

PAK-Dosierung bei Biofilmsystemen

1. Hintergrund

Als der [Artikel](#) „Elimination von Mikroverunreinigungen auf ARA: Aktueller Stand der Verfahren und künftige Entwicklungen“ im November 2017 im Aqua&Gas publiziert wurde, war unklar, inwiefern eine Pulveraktivkohle (PAK)-Dosierung bei Biofilmsystemen zur Elimination von Mikroverunreinigungen (MV) geeignet ist. Es wurde davon ausgegangen, dass sowohl Festbett- wie auch Wirbelbett-Systeme dafür nur bedingt geeignet sind. Die PAK-Zugabe in Hybridwirbelbett-Systeme wie auch in Systeme mit granulierter Biomasse wurden als «vermutlich geeignet» eingestuft. Seit der Publikation des Artikels wurden verschiedene Pilotversuche mit PAK-Dosierung in nitrifizierende Biofilmsysteme durchgeführt. Das Ziel dieses Faktenblatts ist, die Aussage des Artikels anhand dieser neuen Kenntnisse zu aktualisieren und die folgenden Fragestellungen zu beantworten:

- Wie beeinflussen Trägermaterial und Biofilm die Adsorption der MV an die PAK?
- Welchen Effekt hat die PAK auf den Biofilm und die Nitrifikation?

2. Definitionen

- **Biofilmsystem:** In einem Biofilmsystem wächst der Biofilm auf frei beweglichem Trägermaterial (Wirbelbett), fixiertem Trägermaterial (Festbett) oder auch ohne Trägermaterial (granulierte Biomasse). Auf dem Trägermaterial, das eine hohe spezifische Oberfläche aufweist, wachsen Mikroorganismen, welche für die biologische Reinigung verantwortlich sind.
- **Festbett** (Biofilter): Mit der Bezeichnung „Festbett“ oder „Biofilter“ sind in diesem Dokument Biofilmverfahren mit körnigem Filtermaterial oder strukturierten Einbauten („Packungen“) gemeint. Diese werden je nach Anwendung belüftet oder nicht. Festbetтанlagen müssen regelmässig rückgespült werden.
- **Wirbelbett** (MBBR - moving bed biofilm reactor): Beim Wirbelbett handelt es sich um ein Biofilmverfahren mit frei beweglichem Trägermaterial, das mittels Belüftungseinrichtungen und/oder Rührwerken durchmischt und im Reaktor verteilt wird. Wirbelbettverfahren werden kontinuierlich durchflossen.
- **Hybridwirbelbett:** Das Hybridwirbelbettssystem ist eine Kombination von Wirbelbett und konventionellem Belebtschlammverfahren mit suspendierter Biomasse.
- **Granulierte Biomasse** (z.B. Nereda®-Prozess): Der granulierte Belebtschlamm besteht aus Granulen, also Körnchen aus reiner Biomasse, ohne künstliches Trägermaterial. Diese granulierten Biomasse wird durch Belüftungsvorrichtungen und/oder Rührwerke durchmischt und im Reaktor verteilt.

3. Bisherige Erfahrungen mit Biofilmsystemen

Mit Biofilmsystemen sind zwei unterschiedliche Verfahrensführungen möglich:

- **Einstufige Biologie:** Das Biofilmsystem ist die einzige biologische Stufe. Diese Verfahrensführung ist vergleichbar mit der PAK-Dosierung direkt in die Belebtschlammbiologie, d.h. dass

erwartungsgemäss der PAK-Verbrauch tendenziell höher liegen sollte, weil keine zweistufige Adsorption stattfindet. Mit dieser Verfahrensführung gibt es aktuell noch keine Erfahrungen.

- Mehrstufige Biologie, z.B. mit einem Biofilmsystem zur Nitrifikation als zweite Stufe mit PAK-Zugabe. Je nach Verfahrensführung besteht die Möglichkeit, die PAK in die vorangeschaltete biologische Stufe zwecks besserer Ausnutzung der Adsorptionskapazität zurückzuführen (via Rückspülwasser bei Biofiltern oder via interne Rezirkulation zur Denitrifikation bei Wirbelbettsystemen). Die beiden unten beschriebenen Pilotversuche wurden mit einer PAK-Zugabe in eine Nitrifikationsstufe durchgeführt.

