

Hier kann ggf. ein Hintergrundbild eingefügt werden (Breite: 18,4, Höhe: max. 22 cm)

Untersuchungen zum Rückhalt von Spurenstoffen in einer LINPOR-Anlage durch aktivkohlebedampfte Schaumstoffwürfel



Wasserverband Eifel-Rur



Grontmij GmbH

Graeffstraße 5
50823 Köln

T +49 221 57402-0
F +49 221 57402-11
E koeln@grontmij.de
W www.grontmij.de

Institut für Siedlungswasserwirtschaft RWTH Aachen

Templergraben 55
52062 Aachen

T +49 241 80-2 52 07
F +49 241 8092312
E info@isa.rwth-aachen.de
W www.isa.rwth-aachen.de

Impressum

Auftraggeber: Wasserverband Eifel Rur

Auftragnehmer: **Grontmij GmbH**
Postfach 30 01 06
50771 Köln

Graeffstraße 5
50823 Köln

Bearbeitung: Herr Dr.-Ing. Heinrich Herbst,
Herr Stefan Ingenhaag

Bearbeitungszeitraum: Aug. 2011 – Dez. 2012

ISA Aachen

Mies-van-der-Rohe Straße 1
52074 Aachen

Herr Dipl.-Ing. Christopher Keyzers
Herr Dipl.-Ing. Detlef Bruszies

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Versuchsaufbau	2
3	Versuchsablauf	3
3.1	Phase 1: Inbetriebnahme der Anlagen	3
3.2	Phase 2: Nachweis der Nitrifikationsleistung	3
3.3	Phase 3: Untersuchung der Spurenstoffe	6
3.4	Phase 4: Überprüfung des Verlaufs der zeitlichen Beladung der Aktivkohle	11
3.5	Fazit der halbtechnischen Versuche und der Becherglasversuche	12
4	Ausblick	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der Straße 1 mit Aktivkohle bedampfte Schaumstoffwürfel und der Referenz-Straße 2 auf der HtK Neuss	2
Abbildung 2:	NH ₄ -N-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der LINPOR Anlage mit Aktivkohle	4
Abbildung 3:	NH ₄ -N-Konzentrationen im Zu- und Ablauf der LINPOR Anlage ohne Aktivkohle	4
Abbildung 4:	NH ₄ -N Abbauraten der LINPOR-Versuchsanlage mit/ ohne Aktivkohle	5
Abbildung 5:	Zu- und Ablaufkonzentrationen von 1-H-Benzotriazol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK	6
Abbildung 6:	Zu- und Ablaufkonzentrationen von Carbamazepin der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK	7
Abbildung 7:	Zu- und Ablaufkonzentrationen von Diclofenac der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK	8
Abbildung 8:	Zu- und Ablaufkonzentrationen von Metoprolol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK	9
Abbildung 9:	Zu- und Ablaufkonzentrationen von Sulfamethoxazol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK	9
Abbildung 10:	Aktivkohle bedampfte LINPOR-Würfel nach sechs monatigem Einsatz und neuwertig	10
Abbildung 11:	Ermittelte Abbauraten im Batch-Versuch der mit frischer Aktivkohle bedampften LINPOR-Würfel (Proben vom 08. / 09. / 11.03.12)	11
Abbildung 12:	Entnommene Stoffmenge	12
Abbildung 13:	Umrüstung eines vorhandenen Rundbeckens zur Einbindung der Spurenstoffelimination in das LINPOR-Verfahren mit PAK	13
Abbildung 14:	Erweiterung des LINPOR-Verfahrens zur Einbindung der Spurenstoffelimination mit PAK	14

1 Veranlassung

Aufgrund einer fortschreitenden Leistungssteigerung der Wasseranalytik werden immer mehr Stoffe anthropogenen Ursprungs an verschiedenen Stellen des Wasserkreislaufs wie z.B. Abwasser, Gewässer und in Spuren im Rohwasser detektiert. Einige dieser Stoffe weisen kanzerogene, mutagene oder teratogene Wirkungen auf. Zur Gruppe der anorganischen und organischen Mikroschadstoffe zählen z.B. Hormone, Arzneimittel, Personal-Care-Produkte, Pestizide und anderweitig eingesetzte Substanzen. Für eine Vielzahl der Schadstoffe gibt es derzeit noch keine rechtliche Regelung in Form eines Grenzwerts für die Gewässereinleitung, obwohl einigen Stoffen schon heute eine hohe Umweltrelevanz nachgewiesen werden kann. Zur langfristigen Sicherung einer hohen Wasserqualität besteht grundsätzlich Handlungsbedarf zur Reduktion der Einträge von Spurenstoffen in Gewässer.

Für die Elimination von Spurenstoffen stehen verschiedene technische Lösungen zur Verfügung. Dies umfasst u.a. Ozonierung, Nanofiltrationsmembranen, Pulveraktivkohle (PAK) und Aktivkohlefilter. Bei dem Vorhaben „Untersuchungen zum Rückhalt von Spurenstoffen in einer LINPOR-Anlage durch aktivkohlebedampfte Schaumstoffwürfel“ soll eine spezielle Anwendung von Aktivkohle getestet werden. Es ist vorgesehen, die „Standard Schaumstoffwürfel“ einer LINPOR-Anlage gegen mit PAK bedampfte Schaumstoffwürfel des Fabrikates LEVAPOR-C der Firma LEVAPOR GmbH auszutauschen und deren Rückhalteverhalten zu untersuchen. Diese Schaumstoffwürfel mit Aktivkohle wurden in den 1980er Jahren erfolgreich von der BAYER AG zur Industrieabwasserbehandlung eingesetzt. Auf kommunalen Kläranlagen kam diese Technik allerdings bisher noch nicht zum Einsatz. Von den Chemieanlagen gibt es erste Einschätzungen hinsichtlich der Abbauleistungen von organischen Verbindungen, z. B. von Phenolen.

Ein möglicher Einsatz von Levapor-C bietet sich auf den Kläranlagen Eilendorf bzw. Aachen Soers an, da hier schon eine LINPOR-Anlage zur Nachnitrifikation installiert ist. Die Vorversuche für dieses Konzept wurden auf der KA Neuss-Süd durchgeführt. Bei dem LINPOR-Verfahren werden Schaumstoffwürfel als Aufwuchsflächen in ein der Nachklärung nach-geschaltetes Becken, als Wirbelbett betrieben, gefüllt. Da dieses Becken und die benötigte Infrastruktur auf der Kläranlage vorhanden sind, wird es nur ein geringer Aufwand sein, die Technik um die Aktivkohleadsorption zu erweitern. Es müssen lediglich neue Schaumstoffwürfel mit Aktivkohle bedampft werden. Dabei wird neben der Reduktion der Spurenstoffe auch eine Nitrifikationswirkung sowie eine biologische Regeneration der Aktivkohle durch speziell adaptierte Mikroorganismen erwartet.

Mit der zusätzlichen Funktion der LINPOR-Anlagen zur Spurenstoffelimination kann eines der Ziele des Umweltministeriums, Spurenstoffe in kommunalen Kläranlagen zu eliminieren, möglicherweise einfach und zielgerichtet umgesetzt werden.

