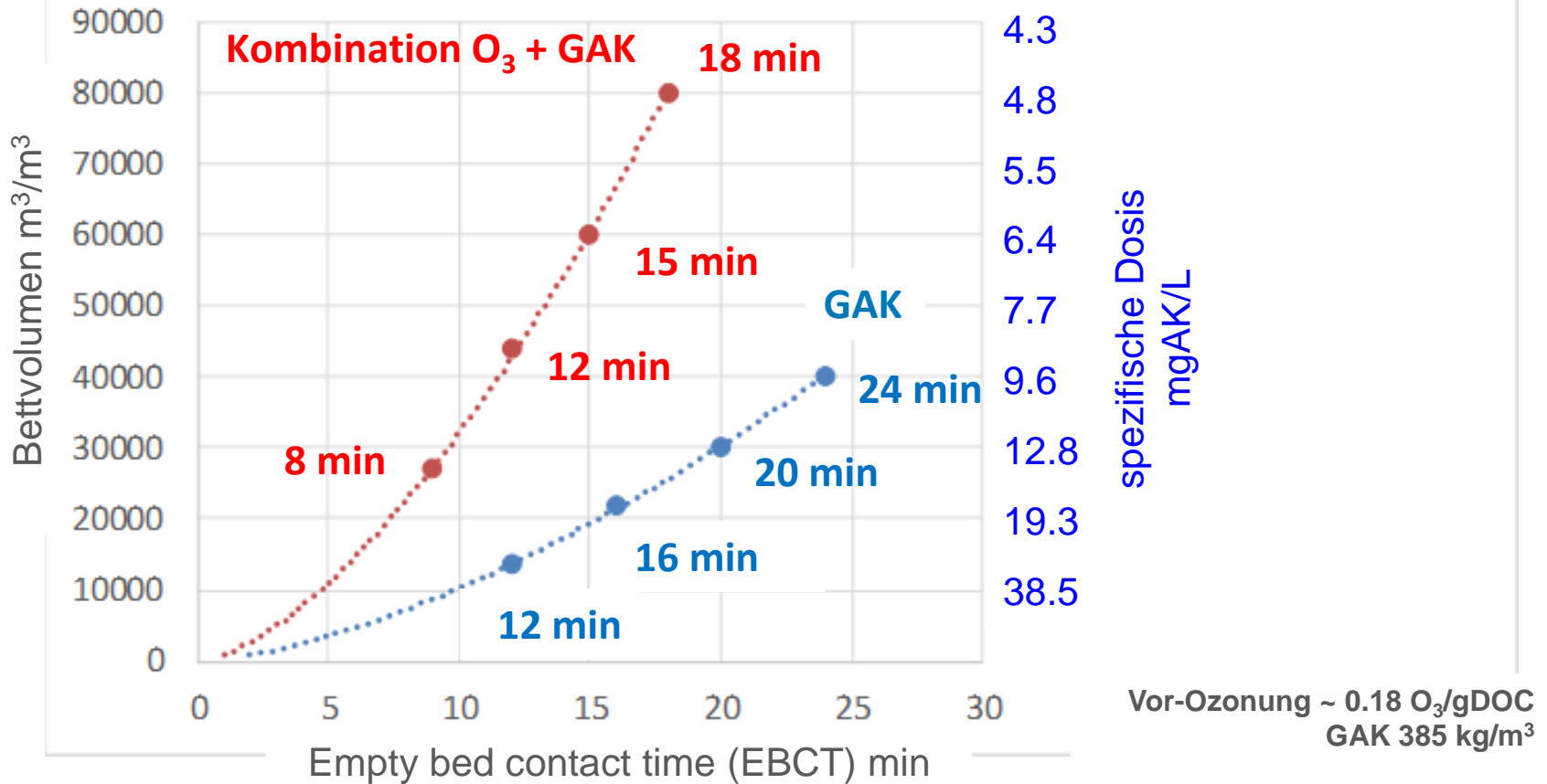


Befüllung einer Filterzelle mit GAK,
 ARA Furt, Bülach



BV vs. EBCT vs. AK-Verbrauch Raumfilter

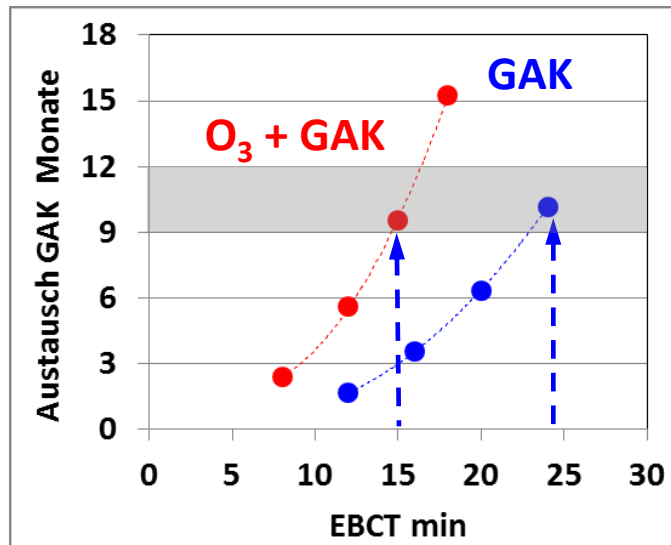
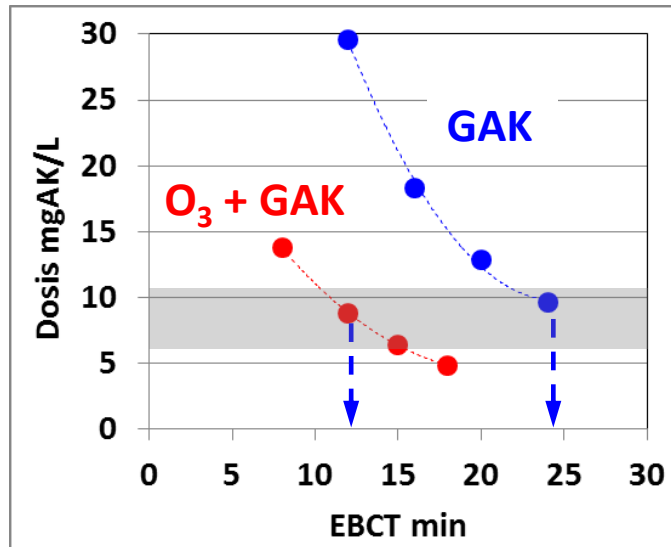
Fallbeispiel ARA Bülach (*errechnete BV via empirisches Modell Eawag)



* Modell passt nur für Abwassermatrix Bülach (5.5 mg DOC/L) sowie eingesetzte GAK (Qualität/Körnung)

Quelle/Daten: Baggenstos, M., Joss, A., Hernandez, A., McArdell, C.S., Böhler, M., Siegrist, H., et al., Verbund-Projekt EMV ARA Furt, Bülach 2018

BV vs. EBCT vs. AK-Verbrauch Raumfilter



- PAK-Bedarf für Bülach bei \emptyset 5.5 mgDOC/L und 1-2 mgPAK/mgDOC:

