

«*Welche GAK ist am besten geeignet?*»

- Hinweise und Kriterien zur Auswahl von granulierter Aktivkohle in der Raumfiltration zur EMV

Marc Böhler, Eawag, Abteilung Verfahrenstechnik

marc.boehler@eawag.ch



- **Pulveraktivkohle (PAK)** – 5 bis 100 μm
- *Super feine PAK* – 0.1 bis 10 μm

Kornkohle:

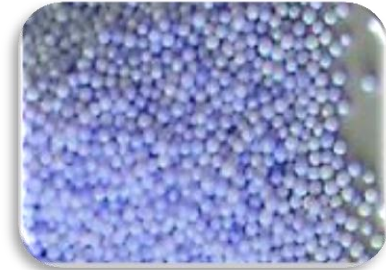
- **granulierte Kohle (GAK)** – *Direkt-Aktivate und Re-Agglomerate* - 0.5 bis 2.5 mm
- μGAK - 0.2 – 0.9 mm bzw. 0.3 bis 0.8 mm
- *sphärische, synthetische AK* – $d = 1 \text{ mm}$
- **Form-Aktivkohle (Extrudate)** – $d = 0.8$ bis 2 mm, Länge 6 bis 10 mm

Quelle:

<http://www.desotec.com/de/aktivkohle>



fossile Materialien:



Anthrazit

Braunkohle (Lignite)

Steinkohle

**synth. Polymer
(Erdöl)**

biogene Materialien (Auswahl):



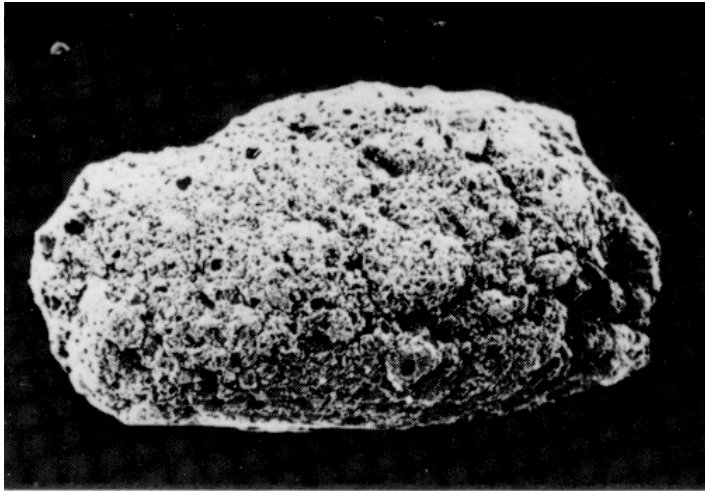
**Kokosnussschalen
Palmölschalen**

Olivenkerne

Holz (z.B. Kompostrestholz)

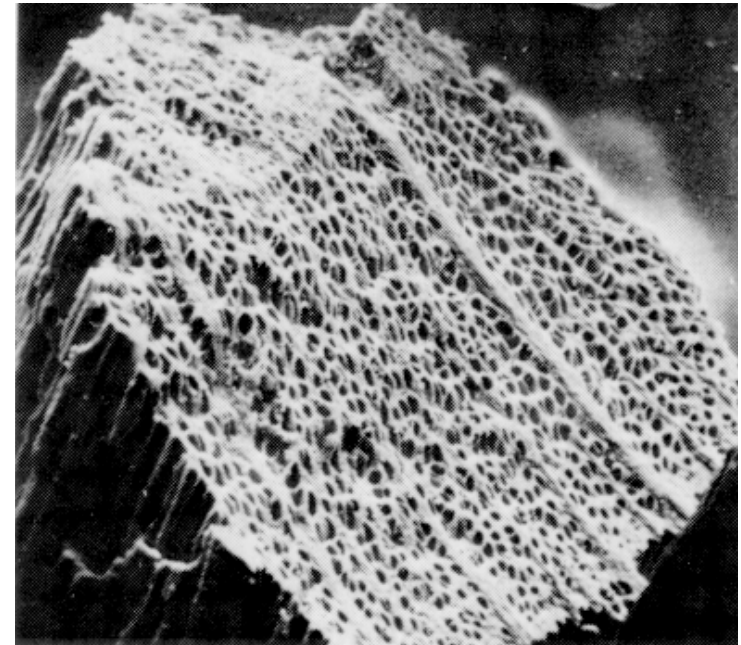
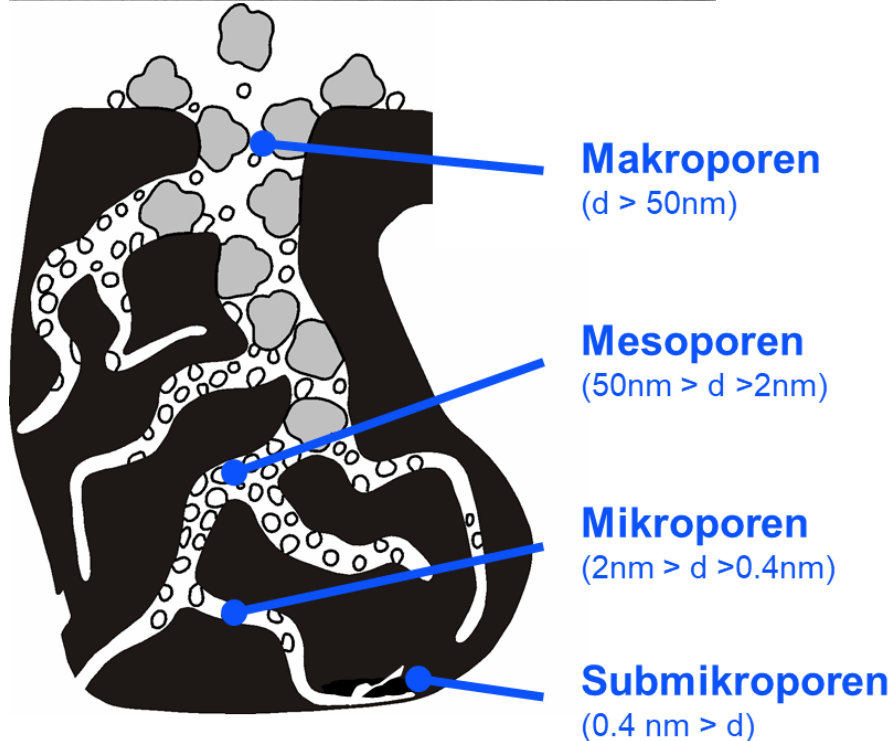
Torf

weitere organische Materialien, welche Kohlenstoff beinhalten, möglich!



