

Aktivkohlefiltern in Wasseraufbereitungssystemen für die Hämodialyse

Für die Wasseraufbereitung in der Hämodialyse stehen bestimmte Aktivkohlefilter optional seit langer Zeit zur Verfügung. Derartige Filter werden grundsätzlich vor der Umkehrosmoseanlage im Rohwassersegment installiert und sind dem Enthärter vor- oder nachgeschaltet. Über die Frage, ob dies sinnvoll und notwendig ist, gehen die Meinungen auseinander. Im Vertrauen auf die konstant gute Qualität des Trinkwassers, sind nicht alle Dialysezentren in Deutschland standardmäßig mit Aktivkohleeinheiten ausgerüstet. Der nachfolgende Beitrag gibt einige grundsätzliche Informationen zum Verständnis der Aktivkohlewirkung und befasst sich kritisch mit dem Einsatz im Dialysebereich.

Was ist Aktivkohle?

Wie alte Sanskrit-Texte belegen, wurde in Indien bereits vor etwa 4.000 Jahren Trinkwasser über Holzkohlefilter geleitet, wahrscheinlich um Schwebstoffe zu entfernen oder den Geruch beziehungsweise Geschmack zu verbessern. Der organisierte Gebrauch von Holzkohle erfolgte allerdings erst sehr viel später in England zu Beginn des 19. Jahrhunderts. Hier diente sie in der Industrie zunächst der Entfernung von Farbstoffen aus Flüssigkeiten.

Unsere moderne Aktivkohle ist nun allerdings nicht mehr mit einfacher Holzkohle zu vergleichen. Sie ist vielmehr das Resultat der Umwandlung unterschiedlicher kohlenstoffreicher Ausgangsmaterialien mit Hilfe spezieller Verfahren, welche erst im 20. Jahrhundert entwickelt und verfeinert wurden.

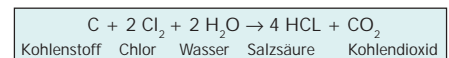
So kommen heute etwa Stein- und Braunkohle, Holz, Torf, neuerdings auch Fruchtkerne (Pfirsich- oder Olivenkerne), und auch Kokosnussschalen als Rohstoffe zum Einsatz. Diese werden zunächst bei Hitze unter Sauerstoffabschluss verkohlt. Hierbei werden flüchtige Stoffe, etwa Teer, entfernt. Übrig bleibt im Wesentlichen das Kohlenstoffgerüst des Ausgangsmaterials, wobei die äußere Struktur etwa pflanzlicher Zellwände erhalten bleibt. Der eigentliche Prozess der Aktivierung kann im Anschluss mit Hilfe verschiedener Verfahren durchgeführt werden. Zur Herstellung von Aktivkohle für die Wasseraufbereitung wird häufig das Gasaktivierungsverfahren angewandt. Das vorverkohlte Produkt wird bei einer Reaktionstemperatur von etwa 800 bis 1.000 °C einem Gasstrom, etwa Wasserdampf, Kohlendioxid oder Luft ausgesetzt, wobei durch eine milde Oxidation ein Teil des Kohlenstoffs und die in der Kohle noch enthaltenen Kohlenwasserstoffe entfernt werden. Als Folge wird die kristalline Struktur des Kohlenstoffs so verändert, dass feinste Poren entstehen, und die innere Oberfläche dieser nunmehr »aktivierten« Kohle (engl. daher: *activated carbon*) enorm vergrößert wird.

Durch Variieren einzelner Verfahrensparameter kann dies gezielt gesteuert werden. Nach ihrem Porendurchmesser unterscheidet man Mikroporen (< 1 nm), Mesoporen (1 nm – 25 nm) und Makroporen (> 25 nm).

Eigenschaften von Aktivkohle

Aufgrund der großen inneren Oberfläche der »aktivierten Kohle« (600 – 1.600 m²/g) können entsprechend viele Moleküle der in unserem Trinkwasser in geringen Mengen gelösten organischen Verbindungen an den Feststoff angelagert und damit dem Wasser entzogen werden. Es handelt sich um natürliche Substanzen, wie etwa Huminsäuren, aber auch um Stoffe die aus Verunreinigungen des Grundwassers herrühren, etwa Bestandteile der Gülle, Pflanzenschutzmittel, Lösungsmittel und dergleichen mehr. Auch die jeweilige Hausinstallation hat Einfluss auf die Wasserqualität. Unter der ständigen Anlagerung solcher Verbindungen (Adsorption) erschöpft sich die Aufnahmefähigkeit eines Filters. Die verwendete Aktivkohle muss daher entsprechend der Herstellerempfehlungen nach einer vorgegebenen Betriebsdauer ausgetauscht werden.