2 Versuchsaufbau

Zur Vergleichbarkeit der Wirksamkeit / Leistungsfähigkeit der LINPOR Schaumstoffwürfel wurden zwei Straßen mit LINPOR Würfeln ausgestattet. In Straße 1 wurden mit Aktivkohle bedampfte Schaumstoffwürfel eingesetzt. Als Referenz wurden in Straße 2 LINPOR Würfel ohne Aktivkohle verwendet. Die Versuche wurden auf der halbtechnischen Kläranlage (HtK) des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

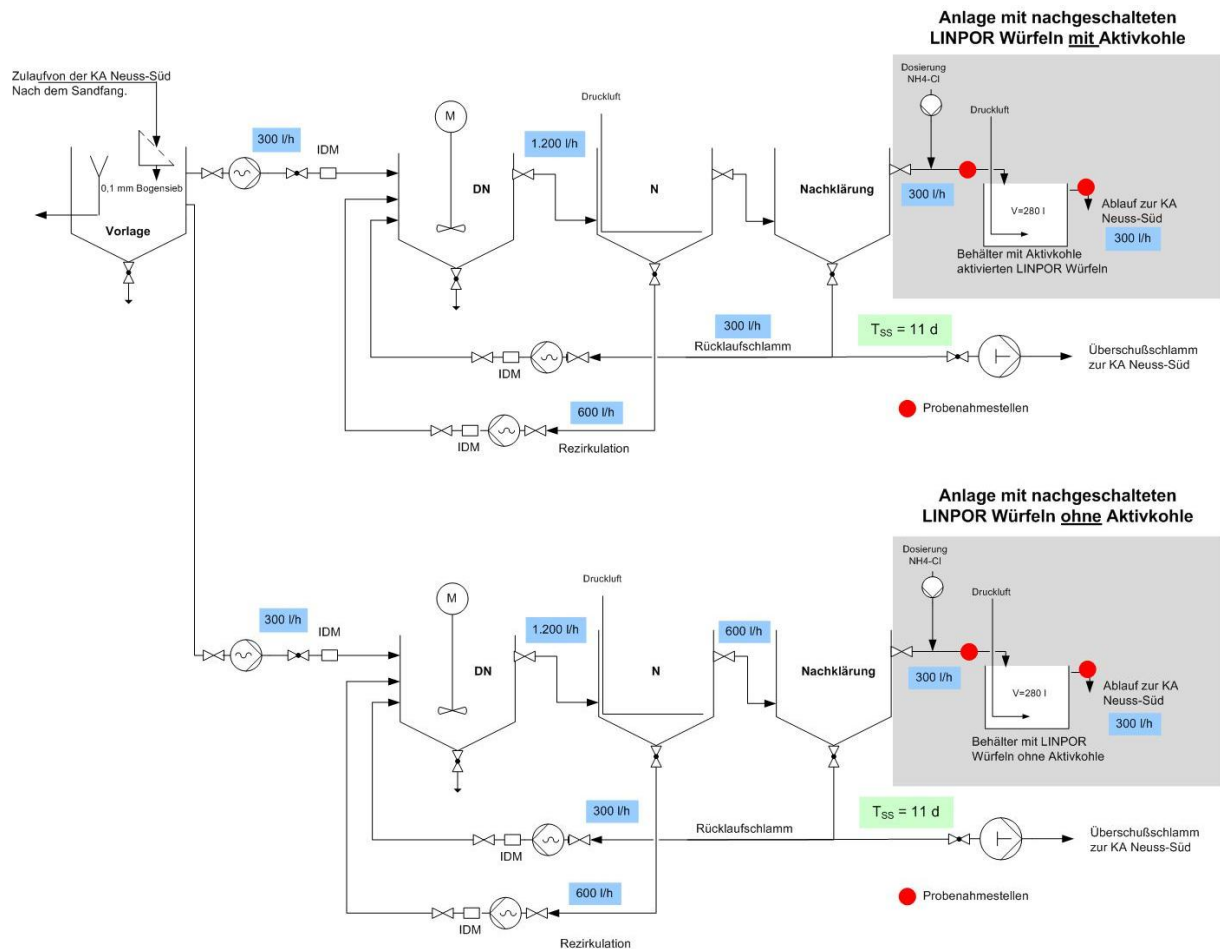


Abbildung 1: Aufbau der Straße 1 mit Aktivkohle bedampfte Schaumstoffwürfel und der Referenz-Straße 2 auf der HtK Neuss

Die der LINPOR Versuchsanlagen vorgeschaltete Biologie wird von Abwasser der Kläranlage Neuss-Süd gespeist. Der Ablauf des Sandfangs der KA Neuss-Süd wird über ein 0,1 mm Bogensieb (vergleichbar Ablauf Vorklämung) in einen Vorlagebehälter geleitet und von dort über Schlauchpumpen der halbtechnischen Versuchsanlage zugeführt. Die biologischen Stufen der beiden Straßen sind identisch aufgebaut und bestehen aus einem vorgeschalteten Denitrifikationsbehälter mit einem Volumen von ca. 2,5 m³, einem gleich großen Nitrifikationsbehälter und einer Nachklärung mit ca. 2 m³ Volumen. Das Rücklaufschlammverhältnis beträgt 1, die vorgeschaltete Denitrifikation wird mit einer 2-fachen Rezirkulation betrieben.

3 Versuchsablauf

Die Versuche wurden in verschiedenen Phasen durchgeführt.

3.1 Phase 1: Inbetriebnahme der Anlagen

Am 23.08.2011 wurden die beiden Anlagen in Betrieb genommen und die jeweils vorgeschaltete biologische Reinigungsstufe wurde kontinuierlich mit einem konstanten Zulauf in Höhe von 300 l/h beschickt. Der Abzug des Überschussschlammes erfolgte so, dass sich ein Schlammalter von 11 Tagen und ein mittlerer Trockensubstanzgehalt von 5 g/l in beiden Straßen einstellten.

Zu Beginn der Einfahrphase setzten sich die mit Aktivkohle behafteten Würfel, trotz feinblasiger Belüftung, am Boden ab. Die LINPOR-Würfel ohne Aktivkohle schwammen bei gleicher feinblasiger Belüftung oben auf. Das Absetzen der Aktivkohle behafteten Würfel lässt sich damit erklären, dass diese mit ca. 33 gew.% PAK bedampft sind. Somit war eine stärkere Belüftung des Behälters erforderlich.

Nach ca. zwei Wochen Probetrieb waren die Schaumstoffwürfel ohne Aktivkohle soweit bewachsen, dass eine gleichmäßige Umwälzung im Reaktionsbehälter stattfand. Da sich bei den Würfeln mit Aktivkohle keine Änderung einstellte, wurde im Rahmen des Probetriebs auf eine grobblasige Belüftung umgestellt, um auch in diesem Reaktor eine gleichmäßige Durchmischung der Würfel zu erreichen.

3.2 Phase 2: Nachweis der Nitrifikationsleistung

Nach der Inbetriebnahme wurden die Untersuchungen zum Nachweis der Nitrifikationsleistung der beiden LINPOR-Anlagen durchgeführt. Durch Reduzierung der Belüftung in den Nitrifikationsbecken der vorgeschalteten biologischen Stufen wurde versucht, die Ammoniumzulaufwerte zu den beiden LINPOR-Anlagen auf ca. 3 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ einzustellen. Im Rahmen der ca. 2-wöchigen Versuchsphase konnten durch die Reduzierung des Sauerstoffeintrags keine stabilen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Zulaufkonzentrationen zu den LINPOR-Anlagen realisiert werden. Daher wurde ab dem 19.09.2011 gezielt Ammoniumchlorid (NH_4Cl) im Ablauf der Nachklärung zudosiert. Durch die gezielte Zudosierung wurde im Mittel eine $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Zulauf der LINPOR-Anlagen in Höhe von 3,5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ eingestellt.

Während des anschließenden vierwöchigen Versuchszeitraums wurden in regelmäßigen Abständen die Ammonium-Stickstoffkonzentrationen im Zulauf und Ablauf der LINPOR-Anlagen analysiert. Die dabei ermittelten Werte sind in Abbildungen 2 bis 4 dargestellt. Bei der Anlage mit aktivkohlebedampften Würfeln wurden im Mittel rund 3,6 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ zugeführt und im Ablauf ca. 0,3 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ gemessen, was einer Abbaurrate von durchschnittlich 93% entspricht. Der Anlage ohne Aktivkohle wurden im Mittel rund 4,0 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ zugeführt, wovon sich noch 0,2 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ im Ablauf wiederfinden ließen. Dies entspricht einer mittleren Abbaurrate von 96%.

