

AKTIVKOHLE FÜR DAS WASSERWERK

AUSWAHL VON KORNAKTIVKOHLEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG HYDRAULISCHER EIGENSCHAFTEN

Aktivkohle wird bei der Trinkwasseraufbereitung zur Entfernung von organischen Spurenstoffen eingesetzt. Bislang bildete die Adsorptionseigenschaft der Aktivkohle meist das alleinige Auswahlkriterium – so auch bei der Trinkwasserversorgung des Kantons Basel-Stadt. Künftig sollen jedoch auch hydraulische Eigenschaften berücksichtigt werden. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz an einer Aktivkohleversuchsanlage Untersuchungen hinsichtlich Eigenschaften wie Spülverhalten oder aufschwimmender Anteil durchgeführt.

Pascal Temmler, IWB*

Brigitte Haist-Gulde, TZW Karlsruhe

RÉSUMÉ

SÉLECTION DE CHARBONS ACTIFS AVEC PRISE EN COMPTE DES PROPRIÉTÉS HYDRAULIQUES

Le charbon actif est utilisé dans le traitement de l'eau potable pour éliminer les micropolluants organiques. Jusqu'ici, la propriété d'adsorption du charbon actif était la plupart du temps le seul critère de sélection, aussi pour l'approvisionnement en eau potable du canton de Bâle-Ville. Mais à l'avenir, les propriétés hydrauliques devront également être prises en compte. En collaboration avec la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse, une installation expérimentale pour l'étude des charbons actifs a été installée dans la société de distribution d'eau. Des analyses y ont été effectuées, avec du charbon actif disponible dans le commerce, portant sur certaines propriétés telles que le comportement au nettoyage, le surnageant ou la résistance des filtres. Dès lors que les paramètres significatifs sont compatibles avec les caractéristiques techniques de l'installation, les propriétés d'adsorption des charbons actifs sont analysées de manière approfondie. Cela permet de garantir que, outre l'élimination des micropolluants organiques, toutes les conditions d'une filtration au charbon actif optimale sont remplies, même l'élimination des déchets de charbon actif ou des impuretés. Il convient néanmoins de noter que la sélection des charbons effectuée dans l'installation

EINLEITUNG

Bei der Trinkwasseraufbereitung wird zur Entfernung von organischen Spurenstoffen Kornaktivkohle eingesetzt. Ziel des Wasserversorgers ist es, eine optimale Aufbereitung bei minimalem Betriebsaufwand zu erreichen. Dabei kommt der Aktivkohleauswahl eine wesentliche Bedeutung zu. Obwohl zahlreiche Erfahrungen von Wasserversorgungsunternehmen, aus der Literatur oder bei den Lieferanten existieren, ist es wichtig, dass die Auswahl einer geeigneten Aktivkohle unter Berücksichtigung der vorliegenden Rohwasserqualität, der Aufbereitungsstrategie sowie auch der verfahrenstechnischen Randbedingungen erfolgt. In den meisten Fällen werden Aktivkohlen bislang ausschliesslich anhand ihrer Adsorptionseigenschaften ausgewählt. Abhängig von der Dimensionierung der Filter- oder der Spülaggregate resultieren jedoch ebenfalls Anforderungen an die Aktivkohlen aus verfahrenstechnischer Sicht. Aufgrund der Erfahrungen von IWB (Trinkwasserversorgung des Kantons Basel-Stadt) ist zur Vermeidung mikrobiologischer Beeinträchtigungen im Filtrat bei Neubefüllung der Filterbecken mit Aktivkohle eine Fluidisierung des Aktivkohlebetts erforderlich. Somit stellt das Spülverhalten der Aktivkohle ein wesentliches Kriterium dar. Angaben darüber sind jedoch nur vereinzelt in den Pro-

* Kontakt: Pascal.Temmler@iwb.ch

duktspezifikationsblättern der Hersteller zu finden. Deshalb wurden seitens IWB Untersuchungen an einer Vielzahl handelsüblicher Kornaktivkohlen durchgeführt, mit dem Ziel, unter Berücksichtigung der Anlagendimensionierung, auch aus hydraulischer Sicht geeignete Aktivkohlen für das Wasserwerk auszuwählen.