REM-Aufnahmen von zwei gasaktivierten Aktivkohlen mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialien

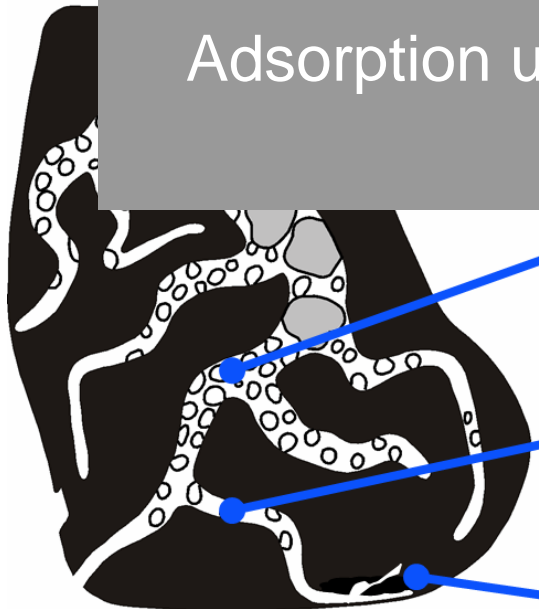
(links Steinkohle, unten Holz, Bilder TU Berlin, Prof. Dr. M. Jekel)





REM-Aufnahmen von zwei gasaktivierten Aktivkohlen mit unterschiedlichen Ausgangsmaterialien

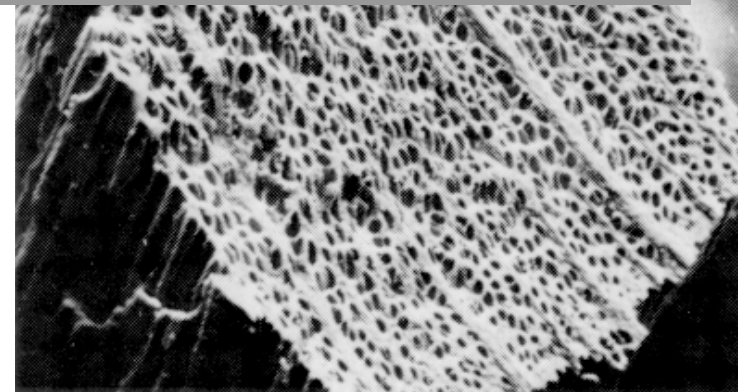
Die Vielfältigkeit der Art der Ausgangsrrohstoffe und deren wechselnden Qualitäten sowie die Art der Aktivierung beeinflussen massgeblich die Qualität, die Effizienz der Adsorption und die physikalischen Eigenschaften der Aktivkohle



Mesoporen
(50nm > d > 2nm)

Mikroporen
(2nm > d > 0.4nm)

Submikroporen
(0.4 nm > d)



Kenngrößen zum Adsorptionsverhalten:

- Parameter zum Adsorptionsverhalten:
- Beladungskennzahlen: Iodzahl, Methylenblauzahl, Melassezahl, Nitrobenzolzahl
- zur Kinetik: Stoffübergangskoeffizienten
- zur Bettgeometrie: Bettporosität, spezifische äußere Kornoberfläche
- zur inneren Korngometrie: Korndurchmesser, Porosität, Porenradienverteilung, innere Oberfläche (BET), Tortuosität

Diese Parameter bzw. Kennzahlen geben nur bedingt Auskunft über die Leistungsfähigkeit bezüglich EMV der AK bzw. Standzeit der GAK (Bettvolumina) im Filter bis zum Abbruchkriterium

Viel Wissen bei PAK – - erste Erfahrungen und Hinweise zur GAK-Wahl



Fünf bis zehn Gramm Pulveraktivkohle weisen die Oberfläche eines Fußballfeldes auf. Das faszinierende schwarze Pulver kann vielerorts eingesetzt werden, zum Beispiel auf Abwasserreinigungsanlagen, um Mikroverunreinigungen aus dem Abwasser zu eliminieren – und dies immer häufiger. Auf dem Markt sind zahlreiche PAK-Sorten verfügbar, die zwar zussätzlich nicht zu unterscheiden sind, aber dennoch unterschiedliche Eigenschaften aufweisen. Dieser Artikel soll Betreiber und Ingenieure bei der Entscheidung unterstützen, welche Pulveraktivkohle für ihr Abwasser optimal ist und wie sie die Qualität neuer Lieferungen überprüfen können.

Aline Meier*, VSA-Plattform Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen; Marc Bihler, Daimler

HINTERGRUND

Aktivkohle (AK) kann vielfältig eingesetzt werden – auch vor allem im Alltag: Sei es als Kohletabletten oder als Aktivkohle-Filter zur Luft- oder Wasserreinigung. Zusammen mit auch auf kommunalen Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zur Elimination von Mikroverunreinigungen (MV) zum Einsatz. Die gesetzlichen Voraussetzungen für diesen schweizerischen ARA-Ansatz sind in [1] beschrieben. In der Schweiz ist Pulveraktivkohle (PAK) höher auf der ARA Buchs in Herisau, der ARA Thunsee (Fig. 1) und der ARA Schiltli in Cham in Gebrauch, auf der ARA Pöschel wird granulierte Aktivkohle (GAK) eingesetzt. Aktuell sind zahlreiche Projekte zur Elimination von MV mit AK bereits im Bau oder noch in Planung. Der PAK-Einsatz auf ARA wird in Zukunft also zunehmen. Der Fokus des vorliegenden Artikels ist auf PAK gerichtet, wobei einige Aussagen auch auf GAK zutreffen (Bsp. 2). PAK-Einsteller bieten meist eine hohe Anzahl an Produkten und Variationen auf dem Markt an. Noch gibt es keine Produkte, die gezielt für den Einsatz auf ARA entwickelt wurden. Zudem kann die Zusammensetzung des zu behandelnden Abwassers, die sogenannte Abwassermatrix, sehr unterschiedlich sein, was die Effizienz der PAK massgeblich beeinflusst.

*aktuelle: aline.meier@vsa.ch

RÉSUMÉ

CHARBON ACTIF EN POUDRE – LEQUEL CONVIENT? CHOIX, ACQUISITION ET ASSURANCE QUALITÉ DU CAP POUR ÉLIMINER LES MICROCONTAMINÉS
Actuellement, trois stations d'épuration (STEP) en Suisse utilisent le charbon actif en poudre (CAP) pour éliminer les micropolluants. D'autres stations d'épuration sont en construction ou en cours de planification, ce qui augmentera les besoins en CAP dans les STEP des prochaines années. Les exigences en matière de qualité de CAP varient selon l'utilisation. Il n'existe actuellement pas de produit spécialement développé pour l'utilisation dans les STEP. Les indicateurs courants pour le CAP ne conviennent pas pour décrire sa performance dans l'élimination de micropolluants. Il n'est donc pas clairement défini, quelles caractéristiques un CAP doit posséder pour être efficace dans cette utilisation. La composition des eaux usées exerce une influence considérable sur la performance d'épuration de CAP. Cela signifie que différents produits conviennent plus ou moins bien pour atteindre un objectif de performance identique dans des eaux usées déterminées, et nécessairement ainsi une dose plus ou moins importante. La difficulté pour les exploitants de STEP consiste donc à trouver, dans la large palette de produits, le CAP présentant un rapport performance/ prix optimal pour leurs eaux usées. C'est néanmoins important, car cela détermine les coûts d'exploitation, la stabilité opérationnelle et les conséquences pour l'environnement.

> 81

Meier, A. und Böhler, M. (2019),
Fachartikel AQUA & GAS
1/2019, download VSA

Fachbeiträge

Kommunale Abwasserbehandlung 125

Praxiserfahrungen zum Einkauf und zur Qualitätskontrolle von Pulveraktivkohle bei der kommunalen Abwasserbehandlung

Annette Rößler (Stuttgart) und Aline Meier (Dübendorf/Schweiz)

Zusammenfassung

Insbesondere in Baden-Württemberg wird bereits seit einigen Jahren auf mehreren Kläranlagen Pulveraktivkohle zur gezielten Spurenstoffentnahme eingesetzt. Die Eignung eines Produktes für den vorliegenden Anwendungsfall lässt sich jedoch nicht mit klassischen Kenngrößen wie zum Beispiel der Iodzahl oder der Nitrobenzolzahl beschreiben. Mit einer Umfrage sollten daher die bisherigen Praxiserfahrungen zusammengetragen werden, nach welchen Kriterien der Einkauf von Pulveraktivkohle erfolgt und ob die Qualität der gelieferten Charge mittels Eigenkontrolle überprüft wird. Die Auswertungen zeigen, dass der Qualität der eingehenden Produkte bislang in vielen Fällen kaum Bedeutung beigemessen wird und dass bei der Kaufentscheidung oftmals nicht die Wirtschaftlichkeit, sondern allein der Preis pro Kilogramm oder Tonne ausschlaggebend ist. Auf Grundlage der vorhandenen Erfahrungen werden Empfehlungen für den Einkauf und die Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität ausgeprochen.