Die leicht unterschiedlichen Abbauraten lassen sich auf die analytischen Unsicherheiten und den Betrieb zweier eigenständiger Anlagen zurückführen

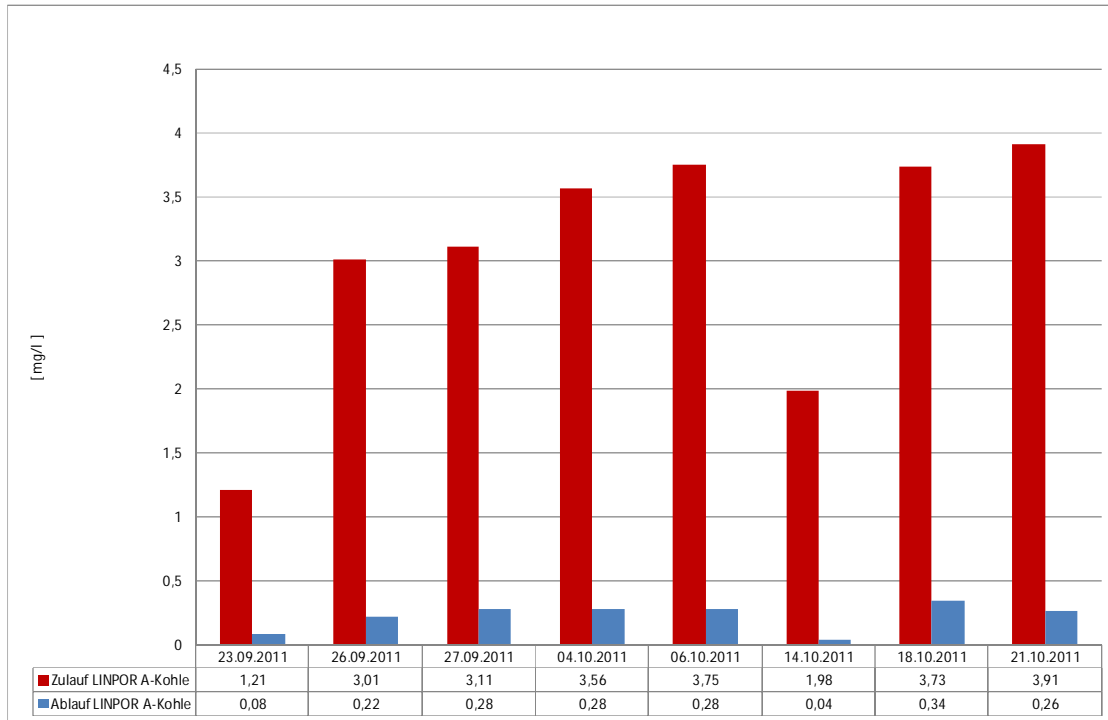


Abbildung 2: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Zu- und Ablauf der LINPOR Anlage mit Aktivkohle

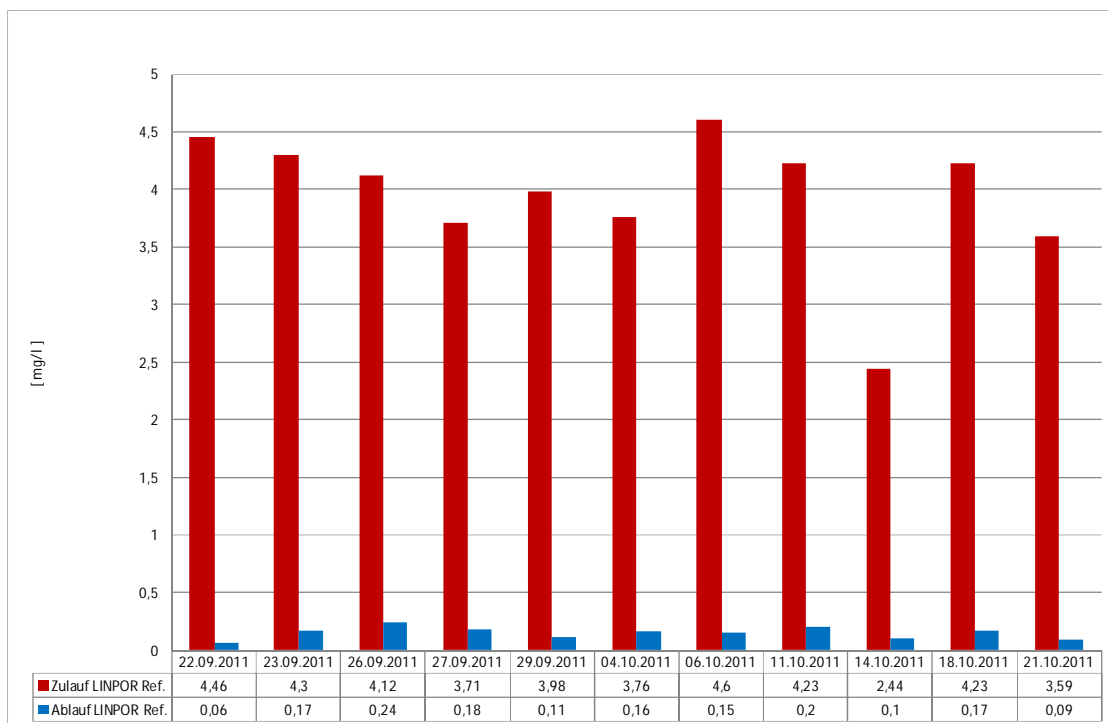


Abbildung 3: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentrationen im Zu- und Ablauf der LINPOR Anlage ohne Aktivkohle

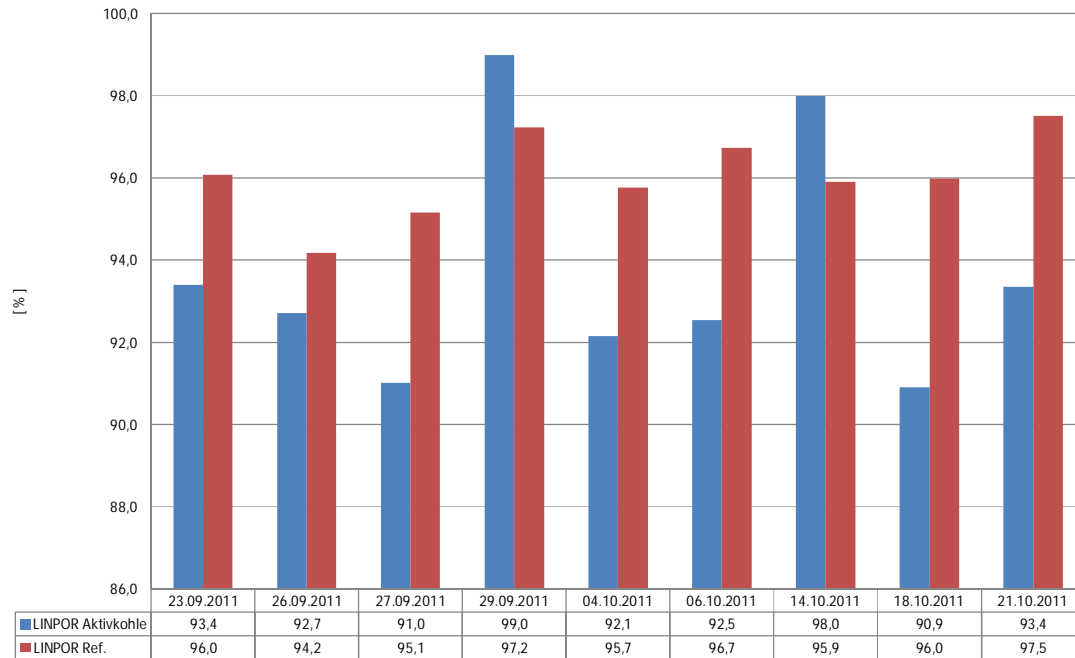


Abbildung 4: NH₄-N Abbauraten der LINPOR-Versuchsanlage mit/ ohne Aktivkohle

Es kann festgehalten werden, dass nach vierwöchigem Probebetrieb der Bewuchs der Würfel mit Nitrifikanten soweit fortgeschritten war, dass beide Anlagen eine ausreichende Nitrifikationsleistung aufwiesen.