SITUATION

IWB ist für die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung für ca. 220 000 Einwohner des Kantons Basel-Stadt und der Gemeinde Binningen zuständig. Die künstliche Grundwasseranreicherung mithilfe von vorfiltriertem Rheinwasser erfordert eine Nachbehandlung mit Aktivkohlefiltern (Grossanlage) zur Entfernung von Spurenstoffen.

Die Aktivkohle wurde gemäss Erfahrungen bezüglich Adsorptionsverhalten und betrieblichen Aspekten ausgewählt. Derzeit sind Aktivkohlen auf Rohstoffbasis Kokosnussschalen im Einsatz. Nach einer Neubefüllung 2011/2012 konnte bei der Inbetriebnahme ein Anstieg der Gesamtzellzahl im Filtrat festgestellt werden.

Um Beeinträchtigungen, die zu mikrobiologischen Problemen führen können, bei der Inbetriebnahme auszuschliessen, sollen zukünftig Aktivkohlesorten eingesetzt werden, bei denen mit den vorhandenen Spüleinrichtungen eine ausreichende Filterspülung mit Erreichen einer vollständigen Fluidisierung möglich ist. Hierzu wurden umfassende Untersuchungen durchgeführt, wie nachfolgend beschrieben wird.

PHYSIKALISCHE UND HYDRAULISCHE EIGENSCHAFTEN

Zur Ermittlung der physikalischen und hydraulischen Eigenschaften von Aktivkohlen wurde in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) im Rahmen einer Masterarbeit [1] eine Aktivkohlefilterversuchsanlage (halbtechnische Anlage), bestehend aus sechs Filtersäulen (Zylinderhöhe: 5,2 m; Innendurchmesser: 288 mm) konzipiert, gebaut und im Wasserwerk installiert (Fig. 1 und 2). Beim Bau und der Aufstellung der Versuchsanlage orientierte man sich an den Höhenkoten der grosstechnischen Anlage.

An der Versuchsanlage wurden Untersuchungen mit Mustern handelsüblicher Aktivkohlen hinsichtlich verschiedener

Eigenschaften, wie aufschwimmender Anteil, Spülverhalten und Filterwiderstand, durchgeführt. Daneben wurden die Aktivkohlen über weitere Parameter charakteri-

siert. *Tabelle 1* gibt einen Überblick über die verwendeten Charakterisierungsparameter. Adsorptionseigenschaften wurden bei der Vorauswahl nicht berücksichtigt.



Fig. 1 Versuchsanlage nach der Fertigstellung

Installation expérimentale après son achèvement

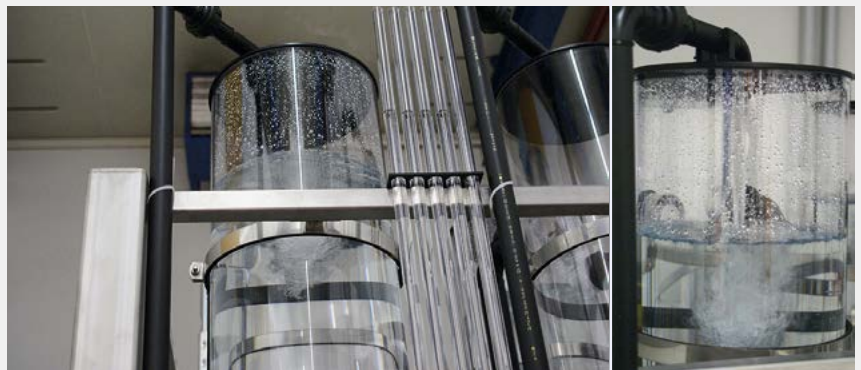


Fig. 2 Versuchsanlage im hydraulischen Testlauf (ohne Kohlefüllung)

Installation expérimentale en cours de test hydraulique (sans charbon)