Schlüsselwörter: Abwasserreinigung, kommunal, Pulveraktivkohle, Einkauf, Qualität, Spurenstoff, Elimination
DOI: 10.22424/wat2019.02.005

Abstract

Practical experiences with the procurement and quality assurance of activated carbon powder for urban wastewater treatment

Several sewage treatment plants have used activated carbon powder for the targeted removal of trace elements for a number of years now, especially in the state of Baden-Württemberg. However, the suitability of a product for the use case in question cannot be described using traditional parameters, such as its iodine or nitrobenzene numbers. A survey thus aimed to compile practical lessons learned to date with the criteria used to procure activated carbon powder and whether the quality of the delivered batch is checked using self-monitoring. Analyses show that little importance has been attached to the quality of the purchased product in many cases. When making buying decisions, it is often the price per kilogram or tonne alone rather than its cost-effectiveness that is key. Recommendations are made for procurement and self-monitoring of activated powder carbon quality based on the lessons learned to date.

Key words: wastewater treatment, municipal, activated carbon powder, procurement, quality, trace substances, elimination

1 Einleitung

Zwischenzeitlich wird auf mehreren Kläranlagen Pulveraktivkohle zur gezielten Spurenstoffentnahme aus dem Abwasser eingesetzt. Hinsichtlich des Einkaufs von Pulveraktivkohle besteht jedoch für die Betreiber solcher Anlagen die Schwierigkeit, dass es keine standardisierten Parameter gibt, mit denen die Anforderungen an die Reinigungsleistung einer Pulveraktivkohle beschrieben werden können. Aus diesem Grund wird der Einkauf von Pulveraktivkohle auf den einzelnen Anlagen in unterschiedlicher Weise, teilweise auch unter Festlegung eigener Qualitätskriterien, gehandhabt. Vergleichsweise wenig Erfahrung ist darüber hinaus in Bezug auf eine mögliche, selbst durchzuführende Qualitätskontrolle der angelieferten Chargen vorhanden. Wie diese überhaupt durchgeführt? Wenn ja, wie? Und welche Parameter werden gemessen?

Um die Praxiserfahrungen zu diesen beiden Themen zu bündeln, wurde vom Kompetenzzentrum Spurenstoffe Baden-Württemberg und der schweizerischen VSA-Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“ eine gemeinschaftliche Fragebogenaktion durchgeführt. Ziel dieser Erhebung war zunächst die Erfassung des „Ist-Zustandes“, um darauf basierend den jetzigen und zukünftigen Kläranlagenbetreibern solcher Verfahren Tipps und Hinweise für den Einkauf von Pulveraktivkohle und einer möglichen Eigenkontrolle der Pulveraktivkohlequalität geben zu können.

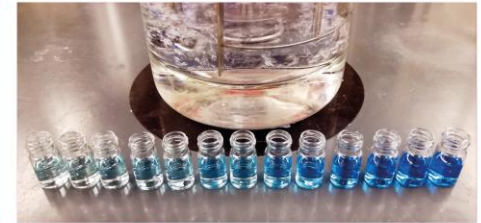
2 Durchführung der Fragebogenaktion

Der Fragebogen wurde gemeinsam entworfen und Ende 2017 über das jeweilige „Kompetenzzentrum“ an die Betreiber der

TestTools

Marin Jekel | Frederik Zietzschmann (Hrsg.)

TestTools – Entwicklung und Validierung von schnellen Testmethoden zum Spurenstoffverhalten in technischen und natürlichen Barrieren des urbanen Wasserkreislaufs



Universitätsverlag der TU Berlin



Zietzschmann et al., (2019), Hrsg.
Jekel, M. und Zietzschmann, F.,
Universitätsverlag der TU Berlin,
download TU Berlin

Rössler, A. und Meier, A.
(2019), Korrespondenz
Abwasser 2/2019



Böhler, M. (2019), VSA/Eawag-
Anleitung, download VSA



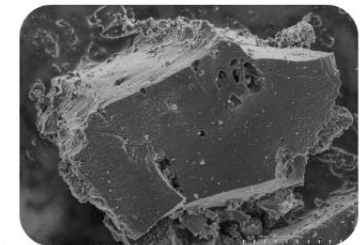
Plattform
„Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“

eawag
aquatic research 000

Eawag:
Das Wasserforschungsinstitut der ETH - Bereiche

ANLEITUNG

Laborversuche zur Bestimmung
der Reinigungsleistung von Pulveraktivkohle zur
Entfernung von Mikroverunreinigungen
auf Kläranlagen



Herausgeber: VSA Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“
Eawag – Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
download: www.micropoll.ch, Ausgabe 1/ Stand: Mai 2019



- Schnelltests z.B. rapid small-scale column test (RSSCT)
- GAK wird für die Versuche pulverisiert
- Kolonnen sehr klein $d = 0.8 \text{ cm}$
- sehr kurze Kontaktzeiten ($\text{EBCT} < 1 \text{ Minute}$)
- Laufzeit mehrere Tage

Foto: F. Benstöm, RWTH Aachen

- **Relativvergleiche möglich**
- **Die Verfahren sind wenig in ihrer Testanwendung mit der tatsächlichen Anwendung in der volltechnischen Raumfiltration vergleichbar**



- Tests für Pilotierung AVG – Vorauswahl geeigneter GAK-Typen
- repräsentative AK-Einwaage mit gleich verteilter Korngrösse (z.B. 400 mg)
- grosse Abwassermenge z.B. 25 L
- Behälter sehr gross
- Lange Kontaktzeiten z.B. 50 – 80 Tage
- Dosis: 20 / 40 mg/L



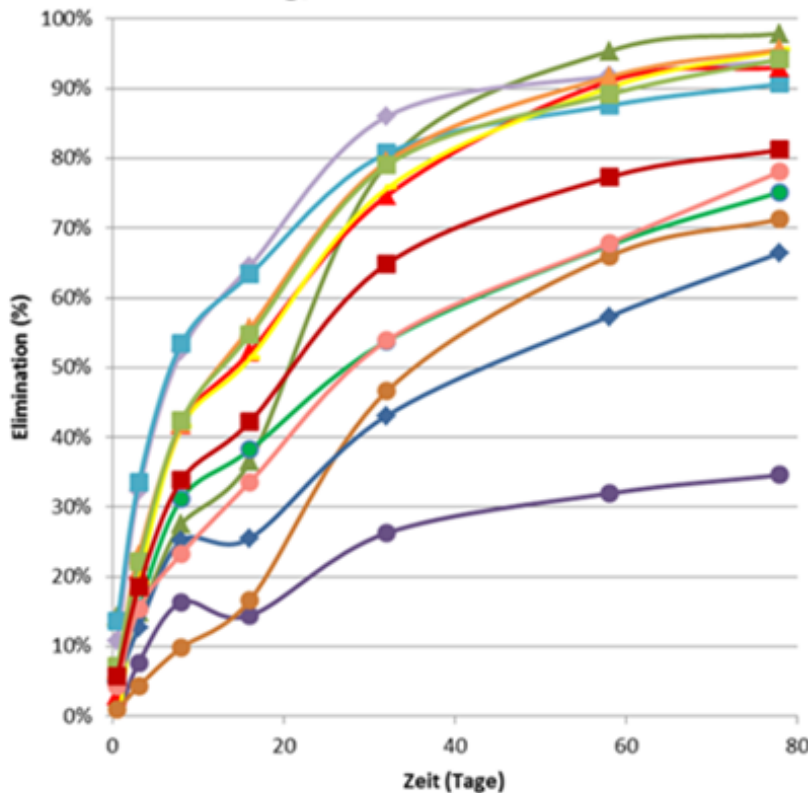
Pilotversuche zur erweiterten
Abwasserbehandlung mit granulierter
Aktivkohle (GAK) und kombiniert mit
Teilozonung (O3/GAK) auf der ARA
Glarnerland (AVG)
McArdell/Böhler 2017-2019