3.3 Phase 3: Untersuchung der Spurenstoffe

Parallel zu den Untersuchungen der Nitrifikationsleistung wurden 24h-Mischproben entnommen und auf die darin enthaltenen Spurenstoffe untersucht. Es erfolgte keine Dotierung der zu untersuchenden Substanzen. Folgende organische Spurenstoffe wurden analysiert.

- 1-H-Benzotriazol
- Carbamazepin
- Diclofenac
- Metoprolol
- Sulfamethoxazol

Während des ca. fünf monatigen Versuchszeitraums wurden jeweils vom Zulauf und vom Ablauf der LINPOR Behälter (PAK-LINPOR) 24 h-Mischproben entnommen und auf die oben genannten Spurenstoffe hin analysiert. Im Zeitraum vom 14.09.2011 bis zum 11.10.2011 wurde zusätzlich eine Beprobung der Referenzstraße (LINPOR) durchgeführt. Auf eine Beprobung der Referenzstraße nach dem 11.10.2011 wurde verzichtet, da die Anzahl der Analysen begrenzt waren und sich erwartungsgemäß keine signifikante Stoffentnahme in der Versuchsstraße ohne Aktivkohle einstellte (siehe Abbildung 5). Die Konzentrationen der untersuchten Spurenstoffe sind für den Versuchszeitraum nachfolgend in Abbildung 5 bis 9 stoffspezifisch aufgeführt.

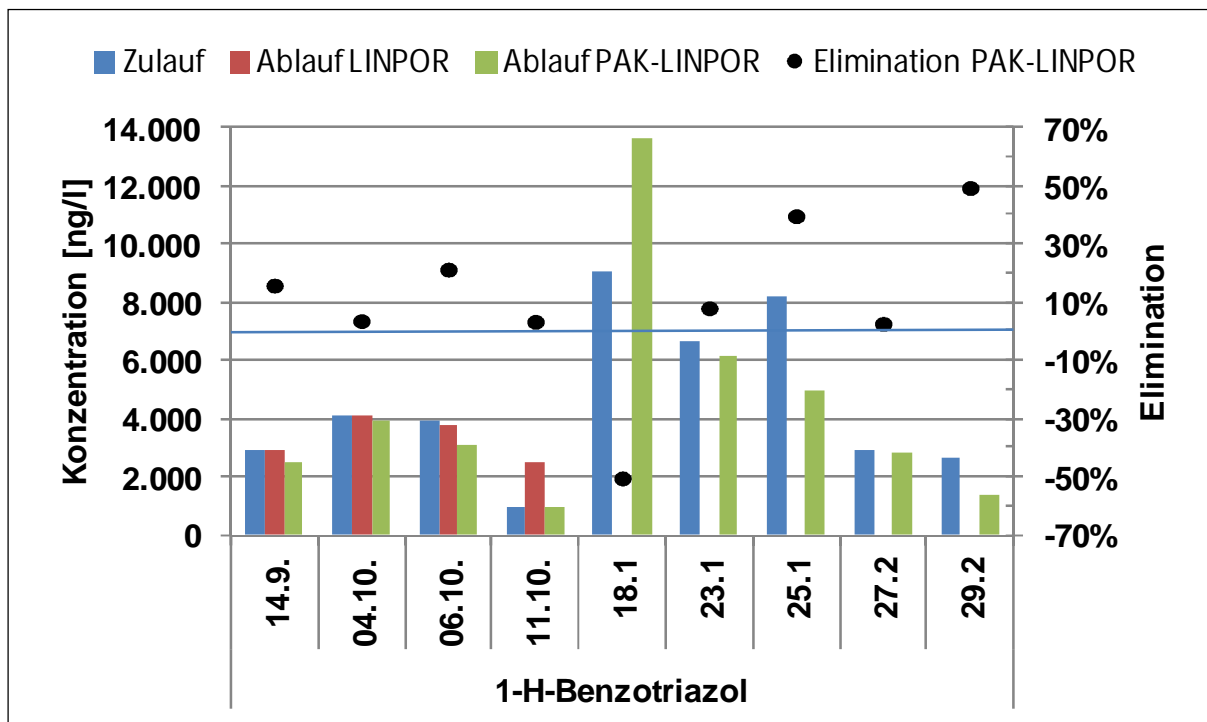


Abbildung 5: Zu- und Ablaufkonzentrationen von 1-H-Benzotriazol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK

Im Bezug auf den Stoff 1-H-Benzotriazol zeigt sich (Abbildung 5), dass im Zeitraum vom 14.09.2011 bis zum 11.10.2012 die Zulaufkonzentration zwischen 980 und 4.100 ng/l schwankten. Im Januar 2012 kam es zu einem signifikanten Anstieg der Zulaufkonzentrationen. Die Stoffentnahme für 1-H-Benzotriazol

durch die mit PAK bedampften LINPOR-Würfeln unterlag starken Schwankungen. So konnten im ersten Untersuchungszeitraum (14.09.2011 - 11.10.2011) durchweg positive Stoffentnahmen beobachtet werden, diese lagen aber durchweg bei kleiner 30 %. Im weiteren Untersuchungsverlauf konnten am 25.01.2012 und am 29.02.2012 Eliminationsgrade von größer 30 % ermittelt werden (Abbildung 5).

Abbildung 6 gibt den Konzentrationsverlauf des Stoffes Carbamazepin wieder. Auch hier wird ersichtlich, dass nur eine mäßige Stoffentnahme durch die Versuchsstraße erreicht werden konnte. Im Vergleich zum Verlauf der Zulaufkonzentration von 1-H-Benzotriazol weist die Carbamazepinkonzentration keine auffallende Schwankung auf. Die ermittelte Elimination schwankte zwischen -14 % und +29 %.