Aufschwimmender Anteil	
Spülkurven	Spülgeschwindigkeit bei vollständiger Fluidisierung des Aktivkohlebetts (Lockerungspunkt)
	Bettausdehnung am Lockerungspunkt
	Bettausdehnung bei maximaler Spülpumpenleistung (Freigabe von Abrieb und Fremdstoffen)
Filterwiderstand	Durchsatzverlust (im Vergleich zur wassergefüllten Säule unmittelbar nach Inbetriebnahme des Filters)
Klassierung bei Spülung	Zunahme der Filterschichthöhe bei Spülung
Reinheit	Abgabe von Spurenmetallen ins Filtrat nach Inbetriebnahme
Korngrösse	Fremdstoffe
Korngrößenverteilung	8×30 mesh oder 12×40 mesh
Schüttdichte	Ungleichförmigkeitsgrad

Tab. 1 Parameter zur Charakterisierung von Aktivkohlen

Paramètres pour la caractérisation de charbons actifs

Insgesamt wurden 22 handelsübliche Kornaktivkohlen in die Untersuchungen einbezogen. Dabei handelt es sich um Produkte der Körnung 8 × 30 mesh¹ bzw. 12 × 40 mesh.

AUFSCHWIMMENDER ANTEIL

Der aufschwimmende Anteil ist jener Teil der Aktivkohle, der nach der Benetzung der eingefüllten Aktivkohle über zwölf Stunden nach der Säulenfüllung aufschwimmt, bezogen auf die gesamte Schütthöhe. Der aufschwimmende Anteil wird während der Spülung der Aktivkohle bei Inbetriebnahme ausgetragen und sollte somit möglichst gering sein.

Bei 21 der insgesamt 22 in die Untersu-

chungen einbezogenen Aktivkohlen lag der aufschwimmende Anteil unter 1 Vol.-%. Lediglich bei der Aktivkohle auf Rohstoffbasis Braunkohle (AK 16) wurde mit 7% diesbezüglich ein hoher Anteil festgestellt. Dieser Aktivkohletyp ist schlecht benetzbar und wird daher für den grosstechnischen Einsatz als nicht geeignet bewertet.

SPÜLVERHALTEN

Aktivkohlefilter müssen nach der Neubefüllung intensiv gespült werden, um den während des Transport- und Befüllungsvorgangs entstandene Kohleabrieb auszutragen. Gleichzeitig können dabei ggfs. enthaltene Störstoffe² ausgetragen

² Störstoffe: aktivkohlefremde Stoffe, die beim Herstellungs- bzw. Lagerungsprozess in das Kohlegranulat gelangen

¹ mesh: Einheit der Maschenweite bei Sieben und der Korngrößen im angelsächsischen Raum

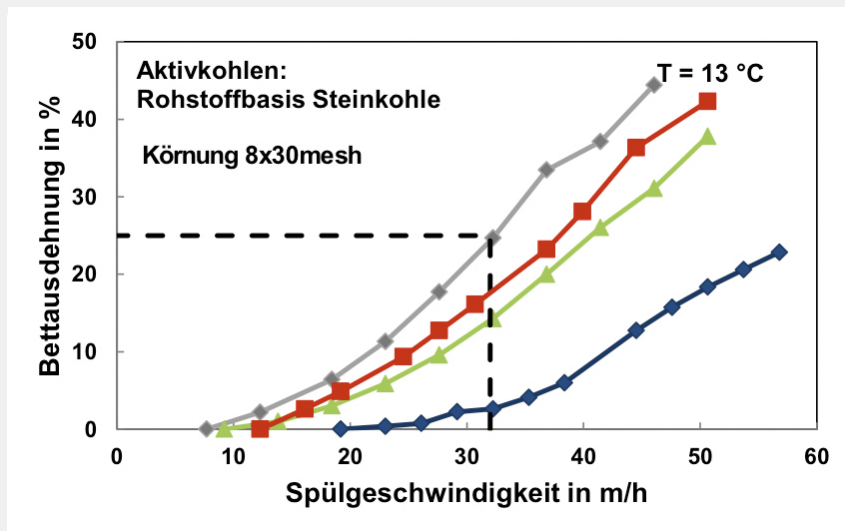


Fig. 3 Spülkurven von handelsüblichen Aktivkohlen
 Courbes de nettoyage de charbons actifs disponibles dans le commerce