Fotos: M. Böhler, Eawag

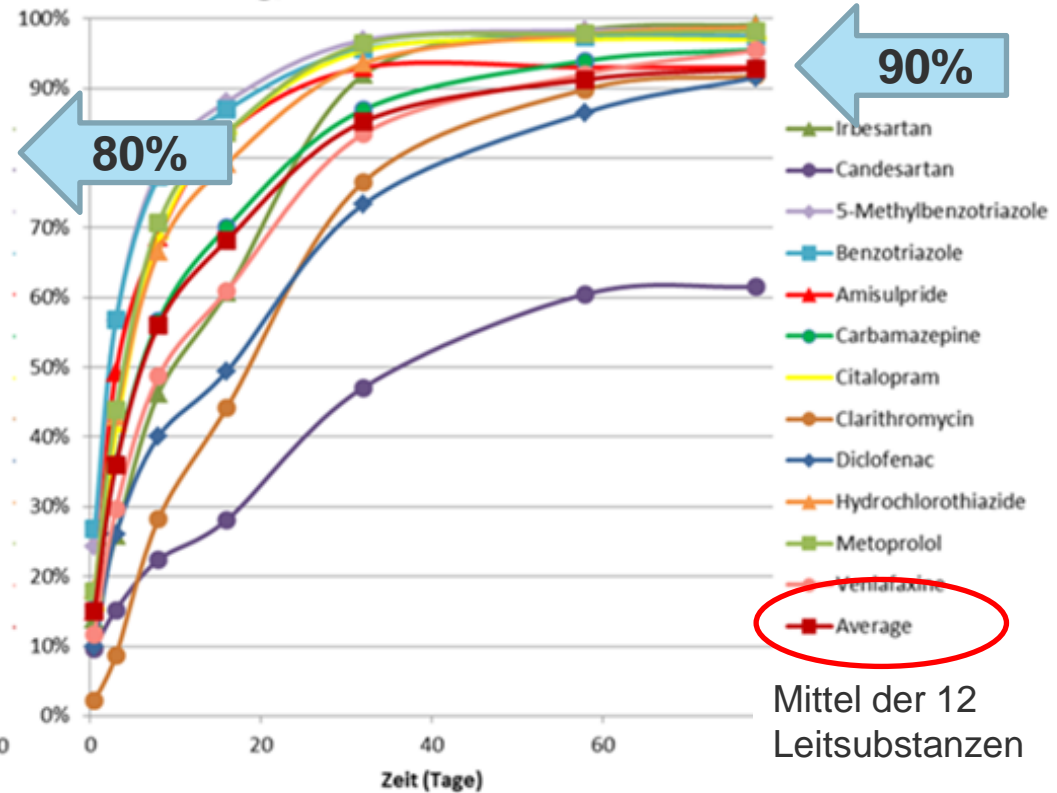
Auswahl von GAK mittels Tests

- Laufzeit 80 Tage
- Vergleich verschiedene Dosis

GAK A 20 mg/L

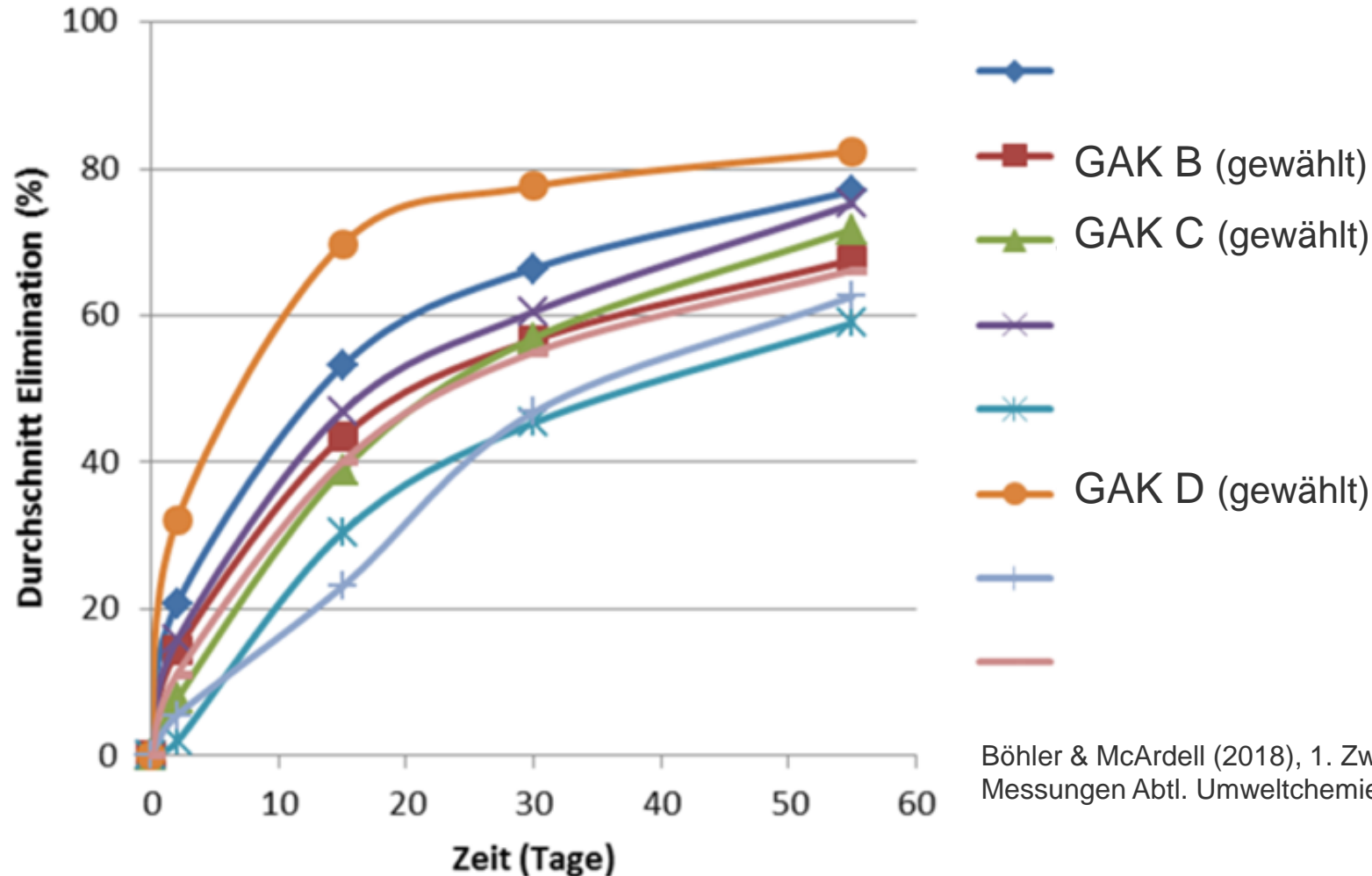


GAK A 40 mg/L



Auswahl von GAK mittels Tests

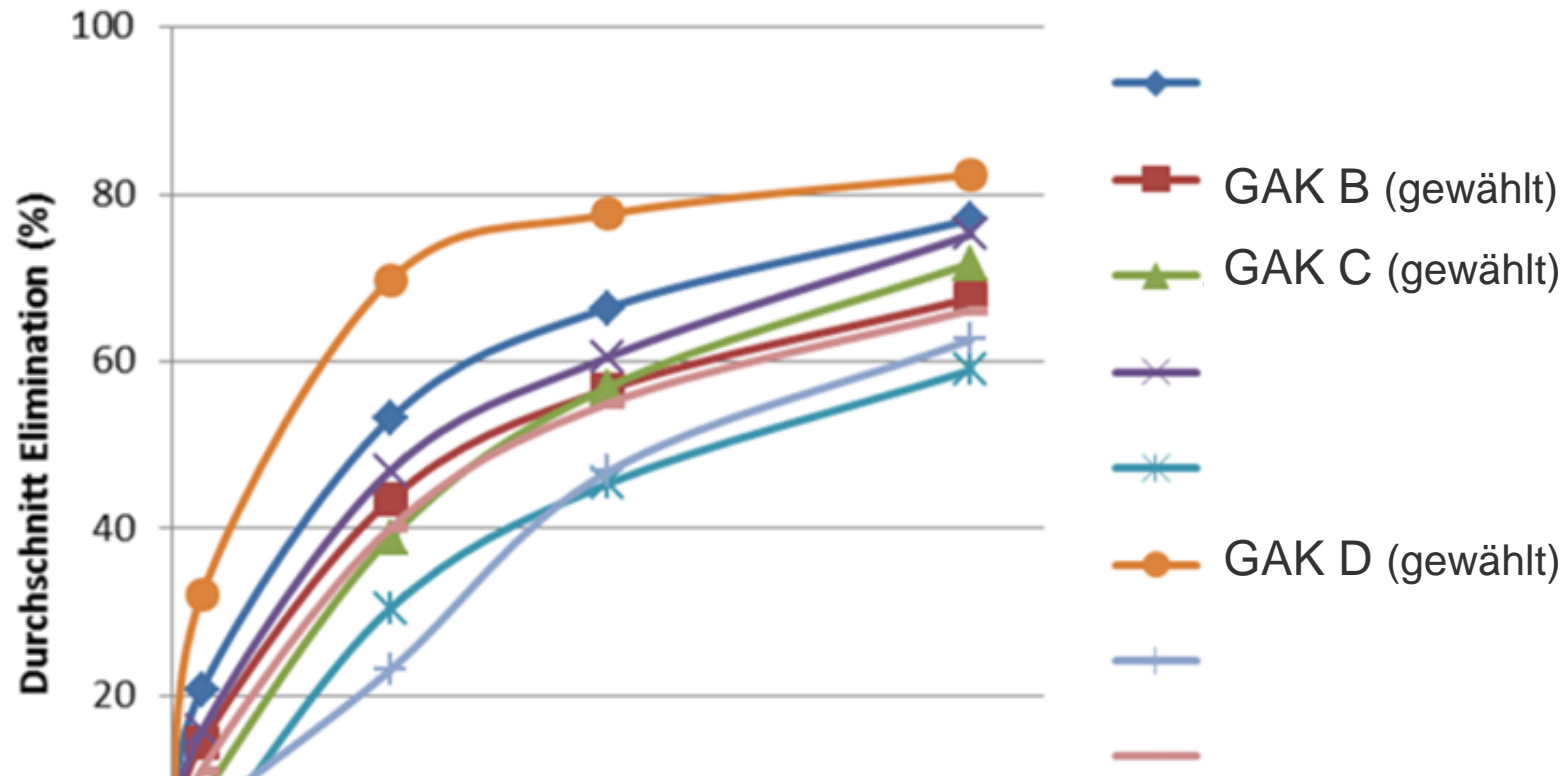
- Laufzeit 55 Tage
- Vergleich 8 GAK
- gleiche Dosis 20 mg/L
- gleiche Korngrößenverteilung



Böhler & McArdeil (2018), 1. Zwischenbericht AVG – Messungen Abtl. Umweltchemie, Eawag

Auswahl von GAK mittels Tests

- Laufzeit 55 Tage
- Vergleich 8 GAK
- gleiche Dosis 20 mg/L
- gleiche Korngrößenverteilung



- Relativvergleiche bezüglich Kinetik – Adsorptionskapazität möglich
- zur Vorauswahl geeignet
- bildet bedingt Verhalten im Raumfilter ab



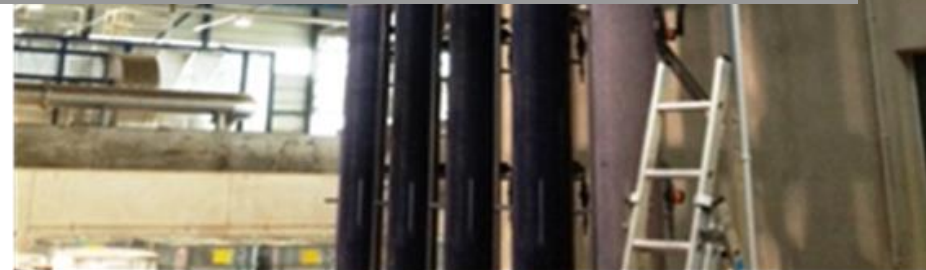
- Tests beim AVG mit 4 verschiedenen Kohlen
- ohne / mit Vorozonung
- Zwei Kontaktzeiten
- Laufzeit 50'000 BV – 31 Monate

Fotos: M. Böhler, Eawag