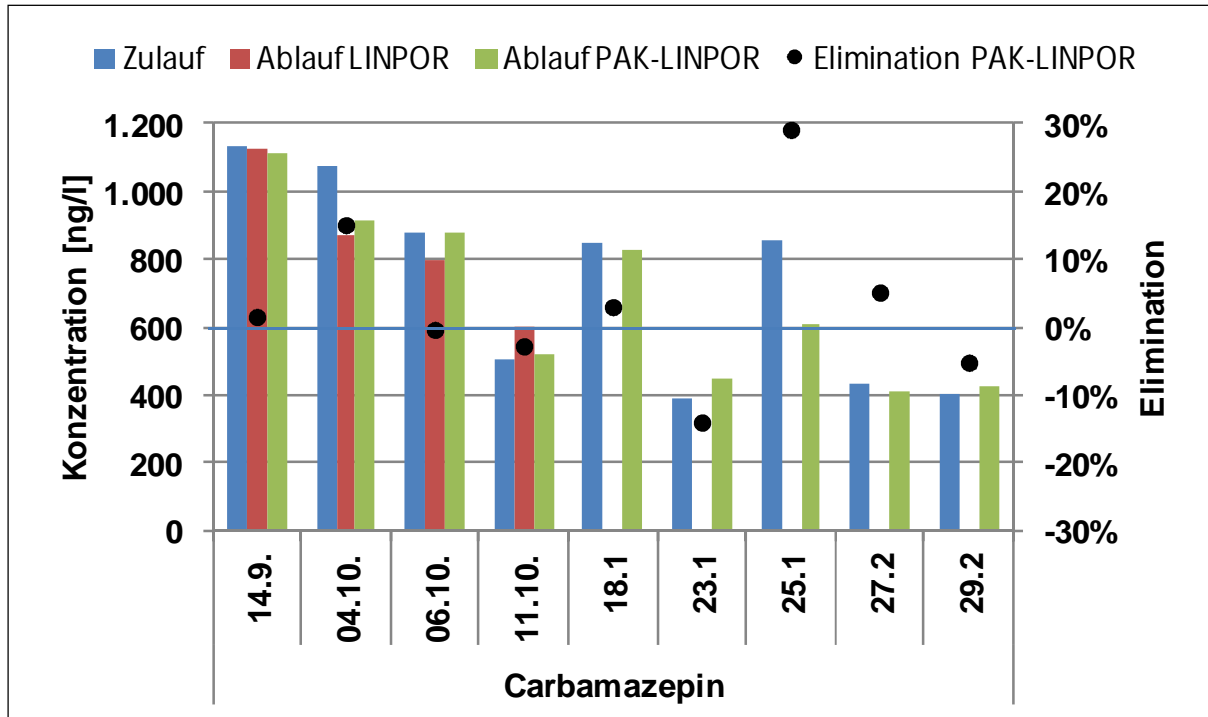


Abbildung 6: Zu- und Ablaufkonzentrationen von Carbamazepin der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK

Auch für den Stoff Diclofenac (siehe Abbildung 7) konnte keine erhöhte Stoffentnahme beobachtet werden. Die Stoffelimination schwankte über den kompletten Untersuchungszeitraum zwischen -21 % und +56 %. Wobei berücksichtigt werden muss, dass die scheinbar hohe Elimination von 56 % am 25.01.2012 in erster Linie auf die hohe Zulaufkonzentration zurückzuführen ist. Im ersten Untersuchungszeitraum (14.09.2011 - 11.10.2011) wurde kein nennenswerter Unterschied der Ablaufkonzentrationen zwischen der Referenzstraße und der LINPOR-Straße festgestellt. (Abbildung 7)

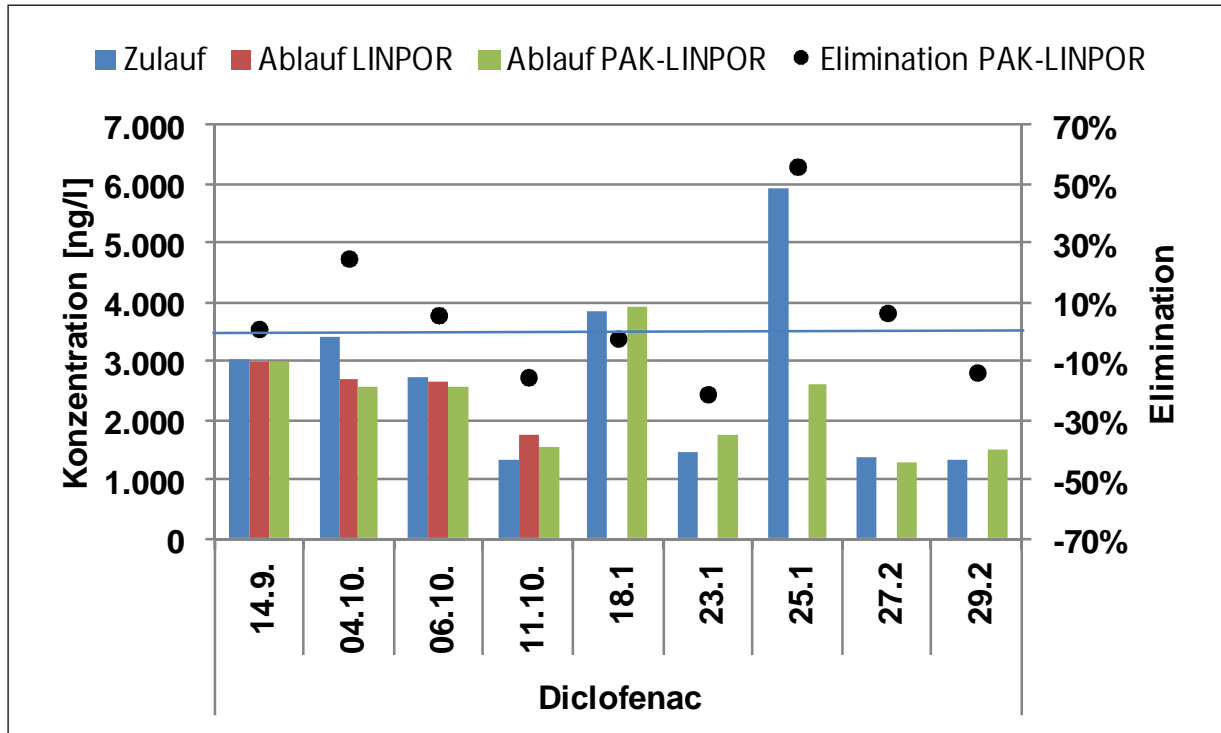


Abbildung 7: Zu- und Ablaufkonzentrationen von Diclofenac der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK

Die Zu- und Ablaufkonzentrationen und die ermittelten Eliminationsgrade für den Stoff Metoprolol sind in Abbildung 8 aufgeführt. Hinsichtlich der Stoffentnahme zeigt sich ein identisches Bild wie bei den vorherigen stoffspezifischen Betrachtungen. Die Elimination schwankt zwischen -63 % und +54 %. Beim Vergleich der Ablaufkonzentration der Referenzstraße und der LINPOR-Straße ist vom 14.09.2011 bis zum 06.10.2011 eine Annäherung der Konzentrationen zu beobachten. Die höchste Elimination konnte am 25.01.2012 beobachtet werden, diese ist aber wiederum auf die hohe Zulaufkonzentration zurückzuführen.

In Abbildung 9 sind die Zu- und Ablaufkonzentrationen und die Eliminationsgrade für Sulfamethoxazol aufgeführt. Auch für diesen Stoff kommt es zu auffallend großen Schwankungen hinsichtlich der gemessenen Konzentrationen und der ermittelten Stoffentnahme.

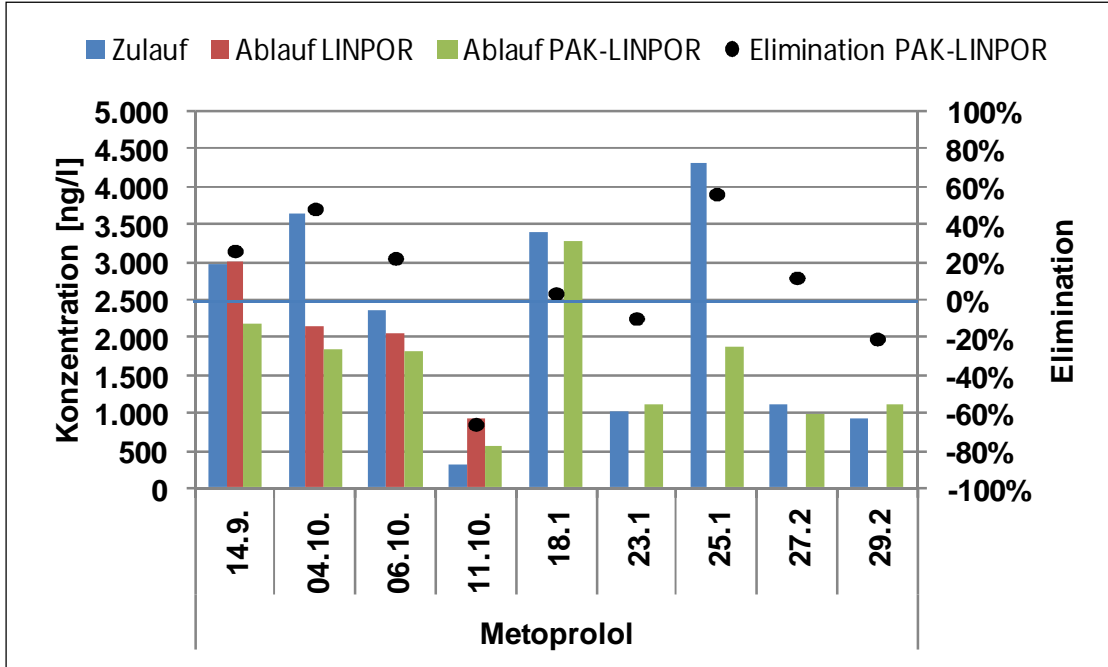


Abbildung 8: Zu- und Ablaufkonzentrationen von Metoprolol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK

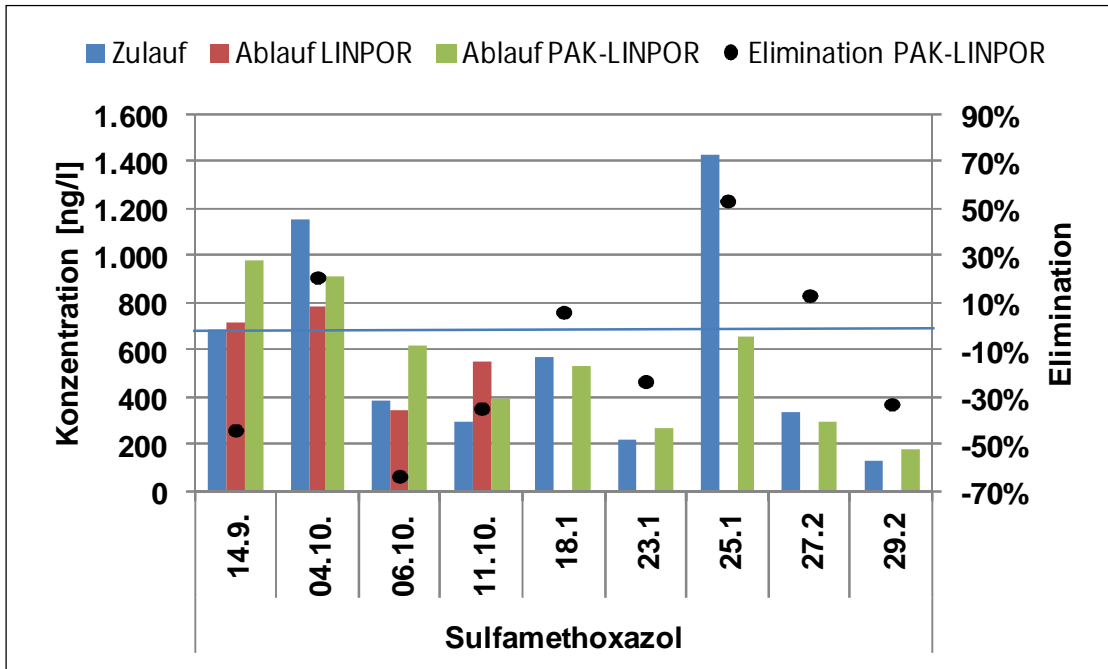


Abbildung 9: Zu- und Ablaufkonzentrationen von Sulfamethoxazol der Referenzstraße und der LINPOR Straße mit PAK

Zum Zeitpunkt der letzten Analysen im Januar und Februar 2012 war keine Aktivkohle mehr auf den Würfeln zu erkennen (siehe Abbildung 10).

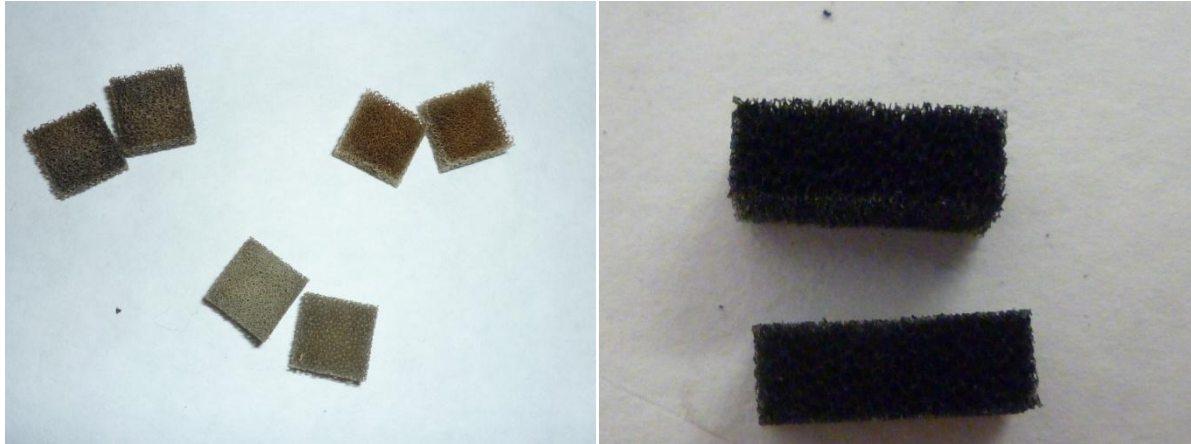


Abbildung 10: Aktivkohle bedampfte LINPOR-Würfel nach sechs monatigem Einsatz und neuwertig

Auffallend sind für alle untersuchten Substanzen und für den Untersuchungszeitraum die negativen Eliminationsgrade. Die negative Elimination kann auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt werden. So haben die untersuchten Spurenstoffe eine unterschiedliche Adsorptionsaffinität und es kann zusätzlich zur Verdrängung von bereits an die Kohle gebundene Stoffe durch DOC-Bestandteile kommen (konkurrierende Adsorption). Eine Quantifizierung der Mechanismen und eine Bewertung konnte im Rahmen dieser Untersuchungen nicht vorgenommen werden.

Da während der halbtechnischen Versuchen der erwartete Effekt einer biologischen Regeneration durch speziell adaptierte Mikroorganismen nicht beobachtet werden konnte, wurde die abiotische, d.h. die physikalische Adsorptionsfähigkeit der mit PAK bedampften LINPOR-Würfel erneut überprüft (Kapitel 3.4).

3.4 Phase 4: Überprüfung des Verlaufs der zeitlichen Beladung der Aktivkohle

Aufgrund der sehr niedrigen Abbauraten wurde mit neuen Aktivkohle-Schaumstoffwürfeln die Entnahmeleistung überprüft. Es sollte untersucht werden, ob bei Einsatz von frischer Aktivkohle signifikant höhere Abbauraten erreicht werden können. Hierzu wurde ein Behälter mit neuen Aktivkohle-Schaumstoffwürfeln parallel zum bereits vorhandenen Behälter installiert und über einen Zeitraum von rund einer Woche betrieben. Die Beschickung des Behälters erfolgte volumenproportional zu den halotechnischen Untersuchungen, so dass die hydraulische Verweilzeit bei beiden Versuchseinstellungen gleich war. In diesem Zeitraum wurden drei Proben vom Zulauf und Ablauf genommen und die Konzentrationen der organischen Spurenstoffe ermittelt. Anfängliche Eliminationen für die untersuchten Stoffe von größer 80 % konnten für alle untersuchten Substanzen nicht ermittelt werden. Es zeigte sich, dass die prozentualen Abbauraten am Ende des Beprobungszeitraumes, insbesondere bei Diclofenac und Sulfamethoxazol, stark zurückgingen. Bei den anderen Stoffen fiel der Rückgang geringer aus. Unabhängig davon ist zu erkennen, dass schon nach drei Tagen die Abbauraten unterhalb von 50 % sanken. Lediglich für den Stoff Metoprolol konnte nach drei Tagen noch eine Abbauraten oberhalb von 50 % nachgewiesen werden (Abbildung 11). Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Aktivkohleporen schnell besetzt werden und die Adsorptionsleistung in kurzer Zeit (ca. 1 – 2 Wochen) erschöpft sein wird.