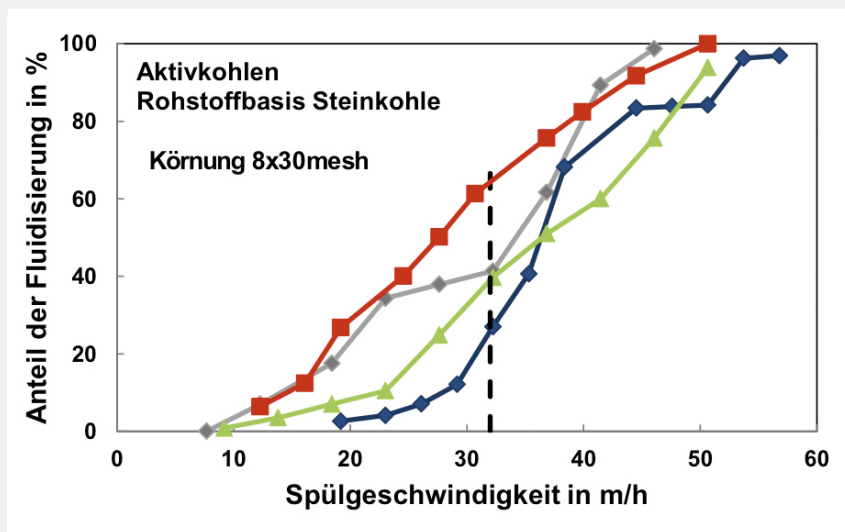


Fig. 4 Zusammenhang zwischen Spülggeschwindigkeit und fluidisiertem Anteil
 Rapport entre la vitesse de nettoyage et la part fluidisée

werden. Eine Filterspülung wird hierbei als ausreichend erachtet, sofern bei der eingestellten Spülggeschwindigkeit eine Fluidisierung³ der gesamten Schüttung erreicht wird [2].

Für die marktüblichen Aktivkohlen wurden an der Versuchsfilteranlage die sogenannten Spülkurven, d.h. der Zusammenhang zwischen Spülggeschwindigkeit und der dabei vorliegenden Ausdehnung des Filterbetts, ermittelt. Mit erfasst wurde der jeweils vorliegende fluidisierte Anteil des Filterbetts.

Handelsübliche Aktivkohlen weisen generell ein sehr unterschiedliches Spülverhalten auf, wie dies beispielhaft die Spülkurven für vier Aktivkohlen auf Rohstoffbasis Steinkohle der Körnung 8 × 30 mesh in Fig. 3 zeigen. Bei einer Spülggeschwindigkeit von 32 m/h, entsprechend der in der Grossanlage maximal realisierbaren Spülggeschwindigkeit, wird dabei eine Betaausdehnung zwischen 4 und 25% erreicht.

Bei einer Spülggeschwindigkeit von 32 m/h und einer Betaausdehnung bis 25% sind jedoch lediglich, abhängig von der Aktivkohlesorte, ca. 30 bis 65% der Aktivkohleschüttung fluidisiert. Dies zeigen die in Abhängigkeit von der Spülggeschwindigkeit ermittelten Werte in Fig. 4.

Von den insgesamt 22 untersuchten Aktivkohlen wird eine vollständige Fluidisierung bei Filtergeschwindigkeiten zwischen 30 und 62 m/h erreicht. Dabei liegt die Betaausdehnung zwischen 23 und 75%. Bei einer Spülggeschwindigkeit von 32 m/h (Maximum der Grossanlage) lag die erreichte Betaausdehnung zwischen 3 und 60%. Diese Werte sind für die grosstechnische Anlage aufgrund der Beckendimension unproblematisch. Entscheidend jedoch ist, dass der Fluidisierungspunkt in der Grossanlage in den meisten Fällen dabei nicht erreicht wird, wie auch aus Fig. 5 hervorgeht.

Unter der Voraussetzung einer direkten Übertragbarkeit der Ergebnisse an der Versuchsanlage auf die Grossanlage ist die Auswahl der im Wasserwerk einsetzbaren Aktivkohlen bereits deutlich eingeschränkt.