Unabhängig vom Vermögen, eventuell im Wasser gelöste Substanzen zu adsorbieren, besitzt Aktivkohle auch die Eigenschaft, das von den Wasserwerken mitunter als Desinfektionsmittel zudosierte Chlor aus dem Trinkwasser zu neutralisieren. Dies erfolgt durch Reduktion des freien Chlors an der Aktivkohle zu nichtaktivem Chlor nach der folgenden Reaktionsgleichung:



Da Aktivkohle in diesem Falle als Katalysator wirkt, kann es zu keiner Beladung ihrer Oberflächen kommen. Die Wirkung bleibt also mit einer unten angesprochenen Einschränkung unabhängig von der Standzeit erhalten.

Einsatz von Aktivkohle bei der Wasseraufbereitung für die Dialyse

Bei der Wasseraufbereitung in Dialysezentren werden Aktivkohlefilter – wenn überhaupt – überwiegend mit der Begründung eingesetzt, die Umkehrosmosemembran gegen eventuell im Trinkwasser gelöstes Chlor zu schützen. Das Rückhaltenvermögen von Aktivkohle bezüglich gelöster organischer Verbindungen findet hierbei nur wenig Beachtung, da solche Substanzen eine intakte Umkehrosmosemembran ohnehin so gut wie nicht passieren können.

Zum Einsatz kommen bis heute fast ausschließlich sogenannte Festbettfilter (Schüttfilter), die im Wesentlichen aus einem mit Aktivkohlegranulat gefüllten Filtergehäuse bestehen. Das zu reinigende Rohwasser wird über dieses Granulat geleitet und dann dem weiteren Aufbereitungsprozess (Enthärter, Umkehrosmose) zugeführt. Meist werden Aktivkohlefilter vor den Enthärter installiert, gelegentlich auch direkt zwischen Enthärter und Umkehrosmoseanlage platziert.

Mikroorganismen im Trinkwasser

Bisher wurde die Aktivkohlefiltration von Trinkwasser nur unter dem Aspekt der Entfernung einiger unerwünschter gelöster Substanzen betrachtet. Trinkwasser enthält nach der Passage vom Wasserwerk über das Verteilungsnetz zum Endverbraucher, dem Dialysezentrum, allerdings auch größere Partikel, die nicht gelöst, sondern suspendiert sind. Dabei kann es sich um feinen Sand sowie Rost- oder Kalkpartikel handeln, welche sich von der Leitungsoberfläche abgelöst haben, relativ einfach aber wieder mit Hilfe von Schwebstofffiltern entfernt werden können.

Auch ist Trinkwasser nicht steril. Es mag zwar extrem keimarm das Wasserwerk verlassen, sobald es jedoch das Leitungsnetz durchfließt, wird es merklich mit Mikroorganismen angereichert. Als Kontaminationsquelle sind Biofilme verantwortlich, die sich auf den flüssigkeitsbenetzten Teilen des Rohrsystems gebildet haben. Durch die herkömmlichen kulturtechnischen Nachweismethoden der mikrobiellen Belastung im Trinkwasser wird der tatsächliche Gehalt an suspendierten Keimen in einer Wasserprobe zwangsläufig beträchtlich unterschätzt. Es werden nur Mikroorganismen erfasst, die auf den angebotenen Nährmedien wachsen und zählbare Kolonien (koloniebildende Einheiten, KBE) bilden können. Mikroskopische Vergleichsuntersuchungen zeigen jedoch, dass tatsächlich zwischen 50 und 1.000 mal mehr lebende Zellen vorhanden sind. Grund-

lage für ihre Nährstoffversorgung sind beispielsweise Materialien aus dem Rohrleitungsnetz, die verwertbare Stoffe enthalten (z.B. Dichtungsmaterialien, bestimmte Kunststoffrohre u.ä.). Auch viele der in geringen Mengen im Trinkwasser ohnehin gelösten organischen Verunreinigungen können von Mikroorganismen genutzt werden. So genügen bereits 10 µg/Liter assimilierbarer Verbindungen, um eine Biofilmbildung zu begünstigen.