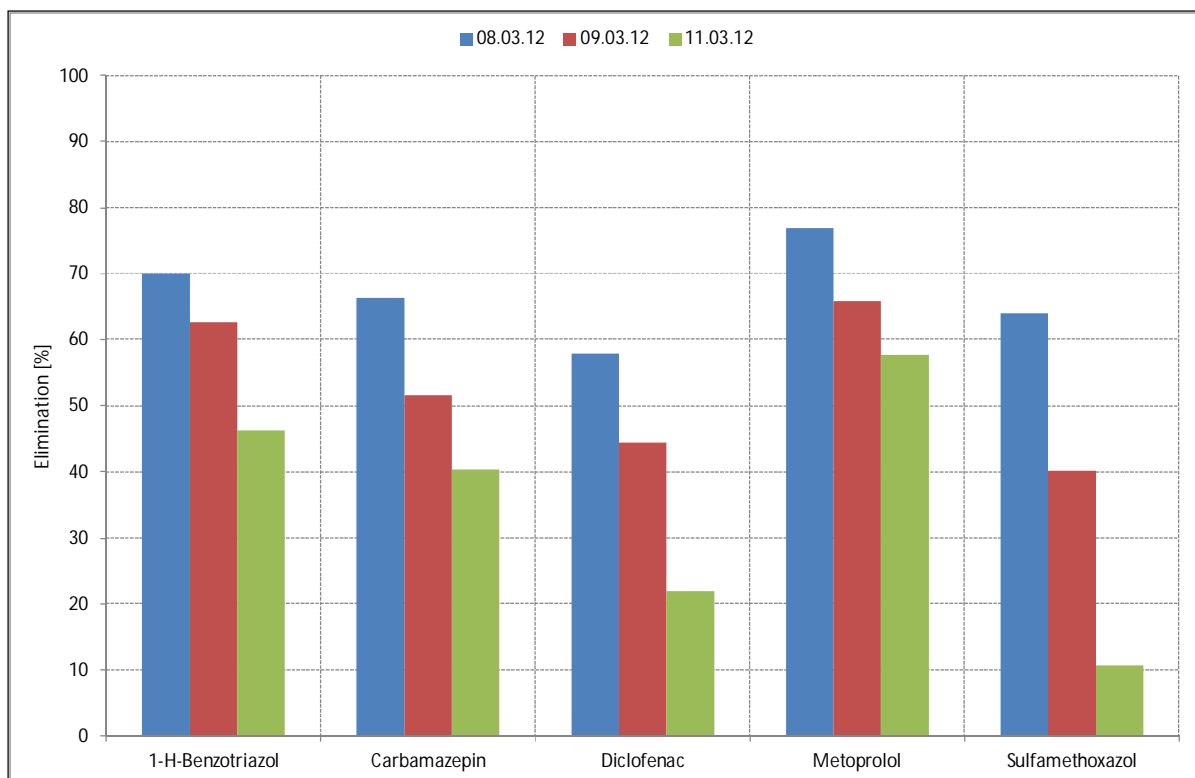


Abbildung 11: Ermittelte Abbauraten im Batch-Versuch der mit frischer Aktivkohle bedampften LINPOR-Würfel (Proben vom 08. / 09. / 11.03.12)

Da die Zulaufkonzentrationen während der Probenahmen anstiegen, wurde die Abbauleistung der zugeführten Spurenstofffracht überprüft. Hier stellte sich heraus, dass sich die entnommene Stoffmenge bei Benzotriazol, Carbamazepin und Metoprolol leicht erhöhte (Abbildung 12).

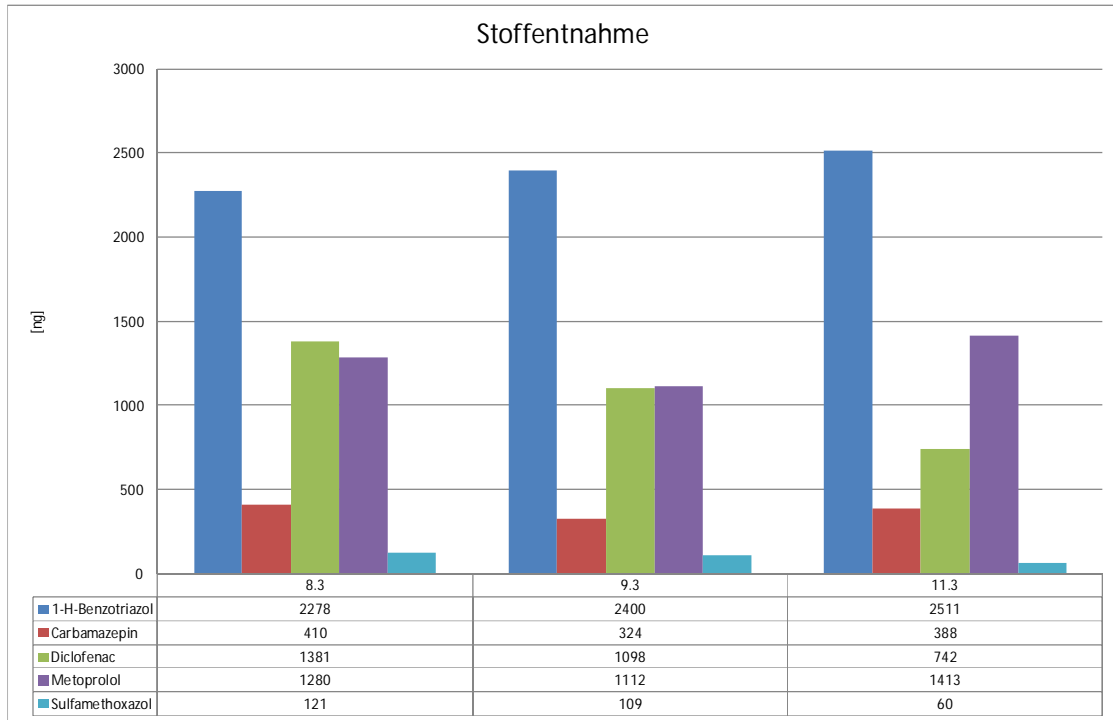


Abbildung 12: Entnommene Stoffmenge

Die Batch-Versuche im Becherglas lassen den Schluss zu, dass bereits nach der Phase I (Inbetriebnahme) und Phase II (Nachweis der Nitrifikationsleistung) die Behandlungskapazität der Aktivkohle auf den Schaumstoffwürfeln erschöpft war.

3.5 Fazit der halbtechnischen Versuche und der Becherglasversuche

Auf Basis der halbtechnischen Untersuchungen ist davon auszugehen, dass eine Regeneration der Aktivkohle durch adaptierte Mikroorganismen nicht zu erwarten ist. Während des langen Versuchszeitraums von ca. 6 Monaten hat sich keine signifikante Spurenstoffelimination in der Versuchsanlage mit Aktivkohle eingestellt. Die Untersuchungen zum Spurenstoffabbau haben ergeben, dass sich die erwartete Spezialisierung der Mikroorganismen auf den bedampften Schaumstoffwürfeln nicht einstellte. Zusätzlich konnte die bedampfte Aktivkohle nicht auf den Schaumwürfeln gehalten werden.

Die Becherglasversuche haben gezeigt, dass die Adsorptionskapazität der LINPOR-Würfel schnell erschöpft wird. Die Versuche zur Überprüfung der Beladung der Aktivkohle haben gezeigt, dass innerhalb weniger Tage die Abbauraten stark reduziert werden. Somit wäre bereits nach kurzer Zeit ein Austausch der bedampften LINPOR-Würfel erforderlich. Dies ist wirtschaftlich aber nicht realisierbar.