UNGLEICHFÖRMIGKEITSKOEFFIZIENT

Aus den ermittelten Korngrößenverteilungen wurden die Werte für den Un-

³ Fluidisierung: Zustand, bei dem das 2-Phasengemisch Aktivkohle-Wasser Fluid-ähnliche Eigenschaften aufweist

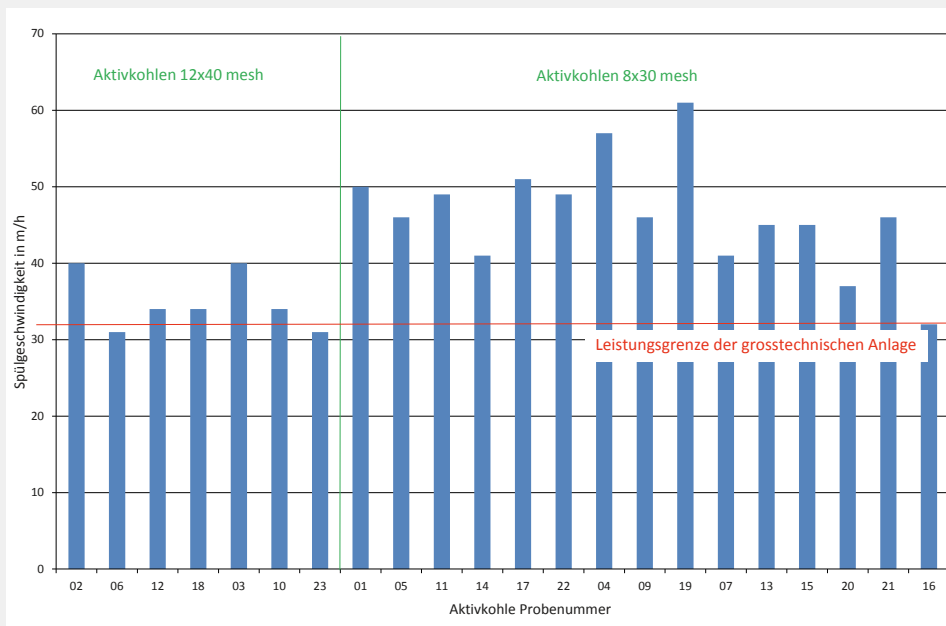


Fig. 5 Spülgeschwindigkeiten in m/h bei Erreichen des Fluidisierungspunktes handelsüblicher Aktivkohlen
Vitesse de nettoyage en m/h au seuil de fluidisation des charbons actifs disponibles dans le commerce

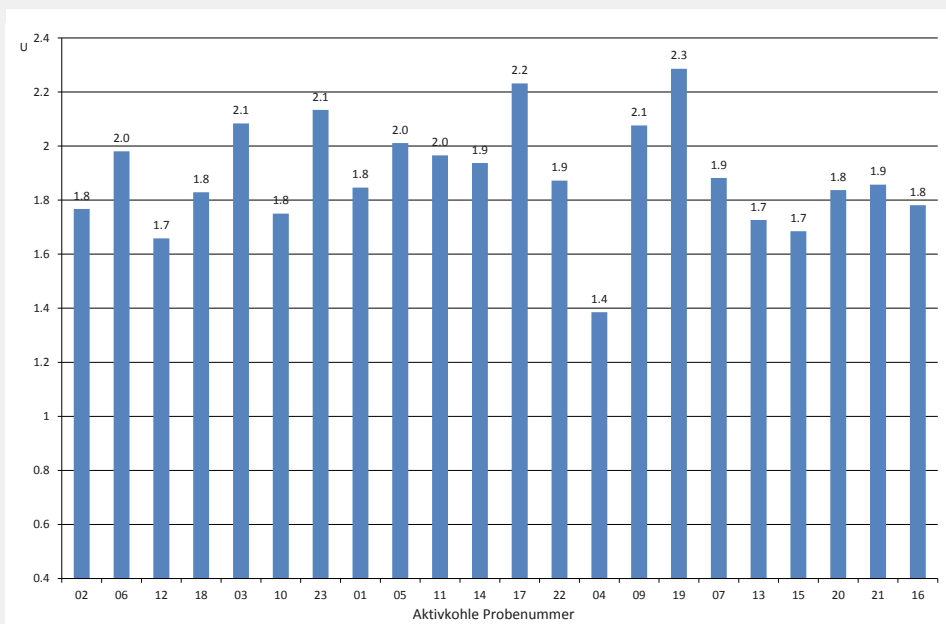


Fig. 6 Ungleichförmigkeitsgrad U (dimensionslos) der Kohlemuster gemäss DIN EN 12915-1
Degré d'irrégularité U (sans dimension) des échantillons de charbon, selon la norme DIN EN 12915-1