3.1 PAK-Dosierung in ein Wirbelbett (halbtechnischer Versuch, Schweden)

Die PAK-Dosierung in ein nitrifizierendes Wirbelbettsystem wurde in Schweden an der Universität Lund untersucht (Cimbritz et al., 2019). In diesem Pilotversuch wurden zwei 8-Liter-Reaktoren (ein Reaktor mit PAK-Dosierung, ein Reaktor als Referenz) parallel mit biologisch vorgereinigtem Abwasser (Hochlastbiologie) beschickt (siehe Abb. 1). Die hydraulische Aufenthaltszeit im Wirbelbett lag bei ca. 2 Stunden. Die Träger von AnoxKaldnes™ und die PAK wurden durch die Belüftung im MBBR durchmischt und in Schwebelage gehalten. Die DOC-Konzentration im Zulauf des Wirbelbettes lag im Mittel bei 16 mg/L.

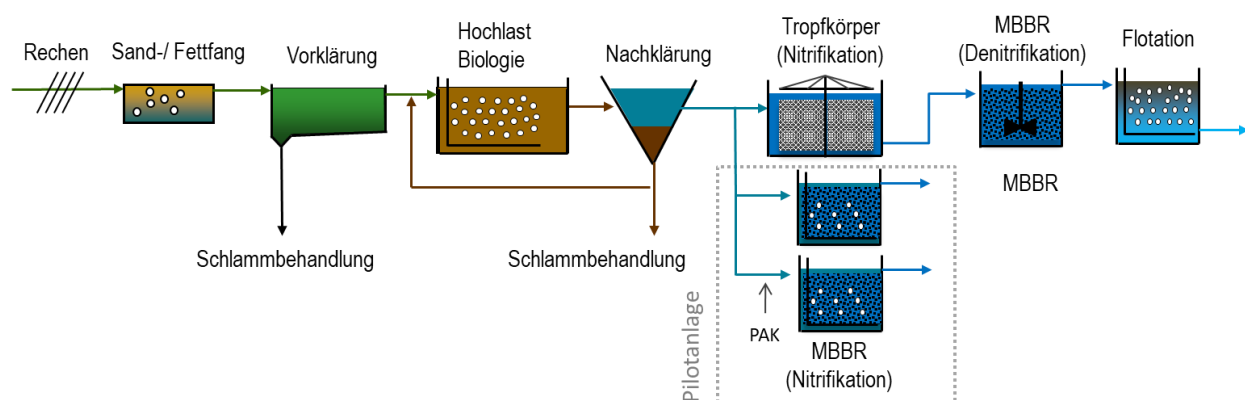


Abbildung 1 – Fließschema der grosstechnischen Anlage und des halbtechnischen Pilotversuchs (grau gestrichelter Rahmen) mit PAK-Dosierung vor ein Wirbelbett in Schweden (Quelle: Plattform)

Verschiedene PAK-Dosen von 5, 10, 15, 20 und 30 mg/L wurden jeweils über mehrere Wochen untersucht. Für jede PAK-Dosis wurden drei Zu- und Ablauf-Proben auf MV analysiert. Es hat sich gezeigt, dass bei höheren PAK-Dosierungen bessere MV-Eliminationsraten erreicht wurden: Die meisten untersuchten Mikroverunreinigungen (u.a. Venlafaxin, Carbamazepin, Citalopram und Metoprolol) wurden bei einer PAK-Dosierung von 20 mg/L (1 mgPAK/mgDOC; DOC-Konzentration zu diesem Zeitpunkt 20 mg/L) zu ca. 80 bis 90% eliminiert. Diclofenac wurde bei derselben PAK-Dosis nur zu ca. 60% eliminiert.

Der 5 Monate dauernde Betrieb der Pilotanlage hat zudem gezeigt, dass die Nitrifikation auch bei höheren PAK-Dosen weiterhin ungestört abläuft. Die Nitrifikationsrate war vergleichbar mit dem Referenzreaktor (ohne PAK-Dosierung), die Ammoniumkonzentration im Ablauf der beiden Reaktoren

lag zwischen 0.5 und 1.9 mg/L. Ob andere biologische Prozesse beeinträchtigt oder begünstigt werden, konnte nicht beobachtet werden.

Der Aktivkohle-Verlust wurde in diesem Pilotversuch nicht speziell untersucht. Die GUS-Werte im Ablauf sind im Verhältnis zur PAK-Dosierung gestiegen, da der Pilotversuch ohne Abtrennstufe durchgeführt wurde. Mittels mikroskopischer Untersuchungen konnte jedoch gezeigt werden, dass eine gewisse PAK-Integration in den Biofilm stattfindet. Ob die PAK zu einem erhöhten Abrieb der Aufwuchsträger führt, wurde nicht untersucht.