4 Ausblick

Die direkte Einbindung der adsorptiven Spurenstoffelimination in das LINPOR-Verfahren über auf den Würfeln aufgedampfte Aktivkohle ist derzeit, unter Berücksichtigung der halbtechnischen Untersuchungsergebnisse nicht möglich. So zeigte sich im Rahmen der Versuche, dass es zum Verlust von Aktivkohle von den LINPOR-Würfeln kommt. Ursächlich hierfür kann die Umwälzung des Reaktors mit Luft sein bzw. eine mangelnde mechanische Beständigkeit der mit Aktivkohle bedampften LINPOR-Würfel. Ein weiteres Hemmnis für die großtechnische Umsetzung ist die kurze Standzeit der mit Aktivkohle bedampften LINPOR-Würfel. So konnte eine ausreichend hohe Adsorptionsleistung nicht über den Untersuchungszeitraum aufrechterhalten werden. Während der Versuche kam es zu einem erheblichen Rückgang der Adsorptionsfähigkeit. Eine weitergehende Untersuchung beispielsweise des großtechnischen Einsatzes der mit Aktivkohle bedampften Schaumstoffwürfel kann aus den durchgeführten Vorversuchen nicht abgeleitet werden. Alternative Integrationsmöglichkeiten der adsorptiven Spurenstoffelimination mittels Aktivkohle in das klassische LINPOR-Verfahren sind in den Abbildungen 13 und 14 schematisch skizziert. So kann bspw. ein Teil des LINPOR-Rings mit Lochbelchen, zum Rückhalt der LINPOR-Würfel, abgetrennt werden und durch den Einbau eines Lamellenabscheiders in den abgetrennten Bereich eine Separierung der PAK sowie die Rückführung der PAK in den LINPOR-Ring realisiert werden. Die Dosierung der frischen PAK erfolgt in den LINPOR-Ring. Ggf. ist zur Separierung der PAK mittels Lamellenabscheider die Zudosierung von Fäll- und Flockungshilfsmittel (FHM) erforderlich. (Abbildung 13)

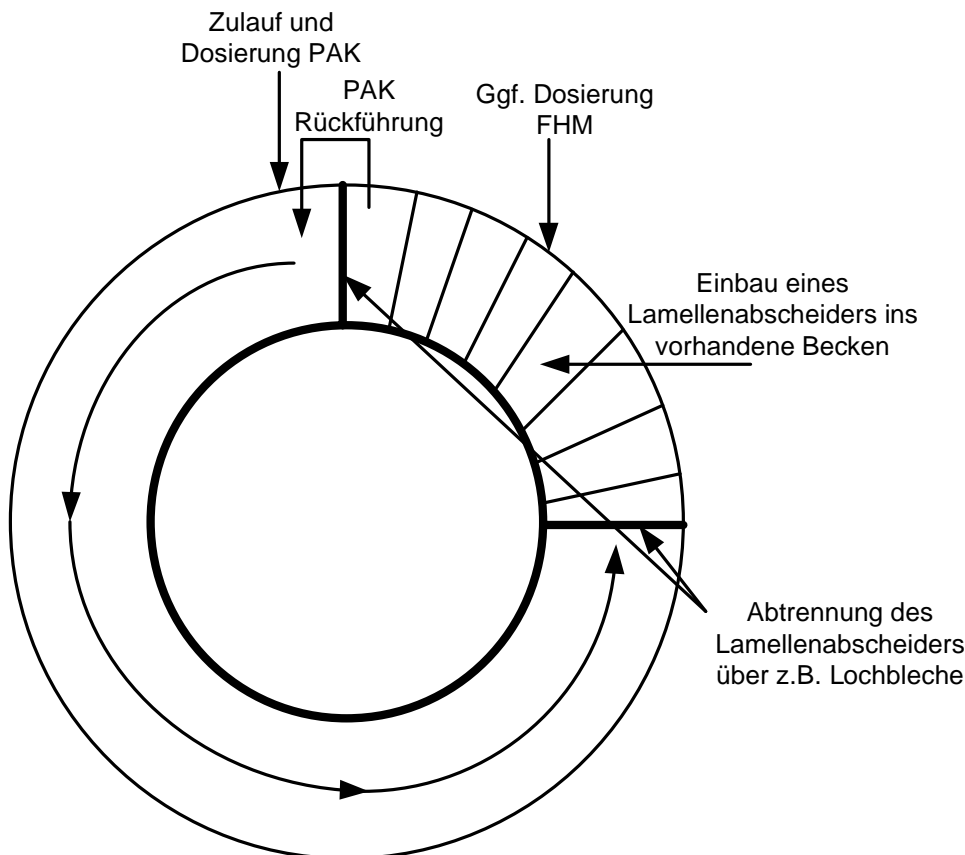


Abbildung 13: Umrüstung eines vorhandenen Rundbeckens zur Einbindung der Spurenstoffelimination in das LINPOR-Verfahren mit PAK

Sollte es aus konstruktiven Gründen nicht möglich sein einen Teil des LINPOR-Rings abzutrennen, um den Einbau des Lamellenabscheiders vorzunehmen bzw. wird das komplette Volumen als Adsorptionsvolumen benötigt, kann die Abscheidung und die Rückführung der PAK auch außerhalb des Beckens in einem externen Prozessschritt erfolgen. Zur Phasenseparation kann dann bspw. ein Actiflow®-System oder alternativ ein Mikrosieb zum Einsatz kommen. Zur Unterstützung der Abscheidung der PAK ist auch hier ggf. eine Zudosierung von Fäll- und Flockungshilfsmittel erforderlich. (Abbildung 14)

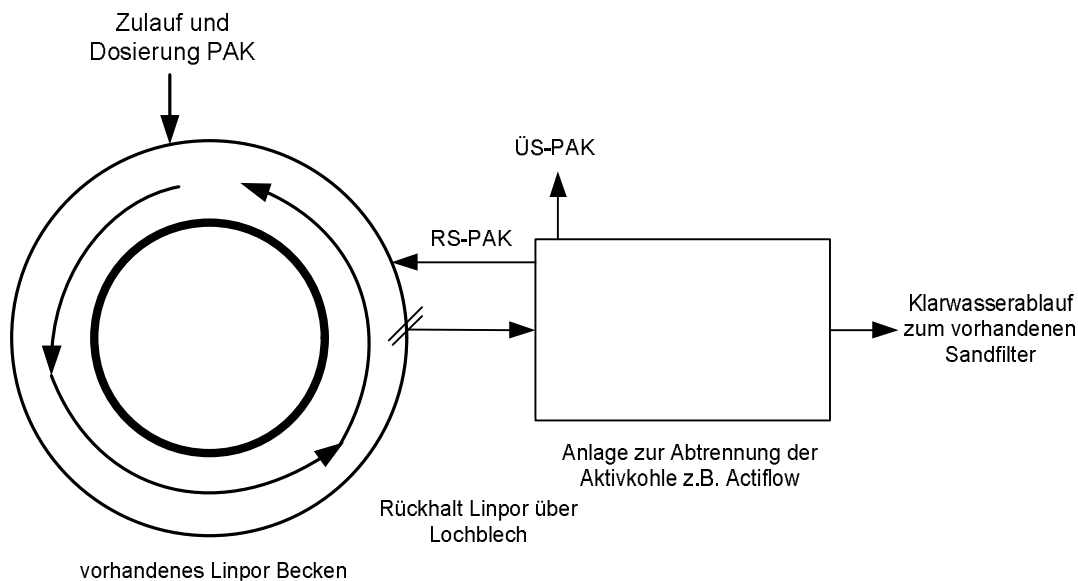


Abbildung 14: Erweiterung des LINPOR-Verfahrens zur Einbindung der Spurenstoffelimination mit PAK