gleichförmigkeitskoeffizienten berechnet. Für Kornaktivkohlen soll nach der DIN EN 12915-1 der Ungleichförmigkeitsgrad unter 2,1 liegen. Dieser Wert ist bei fünf der in die Untersuchungen einbezogenen 22 Aktivkohlemuster nicht erfüllt. Bei diesen fünf Aktivkohlen handelt es sich immer um Aktivkohle auf Steinkohlebasis und mit einer Ausnahme stets um Direktaktivat.

ERGEBNIS

In den Tabellen 2a-c wurden die Eigenschaften aller getesteten Aktivkohlemus-

ter gegenübergestellt, die für einen Einsatz in der grosstechnischen Anlage von IWB relevant sind.

Aufteilung

- Steinkohlen 12 × 40 mesh (Tab. 2a)
- Steinkohlen 8 × 30 mesh (Tab. 2b)
- Kokosnussschalenkohle/Braunkohle 8 × 30 mesh (Tab. 2c)

Der Ungleichförmigkeitsgrad der Kohlemuster wurde gemäss DIN EN 12915-1 als Parameter separat im Diagramm Figur 6 aufgeführt. Die Kriterien für die Voraus-

wahl der Aktivkohlen für den Einsatz in der Grossanlage der IWB führten aktuell zum Ausschluss der Muster mit einem Ungleichförmigkeitsgrad von $\geq 2,1$ und einem aufschwimmenden Anteil von $> 1\%$. Übrig bleiben elf Aktivkohlen mit 8×30 mesh und fünf Aktivkohlen mit 12×40 mesh, die bezüglich ihrer Fluidisierbarkeit mit den vorhandenen Spülpumpen beurteilt wurden.

Tabelle 2a zeigt, dass Aktivkohlen der Körnung 12×40 mesh in Bezug auf die Fluidisierbarkeit mit den vorhandenen Spülpumpen durchaus geeignet wären. Da aber die Einsatzmöglichkeit von Korngrösse 12×40 noch nicht im Langzeittest bestätigt wurde, muss die Verwendung dieser Korngrösse bis zum Abschluss der Versuche (Langzeitverhalten bezüglich des Filterwiderstandes und der Verwendung der Filterdüsen mit einer Spaltgrösse von $0,4$ mm) zurückgestellt werden.

Wie bereits bei den Vorauswahlkriterien beschrieben, erreicht man mit den vorhandenen Spülpumpen der Grossanlage bei keiner der verbleibenden Muster mit einer Korngrösse 8×30 mesh (Tab. 2b und c) eine vollständige Fluidisierung. Hier muss bei der Wahl auf eine möglichst niedrige erforderliche Fluidisierungsgeschwindigkeit (Lockerungspunkt) geachtet werden. AK20 mit 37 m/h kommt der Leistung der installierten Spülpumpen noch am nächsten.

Eine weitere physikalische Gesetzmässigkeit wurde mithilfe der Versuchssäulen aufgezeigt. Beim Spülen werden in Abhängigkeit von Spülgeschwindigkeit und der Dauer der Spülung die leichten Partikel (meist Feinanteile) der Kohle nach oben transportiert, während die grösseren (bzw. schwereren) Kohlekörner im unteren Bereich des Filters verbleiben (Korngrössenverteilung). Diese Klassierung ist in einer transparenten Versuchssäule sehr gut zu beobachten (im Gegensatz zum Filterbecken der grosstechnischen Anlage). Bei diesem Klassierungsvorgang kommt es auch zu einer Zunahme der Filterbetthöhe.