- **Halb- oder volltechnische Teststellungen zur Ermittlung der Eignung und Standzeit (BV) verschiedener GAKs geben bislang die verlässlichsten Hinweise zur Wahl des GAK-Typs!**
- **Die Auswahl der geeigneten GAK hat grossen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit (GAK-Austausch) und Betrieb (Spülungen) des Verfahrens!**

verschiedenen Kohlen

- ohne / mit Vorozonung
- Zwei Kontaktzeiten
- Laufzeit 50'000 BV – 31 Monate



Weitere wichtige Aktivkohleparameter bzw. Qualitätskriterien:

- Schüttdichten
- Korngrößenverteilung (Siebkurve)
- Fluidisierungsgeschwindigkeit (Spülverhalten)
- Härte
- Ascheanteil
- Wassergehalt
- Benetzbarkeit
- wasserlösliche Verbindungen

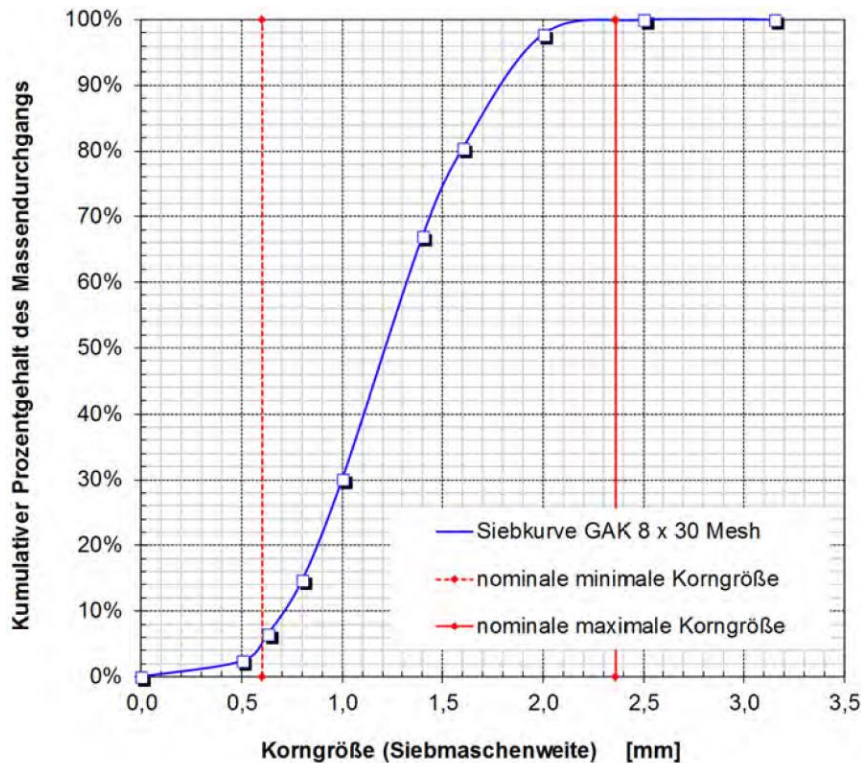
- Schüttdichte (trocken),
- Rütteldichte
- Schüttdichte nach Spülung (geordnete Schüttschicht – Stratifizierung im Bett)

$$\rho_{\text{spül}} = 0,86 \times \rho_{\text{schütt}} \quad (\text{DWA Themenband, 2019})$$