Überlegungen zur Verkeimung von herkömmlichen Aktivkohlefiltern

Die im Trinkwasser suspendierten Bakterien, gelegentlich auch niedere Pilze, besiedeln relativ rasch die einem Enthärter und einer Umkehrosmoseanlage vorgeschalteten Aktivkohlefilter. So können bereits nach relativ kurzer Betriebsdauer Mikrokolonien und ganze Biofilme das Aktivkohlegranulat im Festbettfilter überziehen. Je nach Nährstoffgehalt des Rohwassers bilden sich Biofilme unterschiedlicher Ausprägung aus. Der Grund für die rasche Ausbreitung von Mikroorganismen in diesen Anlagen ist die gute Wegsamkeit der mit relativ großen flüssigkeitsdurchspülten Zwischenräumen versehenen Aktivkohleschüttungen. Die adsorptiven Eigenschaften der Aktivkohle scheinen nach den bislang allerdings spärlichen Beobachtungen nicht generell stark behindert zu werden. Offenbar erfolgt jedoch eine Verlängerung der Adsorptionszeit in Abhängigkeit von der Biofilmdicke. Die in einem solchen Biofilm eingebetteten Mikroorganismen sind prinzipiell auch in der Lage, geeignete, bereits in der Aktivkohle aus dem Trinkwasser adsorbierte Verbindungen als Nährstoffquelle zu nutzen. Würden solche Substanzen nach längerem Betrieb der Anlage dort akkumuliert, könnte dies die Entwicklung von Biofilm noch zusätzlich fördern. Über die Fähigkeit biofilmbewachsener Aktivkohle, Chlor zu neutralisieren, liegen mir derzeit keine Informationen vor. Die Reaktion setzt aber einen Kontakt zwischen freiem Chlor und dem Kohlenstoffgerüst voraus, der möglicherweise durch einen ausgeprägten Biofilm erheblich behindert wird. Auch hinsichtlich dieser hypothetischen Überlegung empfiehlt es sich, Aktivkohlefilter nach Vorgabe des Herstellers rechtzeitig auszutauschen.

Es lässt sich regelmäßig beobachten, dass Wasserproben aus dem Leitungssegment zwischen Aktivkohlefilter/Enthärteranlage und der Umkehrosmoseanlage im Vergleich zu unbehandeltem Trinkwasser deutlich aufgekeimt sind. Dies ist ein Indiz dafür, dass Biofilme in Aktivkohlefiltern, aber auch in manchen Enthärteranlagen, Zellen oder Zellaggregate freigesetzt und das Produktwasser zusätzlich kontaminiert haben.

Insbesondere nach Ruhetagen, in denen Filter und Enthärter nicht permanent durchspült wurden, ist dieses Phänomen besonders ausgeprägt zu erwarten.

Bakterien und Pilze können eine intakte Umkehrosmosemembran nicht durchdringen, gelangen also nicht auf die Reinstwasserseite. Auch Pyrogene werden von ihr zuverlässig zurückgehalten. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass bei niedrigen Überströmungsraten ein verstärktes Biofilmwachstum auf der Rohwasserseite der Membran begünstigt wird, und damit die Gefahr der Verblockung durch sogenanntes »Biofouling« wächst.

Aktivkohle-Blockfilter

Neben den herkömmlichen, oben beschriebenen Aktivkohle-Schüttfiltern werden seit einigen Jahren Systeme des Herstellers *Carbonit* angeboten, die aus kompakten, platzsparenden Aktivkohleblöcken in Form von Hohlzylindern bestehen. Diese sind jeweils in einem Filtergehäuse so eingebaut, dass das zu reinigende Trinkwasser die Außenseite des Zylinders anströmt, es die Zylinderwand passiert, hierbei durch die Aktivkohle aufgereinigt und schließlich über den Hohlraum als Filtrat wieder ausgeleitet wird. Was die Adsorption von Trinkwasserverunreinigungen und die Chlorneutralisation anbelangt, sind sie mit herkömmlichen Filtern vergleichbar. Im Unterschied zu den Schüttfiltern erweisen sich die mittleren Durchmesser der flüssigkeitsdurchströmten Zwischenräume beim Blockfilter jedoch als erheblich geringer. Je nach Blockfiltertyp liegen sie zwischen 0,45 µm und 10 µm. Schüttfilter dagegen weisen Zwischenräume bis in den Millimeterbereich auf (abhängig von der Form und der Größe des Granulats). Somit kann beim Einsatz von Blockfiltern mit sehr gering dimensionierten Zwischenräumen bereits eine Sterilfiltration durchgeführt werden, allerdings auf Kosten der Durchflussleistung (wenige Liter pro Minute).

Wird eine sehr hohe Durchflussleistung benötigt, müssen zwangsläufig Blocktypen mit größeren Zwischenräumen oder Blockfilter mit integrierter Kapillarmembran gewählt werden. Eine Sterilfiltration mit grobporigen Blöcken alleine ist nicht möglich, allerdings ist ein gewisser Rückhalt an Bakterien und Pilzen aus dem Rohwasser infolge einer Tiefenfilterwirkung zu vermuten. Hierbei könnten Zellen (und andere Partikel) bereits in den äußeren Schichten des Aktivkohleblocks mechanisch abgeschieden werden. Sie würden daher zunächst nicht auf die Filtratseite gespült.

Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass Mikroorganismen die tieferen Filterschichten durchwachsen und so ins Filtrat gelangen. Fraglich ist nur, wie lange dies dauert und in welchem Ausmaße das gefilterte Wasser hierdurch verkeimt würde. Jedoch ist zu erwarten, dass sich innerhalb der Blockfilter nur vergleichsweise schwach entwickelte Biofilme bilden. Dies hängt mit der hohen Durchströmungsgeschwindigkeit zusammen, die zwangsläufig dann auftritt, wenn ein großes Wasservolumen pro Zeiteinheit durch enge Zwischenräume geleitet wird. In Schüttelfiltern der gleichen Durchsatzleistung wäre dieser Einflussfaktor aufgrund der größeren Lücken in der Granulatsäule erheblich abgeschwächt.

Carbonit-Blockfilter mit einer hohen Durchflussrate (bis einige Kubikmeter pro Stunde) werden bereits in Dialysezentren mit gutem Erfolg eingesetzt. Sie werden direkt vor der Umkehrosmoseanlage installiert und mit in der Regel deutlich verkeimten Weichwasser aus der Enthärteranlage gespeist. Zweck dieser Konstellation ist es, die Umkehrosmosemembran vor der Zerstörung durch Chlor, aber auch vor einer hohen Keimbelastung und damit letztlich vor möglichem Biofouling zu schützen. Darüber hinaus werden gleichzeitig gelöste organische Verunreinigungen sowie Stoffwechselprodukte aus Biofilmen zurückgehalten. Beides sind potentielle Nährstoffe für Mikroorganismen. Die bereits auf der Membran siedelnden Mikroorganismen werden von der Nährstoffzufuhr abgeschnitten und damit ihre Vermehrungsrate herabgesetzt.

Allerdings sollte auch bei dieser Verfahrensweise auf eine Aktivkohlefiltration noch vor der Enthärteranlage nicht verzichtet werden, da auch Austauschharze empfindlich auf Chlor reagieren.

Schlussbemerkung

Nach einer im Papier des AK Wasser zitierten, 1994 veröffentlichten Umfrage bei 3.094 deutschen Wasserversorgungsunternehmen, wurde bei 45 Prozent aller Wasserversorgungsanlagen ständig desinfiziert, um die mikrobiologisch einwandfreie Qualität des Trinkwassers zu gewährleisten. Chlorhaltige Desinfektionsmittel wurden dabei zu 90 Prozent eingesetzt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Zahlen bis heute nur geringfügig geändert haben.

Nicht alle Wasserwerke müssen regelmäßig chlorieren. Doch ist nie auszuschließen, dass auch bei sonst bester Trinkwasserqualität eine Situation eintritt, die eine Desinfektionsmaßnahme im gesamten Verteilungsnetz erfordert. Ob die Kommunikation zwischen Wasserversorgungsbetrieb und Dialysezentren dann wohl immer funktioniert?

Es empfiehlt sich also zum Schutz der Umkehrosmosemembran vor Chlor immer, das Rohwasser über Aktivkohle zu filtern. Es spielt keine Rolle, ob ein Festbettfilter oder ein Blockfilter verwendet wird. Blockfilter hingegen könnten weitere Vorteile für den Betrieb solcher Umkehrosmoseanlagen bringen, die aufgrund permanent oder periodisch niedriger Überströmungsraten eher für ein Biofouling der Membran anfällig sind.

Literatur

Sontheimer, H., Crittenden, J.C., Summers, R.S. (Eds.): *Activated Carbon for Water Treatment*. DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, Karlsruhe 1988.

Kolb, F.R.: *Biologische Reinigung Xenobiotika-haltiger Abwässer in einem Aktivkohle-Festbett-Schlaufenreaktor mit Membranstoffübertragung*. Berichte aus Wassergüte und Abfallwirtschaft. Berichtsheft Nr. 128. TU München, München 1997.

Bendlin, H.: *Reinstwasser von A bis Z. Grundlagen und Lexikon*. Weinheim, New York, Basel, Cambridge, Tokyo 1995.

Flemming, H.-C.: *Biofilme, Biofouling und mikrobielle Schädigung von Werkstoffen*. Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft. Band 129. München 1994.

Flemming, H.-C.: *Biofilme in Trinkwassersystemen*. In: *gwf Wasser Special 139 (1998)*, S. 65-72.

Wichmann, K.: *Natürliche organische Wasserinhaltsstoffe in der Grundwasseraufbereitung*. In: *gwf Wasser Special 139 (1998)*, S. 59-64.

Papier des AK Wasser im BBU zur Trinkwasserhygiene. <http://home.dinx.de/members/11172/notizen/trink/igumedk1.html>

Autor:
Dr. rer. nat. Arnd Goppelsröder
Walzbachtal