Weiterhin konnten aufgrund der Versuche Empfehlungen für eine Optimierung des Spülvorgangs in der grosstechnischen Anlage abgegeben werden. Mit diesen Empfehlungen verspricht man sich eine Verbesserung der mikrobiologischen Situation im Filtrat nach der Inbetriebsetzung und somit eine Verkürzung der Spülzeit. Für die wesentliche Aufgabe der Aktivkohlen sind Adsorp-

Spülversuche		Gegenüberstellung der Eigenschaften									
a) Musternummer AK		Einheit	02	06	12	18	03	10	23		
Typ			A	A	A	A	D	D	D		
Rohstoffbasis			S	S	S	S	S	S	S		
Hauptkriterien											
1. Aufschwimmende Anteile	%		0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,1	0,0		
2. Lockerungspunkt	m/h		40	31	34	34	40	34	31		
3. Körnung	mesh		12 x 40	12 x 40	12 x 40	12 x 40	12 x 40	12 x 40	12 x 40		
Zusatzkriterien											
a) Betausdehnung bei 32 m/h	%		40	60	45	53	45	38	40		
c) Schüttdichte	kg/m³		396	397	366	436	494	431	584		
b) Musternummer AK		Einheit	01	05	11	14	17	22	04	09	19
Typ			A	A	A	A	A	A	D	D	D
Rohstoffbasis			S	S	S	S	S	S	S	S	S
Hauptkriterien											
1. Aufschwimmende Anteile	%		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0
2. Lockerungspunkt	m/h		50	46	49	41	51	49	57	46	61
3. Körnung	mesh		8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30
Zusatzkriterien											
a) Betausdehnung bei 32 m/h	%		14	24	15	22	18	18	3	18	23
c) Schüttdichte	kg/m³		403	446	501	448	486	432	455	439	451
c) Musternummer AK		Einheit	07	13	15	20	21	16			
Typ			D	D	D	D	D	D			
Rohstoffbasis			K	K	K	K	K	B			
Hauptkriterien											
1. Aufschwimmende Anteile	%		0,5	0,0	0,3	0,2	0,2	7,2			
2. Lockerungspunkt	m/h		41	45	45	37	46	32			
3. Körnung	mesh		8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30	8 x 30			
Zusatzkriterien											
a) Betausdehnung bei 32 m/h	%		24	18	25	24	20	59			
c) Schüttdichte	kg/m³		447	480	410	477	499	293			

Typ:
A = Agglomerat
D = Direktaktivat
 Rohstoffbasis:
B = Braunkohle
K = Kokosnussschale
S = Steinkohle

Tab. 2 Gegenüberstellung der Eigenschaften der getesteten Aktivkohlemuster / Comparaison des propriétés des échantillons de charbon actif

- a) Aktivkohlen auf Steinkohlenbasis mesh 12 x 40
Charbons actifs sur base de houille 12 x 40 mesh
- b) Aktivkohlen auf Steinkohlenbasis mesh 8 x 30
Charbons actifs sur base de houille 8 x 30 mesh
- c) Aktivkohlen auf Kokosnussschalen- und Braunkohlenbasis mesh 8 x 30
Charbons actifs sur base de coques de noix de coco et de lignite 8 x 30 mesh

Bewertungsschema		Bewertungshintergrund
sehr gut bis gut verwendbar		Einteilung aufgrund der Erfahrung dieser Versuchsreihe und:
noch akzeptabel verwendbar		
nicht verwendbar		
Hauptkriterien		
1. Aufschwimmende Anteile	%	der mit dem Verlust verbundenen Kosten (1% entspricht CHF 1500.- Einkaufswert)
2. Lockerungspunkt	m/h	32 m/h Spülgeschwindigkeit während einer Minute ist das Max. der Grossanlage
3. Körnung	mesh	12 x 40: Körner kleiner als 0,4mm gehen durch Filterdüse hindurch
Zusatzkriterien		
a) Betausdehnung bei 32 m/h	%	unkritisch, da Freibord ausreichend hoch
c) Schüttdichte	kg/m³	rein informativ

Tab. 2d Erläuterungen zu den Bewertungskriterien der Tabellen 2a-c
 Explications des critères d'évaluation pour les tableaux 2a-c



Fig. 7 Ablagerungen auf der Aktivkohleoberfläche nach dreimonatigem Betrieb
Dépôts sur la surface des charbons actifs après trois mois de test