Bestimmung Schüttdichte 10 x 20 mesh								
Nr	Typ	Masse in g 1	Masse in g 2	Masse in g 3	Masse in g gemittelt	Dichte in kg/m3		
1	GAK 3/4	491	493	495	493	402		
2	GAK 6/7	556	560	558	558	455		
3	GAK 5	440	443	443	442	360		
4	GAK 1/2	60	61	59	60	187		
Bestimmung Rütteldichte 10 x 20 mesh								
Nr	Typ	Masse in g 1	Masse in g 2	Masse in g 3	Masse in g gemittelt	Dichte in kg/m3	Unterschied in %	
1	GAK 3/4	569	566	568	568	463	15.1	
2	GAK 6/7	633	635	630	633	516	13.4	
3	GAK 5	513	509	509	510	416	15.5	
4	GAK 1/2	68	69	68	68	213	13.9	

- Grösse GAK oft als mesh-Angabe
- Beispiel Siebkurve 8 x 30 mesh = 2.36 x 0.6 mm

mesh -
Umrechnungstabelle



CABOT
NORIT ACTIVATED CARBON

Worldwide leader in activated carbon products, reactivation and related services
ISO 9001 Certified

Mesh Size Converter

SIEVE Opening mm	Particles	ASTM	Former JIS 日本	BS
5.60	●	3.5	3.5	3
4.75	●	4	-	3.5
4.00	●	5	5	4
3.35	●	6	6	5
2.80	●	7	7	6
2.36	●	8	8	7
2.00	●	10	9	8
1.70	●	12	10	10
1.40	●	14	12	12
1.18	●	16	14	14
1.00	●	18	16	16
0.85	●	20	20	18
0.71	●	25	24	22
0.60	●	30	28	25
0.50	●	35	32	30
0.425	●	40	35	36
0.375	●	45	42	44
0.300	●	50	48	52
0.250	●	60	60	60
0.212	●	70	65	72
0.180	●	80	80	85
0.150	●	100	100	100
0.125	●	120	115	120
0.106	●	140	130	150
0.090	●	170	170	170
0.075	●	200	200	200
0.063	●	230	230	240
0.053	●	270	270	300
0.045	●	325	325	350
0.038	●	400	400	400

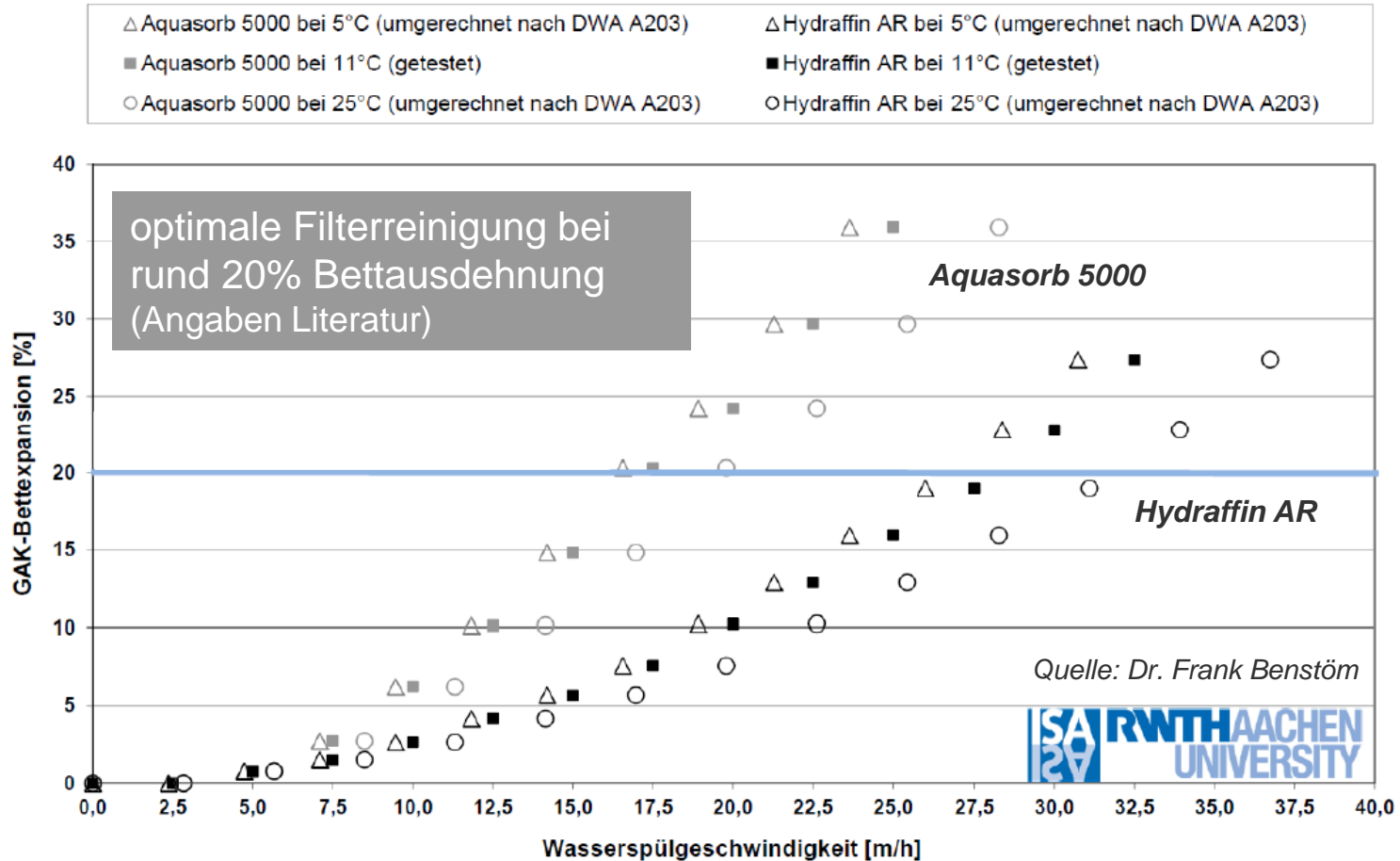
Cabot Norit Nederland B.V.
EMEA Region
P.O. Box 135
3800 AC Amersfoort
The Netherlands
T +31 33 46 48 811
F +31 33 46 17 429
E amersfoort.info@cabotcorp.com
I cabotcorp.com

Die Korngrösse hat Einfluss auf:

- die Kinetik der Adsorption
- Masse Kohle im Filter (Schüttdichte, Schüttdichte nach Spülung)
- Effizienz der Absiebung/Rückhalt von Feststoffen des Raumfilters
- Bettexpansion bzw. Rückspülverhalten – Lauflänge Filtration

bevorzugte Korngrößen GAK-Raumfilter:

- Bei **bestehenden Filtern** Berücksichtigung der Schlitzweite Spüldüsen und Feststoffgehalt im Zulauf – bei aufwärts betriebenen Stüttschicht grobe GAK (z.B. 4x8 mesh – keine Mischung mit anderen Materialien!
- **Nach NKB:** 10x20 mesh = 0.85 - 2.0 mm (z.B.: AVG) oder 8x30 mesh = 0,6–2,36 mm (handelsüblich)
- **Nach Sandfilter:** 12x40 mesh = 0.42 - 2.36 mm (z.B.: AVA, Ara Muri)



Einflussgrößen:

- spezifisches Gewicht GAK
- Korngrößenverteilung
- Rückspülgeschwindigkeit

Auswirkungen:

- Abrasion
- Spülwasser- / Luftverbrauch
- GAK-Verluste
- Ausgestaltung / Geometrie Filterzelle



Schwimmkohle



manuelle Entfernung der
Schwimmkohleschicht nach
Erstbefüllung mit GAK auf der ARA
Furt (Bülach)

- Schwimmkohle durch Rückspülung verloren oder muss anderswertig ausgetragen werden
- Benetzung kann bis zu mehreren Tagen dauern (*in Abhängigkeit des GAK-Typs*)
- Testverfahren zur Bestimmung der Benetzbarkeit spiegeln die Realität der Praxis nicht wieder!
- Testverfahren durch DVGW-TechnologieZentrum **W**asser (TZW) in Arbeit

Tabelle 1: Anforderungen an Kornaktivkohlen hinsichtlich ihrer Benetzbarkeit und Testmethoden

Norm/Regelwerk	Anforderung	Testmethode (Kurzbeschreibung)
DIN EN 12915-1 [2] DVGW-Arbeitsblatt W 239 [1]	benetzbarer Anteil: > 99 Gew.-%	<ul style="list-style-type: none">• Produkt wird in siedendes Wasser gegeben• Probe wird 10 Minuten am Sieden gehalten• Nach Abkühlen wird der Überstand abfiltriert
AWWA-Norm ANSI / AWWA B604-12 [4]	nicht benetzbarer Anteil: max. 5 Gew.-%	<ul style="list-style-type: none">• Zugabe von Wasser zum Produkt im Becherglas• 5 Minuten Rühren (Magnetrührer)• Mindestens 10 Minuten Absetzzeit• Abschöpfen der aufschwimmenden Aktivkohle

Quelle: Haist-Guide



- Schwimmkohle durch Rückspülung verloren oder muss anderswertig ausgetragen werden
- Benetzung kann bis zu mehreren Tagen dauern (*in Abhängigkeit des GAK-Typs*)
- Testverfahren zur Bestimmung der Benetzbarkeit spiegeln die Realität der Praxis

Benetzung und Problematik Schwimmkohle:

- Hinreichende Zeit zur Benetzung geben – mehrere Tage ruhen lassen – erst dann Spülungen mit Wasser
- Angaben vom Hersteller bezüglich Schwimmkohle-Anteil einfordern
- Ausschreibung nach benetztem Schütt-Volumen
- Abrechnung gemäss Aufmass nach vollständiger Benetzung

AWWA-Norm ANSI /
AWWA B604-12 [4]

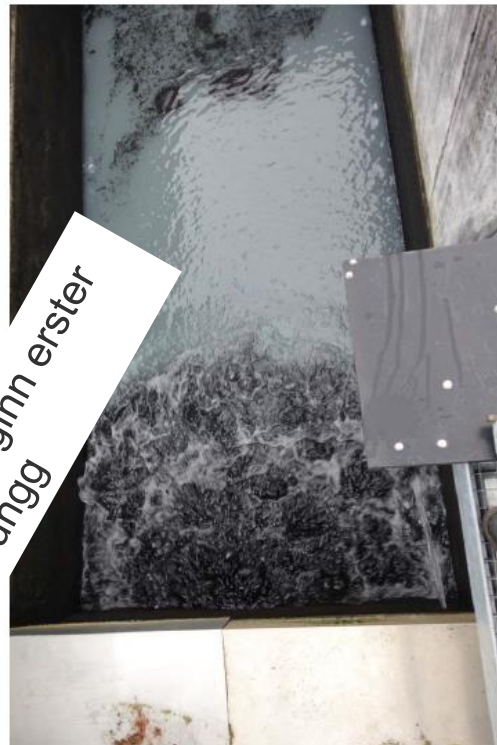
nicht benetzbarer
Anteil: max. 5 Gew.-%

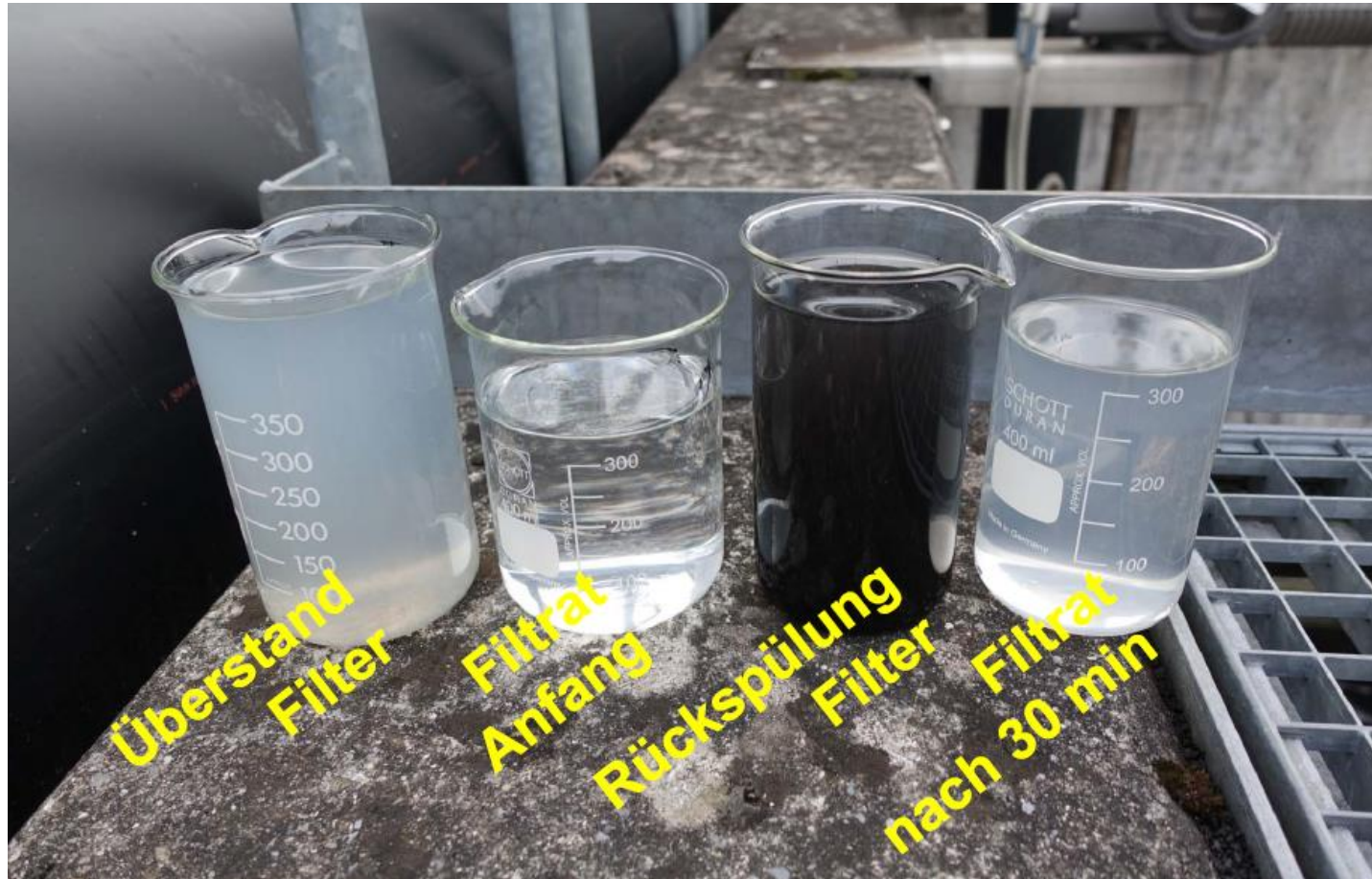
- Zugabe von Wasser zum Produkt im Becherglas
- 5 Minuten Rühren (Magnetrührer)
- Mindestens 10 Minuten Absetzzeit
- Abschöpfen der aufschwimmenden Aktivkohle