Es sind keine Informationen bezüglich dem möglichen Beschweren des Trägermaterials durch PAK und der Konsequenzen auf das Schwebeverhalten der Aufwuchsträger und erhöhten Energie- und Luftbedarf. Zudem ist unklar, ob das Trägermaterial und die PAK die Rückhaltesiebe am MBBR-Ablauf verstopfen könnten. Diese Aspekte sind zu untersuchen.

In weitergehenden Untersuchungen wird der Frage nachgegangen, ob die abgetrennte PAK zur besseren Ausnützung der Adsorptionsplätze wieder in das Wirbelbett oder ins Belebungsverfahren zurückgeführt werden kann.

Die Versuche haben folgende Erkenntnisse gebracht:

- Die Leistung der Biomasse wird durch die Zugabe von PAK nicht negativ beeinflusst.
- Die MV-Elimination durch PAK in einem nachgeschalteten Wirbelbett ist vergleichbar mit anderen PAK-Anwendungen.
- Langfristige, grosstechnische Erfahrungen liegen noch nicht vor.

3.2 PAK-Dosierung vor einen Biofilter (Festbett) (grosstechnischer Versuch, Fribourg)

Auf der ARA Fribourg wurde PAK (Norit SAE Super) auf eine von acht grosstechnischen Filterzellen eines nitrifizierenden Biofilters des Typs Biofor® (anschliessend an eine Biologie für Kohlenstoffabbau; siehe Abb. 2) dosiert ([Bericht](#)). Der Biofilter wurde von unten beschickt. Während den Versuchen lagen die Filtrationsgeschwindigkeiten im Mittel bei 6 m/h (entspricht einer Kontaktzeit von ca. 27 Min). Ohne PAK-Dosierung wurden die 12 Leitsubstanzen im Biofilter nahezu nicht eliminiert (rechnerisch 3-5%).

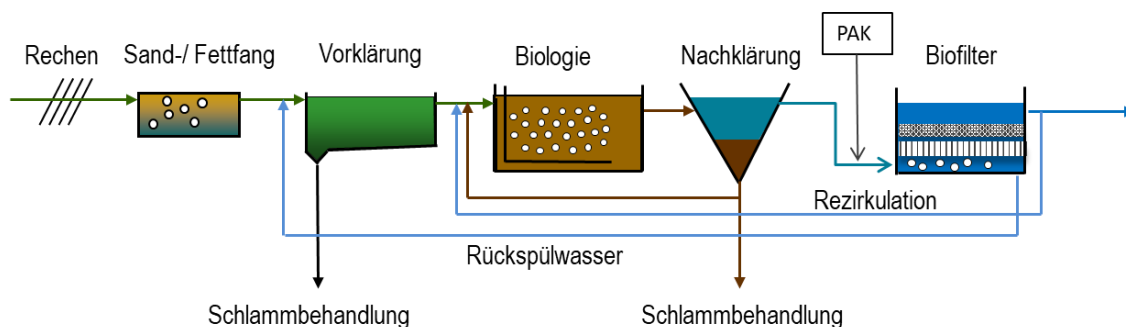


Abbildung 2 – Fließschema des grosstechnischen Versuchs der ARA Fribourg mit PAK-Dosierung vor einen Biofilter (Quelle: Plattform)

Es wurden die folgenden PAK-Dosierungen untersucht: 1.5, 10 und 15 mgPAK/L, was im Mittel ca. 0.2, 1.4 und 2.2 mgPAK/mgDOC entspricht. Bei einer Dosierung von 1.4 mgPAK/mgDOC lag die mittlere Eliminationsleistung der 12 Leitsubstanzen im Bereich von 75% bis 83%. Eine höhere PAK-Dosierung von 2.2 mgPAK/mgDOC führte zu einer entsprechend höheren Eliminationsleistung im Bereich von 82% bis 91%. Die erwähnten Dosierwerte beziehen sich auf den Zulauf des untersuchten Biofilters und können aufgrund der Versuchsanordnung (Pilot im Teilstrom und Betrieb mit hoher interner Rezirkulation) nicht direkt auf andere Anlagen übertragen werden.