Betrieb einer Filteranlage in halbtechnischem Massstab

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Ermittlung von Spülkurven ist möglich - geringe Einsatzmengen an Aktivkohle - geringe Einsatzmengen an Wasser - Paralleluntersuchung von sechs Aktivkohlesorten - transparente Ausführung der Filtersäulen ermöglicht Beobachtungen (Klassierung der Aktivkohle, Sedimente auf der Aktivkohleschicht, tierische Organismen, Fluidisierung bei Spülung) - Möglichkeit der Variation der Betriebsparameter - Optimierung der Betriebsparameter der Grossanlage 	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionskosten - Personalaufwand für Anlagenbetreuung - zusätzliche Laborkosten

Tab. 3 Vor- und Nachteile des Betriebes einer Aktivkohlefilterversuchsanlage

Avantages et inconvénients de l'exploitation d'une installation expérimentale de filtrage au charbon actif

tionsuntersuchungen erforderlich, die als Langzeitversuche mit der halbtechnischen Anlage (Versuchsanlage) durchgeführt werden.

LANGZEITBETRIEB DER VERSUCHSANLAGE

Zur Bewertung von Kornaktivkohlen hinsichtlich der Adsorptionseigenschaften werden nach DVGW Arbeitsblatt W 239 ebenfalls Filterversuche im halbtechnischen Massstab empfohlen. Derartige Untersuchungen werden mit den nach der beschriebenen Vorgehensweise ausgewählten Aktivkohlen durchgeführt. Schütthöhe und Filtergeschwindigkeit wurden entsprechend der grosstechnischen Anlage gewählt. Die Adsorptionseigenschaften der Aktivkohlen werden

anhand des Durchbruchs relevanter organischer Spurenstoffe ermittelt. Analog der Grossanlage erfolgte zunächst keine Spülung während des Betriebes. Nach einer Versuchsdauer von mehreren Wochen konnten an der Oberfläche der Aktivkohlefilter Sedimente festgestellt werden (Fig. 7). Es ist geplant, Spülregime und Spülintervall der Aktivkohlefilter zu ermitteln, um in regelmässigen Abständen die Kohleoberfläche von Sedimenten zu befreien.

Während der Betriebszeit der Versuchsanlage im Wasserwerk von über einem Jahr konnten anhand der Erfahrungen Vor- und Nachteile aus Sicht des Wasserversorgungsunternehmens zusammengestellt werden (Tab. 3).

FAZIT

In den Wasserwerken von IWB wird die Vorauswahl geeigneter Aktivkohlen zukünftig auch unter Berücksichtigung der hydraulischen Eigenschaften, welche in den Versuchen ermittelt wurden, erfolgen. Vor der Beschaffung werden mit den Aktivkohlen Versuche durchgeführt, um die Ergebnisse reproduzieren zu können. Hierzu wird das Spülverhalten in der Versuchsanlage im halbtechnischen Massstab ermittelt. Sofern die massgeblichen Parameter mit den anlagentechnischen Kenndaten der Grossanlage vereinbar sind, werden die Aktivkohlen hinsichtlich ihrer Adsorptionseigenschaften weitergehend untersucht. Somit kann sichergestellt werden, dass neben der Entfernung organischer Spurenstoffe auch im Hinblick auf den Austrag des Kohleabriebs sowie ggfs. auch Verunreinigungen alle Bedingungen für eine optimale Aktivkohlefiltration gewährleistet sind. Es sei jedoch auch darauf hingewiesen, dass die Auswahl der Kohlen, wie sie in der Versuchsanlage getroffen wurde, auf die Anforderungen der Grossanlage ausgerichtet ist. Kohletypen, die bei diesen Untersuchungen als nicht geeignet taxiert wurden, können unter den Betriebsbedingungen anderer Grossanlagen durchaus den spezifischen Anforderungen bestens entsprechen.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Mössner, M. (2012): *Konzeption und Betrieb einer Aktivkohlefilter-Versuchsanlage zur Trinkwasseraufbereitung - Evaluation von Aktivkohle*, Master Thesis. MAS Umwelttechnik und -management
- [2] Haist-Gulde, B.; Baldauf, G. (2011): *Aktuelle Anforderungen an den Betrieb von Aktivkohleadsorbentien zur Spurenstoffentfernung*, DVGW-energie-wasser-praxis

> SUITE DU RÉSUMÉ

expérimentale de filtrage est adaptée aux exigences de celle-ci.