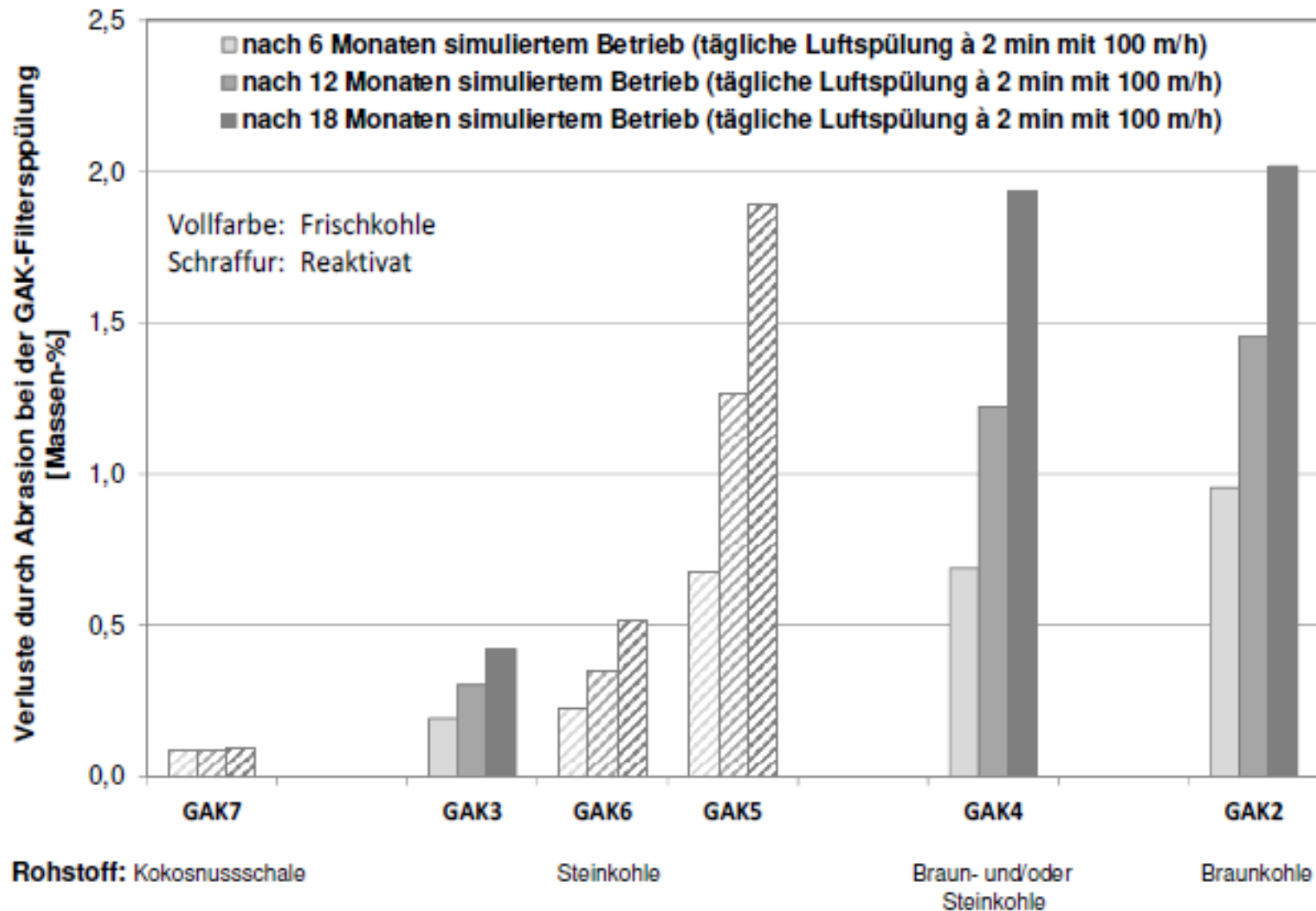
Quelle: Haist-Guide



- beträgt i.d.R. zwischen 3 bis 15% des Aktivkohlegewichts
- maximal 15% nach DIN EN 12915-1
- pH-Anstieg/Peak im Erstfiltrat nach Inbetriebnahme nach Austausch der GAK - sehr relevant nach Reaktivierung!









- Bei der klassischen Abwasser-Raumfiltration mit GAK ist der AK-Schlupf durch Rückspülungen vernachlässigbar bei Verwendung geeigneten GAK ausreichender Härte!
- Eine erste Erfahrung mit GAK auf Basis Holz war negativ – nicht formbeständig bzw. Zerkleinerung (auch Abrieb?) – zu geringe Härte – Kohle quollte auf, wurde weich!
- GAK / PAK auf Basis biogener Rohstoffe in der Entwicklung (z.B. Projekt «NextGen» + «Empyrion»)

Rohstoff: Kokosnussschale

Steinkohle

Braun- und/oder
Steinkohle

Braunkohle

- Aktivkohlen sind in ihren Eigenschaften sehr divers. Bisherige Aktivkohlekennzahlen für die Auswahl von GAK für die EMV aus kommunalem Abwasser ungeeignet.
- Bislang kein verlässliche Labor-Testmethoden für die Auswahl von GAK - **halbtechnischen Versuchen sind anzuraten**, um Verhalten in der Großtechnik mit hoher Genauigkeit (zusätzl. biol. Abbau) vorauszusagen (**erreichbare BV**). - Wichtig **für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen!**
- Ausschreibungstexte lückenlos, für alle Seiten nachvollziehbar und nachprüfbar formulieren, um dem Naturprodukt „Aktivkohle“ gerecht zu werden - repräsentative Rückstellproben nach einem definierten Verfahren nehmen.
- Bereits einiges Wissen vorh. – dennoch muss weitere Praxis mehr Erfahrungen bringen - Entwicklung von geeigneten Testverfahren sehr wünschenswert!
- **Miteinander in Austausch treten – Betreiber – Planer – Anlagenbauer – AK-Lieferanten - Forschung!!**

Danke für Ihr Interesse!



VSA Plattform „Verfahrenstechnik Mikroverunreinigungen“

Diese Präsentation wurde durch Beiträge folgender Personen freundlichst unterstützt:

Dr.-Ing. Frank Benstöm (atd - GmbH Ingenieurgesellschaft für Abwasserwirtschaft und technische Dienstleistungen mbH,
vormals RWTH Aachen

Dr. Andreas Nahrstedt (IWW – Zentrum Wasser – Mülheim an der Ruhr)

Dr. Frederik Zietzschmann (TU Delft, vormals TU Berlin)