6-11 mgPAK/L

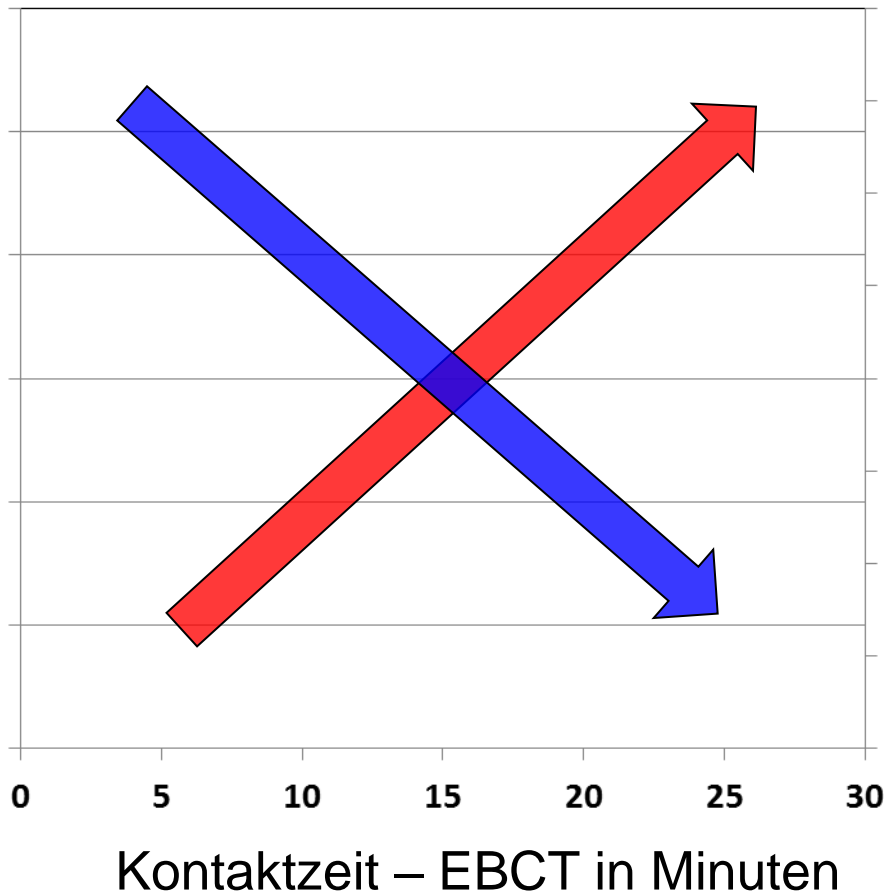
- Austauschintervall einer Zelle $\frac{3}{4}$ bis 1 Jahr realistisch

6 Filterzellen
Jahreswassermenge
4.2 Mio. m³

Investitionskosten vs. EBCT vs. AK-Verbrauch



spezif. Aktivkohleverbrauch
mgAK/L



Investitionskosten / Jahreskosten

- mit zunehmender Kontaktzeit geringerer AK-Verbrauch
- Zunehmende Investitionskosten mit zunehmender Kontaktzeit

Zusammenfassung



- Produktion und Reaktivierung von AK ist Ressourcen aufwendig => Energieverbrauch und CO₂-Footprint (KEA und THP) höher als Ozon
- Nachhaltige AK sollte möglichst auch soziale u. ökon. Aspekte berücksichtigen
- Wahl eines optimalen Verfahren und optimierte Prozessführung wichtig!
- Effiziente AK-Produkte evaluieren sowie Qualität der PAK stetig prüfen (Tests)
- Reaktivate und AK auf Basis biogene Ausgangsrohstoffe bevorzugen und entsprechend ausschreiben und positiv bewerten
- PAK möglichst bedarfsgerecht Dosieren (z.B. DOC-Frachganglinie oder online UV_{in}-proportional)
- GAK hat Vorteile bei Nachhaltigkeit aufgrund der Option der Reaktivierung
- Spezif. GAK-Verbrauch kann in Grössenordnung PAK-Bedarf bei gleichem Qualitätsziel sein, wenn HRT ≥ 20 min., dann aber höhere Invest.-kosten
- Ein «Öko»Labeling der AK wird von Herstellern und Lieferanten begrüsst!!



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

«Es gibt in der Aktivkohle-Branche kein Abfall, jedes Gramm Kohle wird gebraucht, bis es in der Verbrennung landet»

Zitat eines AK-Herstellers beim DWA-Fachgespräch vom 01.02.2016, Emscherhaus, Essen (D)

DWA-Fachausschuss KA8.6 „Aktivkohleeinsatz auf Kläranlagen“