Während des Versuchs wurde eine Verbesserung der Eliminationsraten beobachtet. Dies könnte auf die Rückführung der PAK, sowohl mit dem Rückspülwasser der Filter in die Vorklärung als auch mit dem nitrifizierten Abwasser in die Belebtschlammbiologie (bei Trockenwetter), zurückzuführen sein.

Bei höheren PAK-Dosen wurde auch Fällmittel (FeCl_3) dosiert. Dies zeigte aber keine Verbesserung des PAK-Rückhalts. Während des Versuchs wurde keine unerwünschte Aktivkohle-Anreicherung im Biofilter beobachtet und es musste keine Änderung der Rückspülintervalle des Biofilters vorgenommen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die PAK-Zugabe keinen Einfluss auf die Nitrifikation hat: die PAK-Dosierung führte zu keiner Erhöhung der Ammonium-Ablaufkonzentration.

Die Dosierung von PAK führte zu einer Überschreitung des Biofilter-Dimensionierungswertes für die ungelösten Stoffe, trotzdem wurden die GUS-Eliminationsraten nicht beeinträchtigt. Da der Biofilter die letzte Reinigungsstufe ist, wurde der Aktivkohle (AK)-Schlupf untersucht. Die AK-Konzentration im Ablauf der ARA Fribourg lag meistens über 1 mg/L (d.h. bei einer PAK-Dosierung von 10 mg/L oder 15 mg/L ergibt sich ein Aktivkohle-Verlust von 10% resp. 7% der PAK-Dosis). Eine abschliessende Filtration wäre hier nötig, da dieser AK-Schlupf deutlich höher ist als bei anderen PAK-Verfahren.

Die Versuche haben folgende Erkenntnisse gebracht:

- Die Leistung der Biomasse wird durch die PAK-Dosierung nicht negativ beeinflusst.
- Die MV-Elimination durch PAK-Dosierung in ein Festbett ist vergleichbar mit anderen PAK-Anwendungen.
- Die MV-Elimination mittels PAK-Zugabe in einen nitrifizierenden Biofilter scheint gemäss diesen Erkenntnissen zu funktionieren. Für den PAK-Rückhalt wird eine zusätzliche Filtrationsstufe empfohlen.

3.3 PAK-Dosierung in ein Verfahren mit granulierter Biomasse

Verfahren mit granulierter Biomasse (z.B. Nereda[®], S-Select[®]) gehören zu den Biofilmverfahren, wobei dennoch immer ein Anteil der Biomasse in suspendierter Form bzw. als Belebtschlammflocken vorhanden ist. Diese Verfahren können in der Verfahrensführung unterschiedlich betrieben werden. Zum jetzigen Zeitpunkt gibt es noch keine verlässlichen Aussagen, inwieweit die Kombination dieser Verfahren mit einem PAK-Verfahren harmonisieren, oder ob PAK im System ggf. akkumuliert und dadurch die biologischen Prozesse einschränkt. Sobald weitere Erkenntnisse und Erfahrungen vorliegen wird dieses Faktenblatt ergänzt.

4. Fazit

Die Dosierung von PAK in eine biologische Stufe mit Aufwuchsträgern (Biofilmsysteme: Festbett, Wirbelbett) ist technisch möglich. Die Leistung rein nitrifizierender Biofilmsysteme wird durch die PAK-Zugabe nicht beeinträchtigt. Die notwendige PAK-Dosierung ist vergleichbar mit der Direktdosierung in klassische Belebtschlammssysteme. Inwiefern sich das Schwebeverhalten der Aufwuchsträger verändert, kann aktuell nicht gesagt werden. Ebenfalls kann keine abschliessende Aussage über den Aktivkohle-Schlupf gemacht werden. Die PAK wird aber vermutlich tendenziell weniger stark in die Biomasse eingebunden als in einem konventionellen Belebtschlammssystem. Eine zusätzliche Filtration zum AK-Rückhalt ist im Einzelfall zu prüfen.

5. Literaturverzeichnis

Cimbritz, M., Edefell, E., Thörnqvist, E., El-taliawy, H., Ekenberg, M., Burzio, C., Modin, O., Persson, F., Wilén, B., Bester, K., Falas, P. (2019): PAC dosing to an MBBR – Effects on adsorption of micropollutants, nitrification and microbial community, *Science of the Total Environment* 677, 571-579

Horisberger, M. (2017): Essais pleine échelle : Dosage de charbon actif en poudre sur une cellule Biofor® - nitrification. Etude préliminaire micropolluants pour la STEP de Fribourg, Rapport final, Triform