

Zusammenfassung

Die Uferfiltration ist an vielen Standorten ein essenzieller Bestandteil der Barrieren zum Schutz von Grund- und Trinkwasser vor natürlichen und anthropogenen Verunreinigungen. In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die Bodensäule ein geeignetes Modellsystem darstellt, um Prozesse der Uferfiltration abzubilden und zu untersuchen. Voraussetzung für vergleichbare Ergebnisse mit dem Feld ist die Wahl eines geeigneten Füllmaterials der Säulen. Natürliches Ufermaterial aus dem Uferbereich des Tegeler Sees erwies sich in dieser Arbeit gegenüber künstlichem Material (Technischer Sand) als geeigneter. Um Trends im Feld für das Verhalten von gelöstem organischem Kohlenstoff, Biopolymeren und den Elektronenakzeptoren Sauerstoff und Nitrat vorherzusagen bzw. zu untersuchen, kann aber auch ein künstliches Füllmaterial wie Technischer Sand genutzt werden. Das Entferungsverhalten des gelösten organischen Kohlenstoffs über der Aufenthaltszeit konnte sehr gut mit einer Kinetik erster Ordnung, erweitert um einen konstanten Term, modelliert werden. Unter anoxischen Bedingungen war im Technischen Sand die Entfernung von einigen Spurenstoffen deutlich schlechter. Das Entferungsverhalten dieser Spurenstoffe ließ sich somit mit dem künstlichen Material nicht abbilden.

Die Bodensäulen wurden über einen Zeitraum von 5 Jahren unter konstanten Bedingungen betrieben. Dabei offenbarte sich eine lange Einlaufzeit von über 12 Monaten. Die Ursache für die lange Einlaufzeit war im künstlichen Material der fehlende Biofilm und im natürlichen Sand die Anwesenheit von partikulärem organischem Material. Während sich die DOC-Ergebnisse in den Säulen mit Technischem Sand, beeinflusst durch den entstehenden Biofilm, erst nach über einem Jahr auf einen konstanten Wert einpegelten, führte der partikuläre organische Kohlenstoff zu einem erhöhten Verbrauch der Elektronenakzeptoren Sauerstoff bzw. Nitrat während der Einlaufphase. Um sowohl die Einlaufzeit zu verkürzen als auch die Vorteile von natürlichem und künstlichem Material zu nutzen, wurde in dieser Arbeit erfolgreich ein Gemisch aus 10 % natürlichem und 90 % künstlichem Material getestet und für weitere Versuche eingesetzt.

Aus dem Versuch mit den Langzeitbodensäulen sowie Kreislaufversuchen mit kleineren Bodensäulen konnte das Verhalten von 16 Spurenstoffen während der aeroben und anoxischen Bodenpassage erfolgreich untersucht und die Entfernungskinetik beschrieben werden. Im besonderen Fokus stand dabei das Röntgenkontrastmittel Iopromid. Die Hypothese, dass Iopromid cometabolisch mit Biopolymeren als Primärsubstrat transformiert wird und leicht abbaubare organische Makromoleküle zu einer Verbesserung der Transformationsleistung führen, konnte widerlegt werden. Für vier Spurenstoffe (Amidotrizoesäure, Benzotriazol, Diclofenac und Metoprolol) konnte sogar eine signifikante Verbesserung der Entfernung beobachtet werden, wenn weniger Biopolymere zur Verfügung standen. Unterschiedliche Redoxbedingungen hatten in den Bodensäulen nur Einfluss auf die Entfernungsleistung, nicht jedoch das Entferungsverhalten, von gelöstem organischem Kohlenstoff und Biopolymeren. Im Gegensatz dazu konnte für das Entferungsverhalten einzelner Spurenstoffe und der Transformationsprodukte von IOP mitunter ein sehr großer Effekt der Redoxbedingungen nachgewiesen werden.

Während die Spurenstoffe Bezafibrat, Metoprolol, Iopromid und Iomeprol sowohl unter aeroben als auch anoxischen Bedingungen sehr gut entfernt werden, spielen die Redoxbedingungen für das Entferungsverhalten von Acesulfam, Amidotrizoesäure, Benzotriazol, Diclofenac, 4-Formylaminoantipyrin, Gabapentin, Sulfamethoxazol, Tolytriazol und Valsartan eine große Rolle. Der untersuchte Transformationsweg von Iopromid konnte nur unter aeroben Bedingungen bestätigt werden. In Abwesenheit von Sauerstoff werden unbekannte Transformationsprodukte gebildet. Primidon und Carbamazepin wurden während der Bodenpassage unter aeroben und anoxischen Bedingungen nicht entfernt. Für alle Spurenstoffe außer Acesulfam und Gabapentin können mit Hilfe von Bodensäulen nach ausreichender Einlaufzeit gute Vorhersagen für das Verhalten während der Uferfiltration im Feld gemacht werden. Für Acesulfam und Gabapentin wurden Prozesse in den Säulen beobachtet, welche im Feld nicht aufgetreten sind. In weiterführenden Arbeiten muss ein geeigneter Bodensäulenbetrieb gefunden werden.

Abstract

Bank filtration is an essential component of the barriers to protecting groundwater and drinking water from natural and anthropogenic contaminants at many sites. In this work it could be shown that the soil column represents a suitable model system to image and investigate bank filtration processes. Prerequisite for comparable results with the field is the choice of a suitable filling material of the columns. Natural bank material from the shores of the Tegeler See proved to be more suitable in this work than artificial material (technical sand). In order to predict or investigate trends in the field for the behavior of dissolved organic carbon, biopolymers and the electron acceptors oxygen and nitrate, an artificial filling material such as technical sand is also suitable. The removal behavior of the dissolved organic carbon over the residence time could be modeled very well with first-order kinetics extended by a constant term. Under anoxic conditions, the removal of some trace substances was significantly worse in technical sand. The removal behavior of these trace substances could thus not be reproduced with the artificial material.

The soil columns were operated under constant conditions for a period of 5 years. This revealed a long break-in period of more than 12 months. The cause of the long break-in period was the absence of biofilm in the artificial material and the presence of particulate organic material in the natural sand. While the DOC results, influenced by the evolving biofilm in the technical sand columns, took more than one year to adjust to a constant value, the particulate organic carbon led to increased consumption of the electron acceptors oxygen or nitrate during the run-in phase. In order to both shorten the run-in period and to take advantage of natural and artificial material, a mixture of 10 % natural and 90 % artificial material was successfully tested in this work and used for further experiments.

The behavior of 16 trace substances during the aerobic and anoxic soil passages was successfully investigated and the removal kinetics described from the experiment with the long-term soil columns as well as recirculation tests with smaller soil columns. The focus was on the X-ray contrast medium iopromide. The hypothesis that iopromide is transformed cometabolically with biopolymers as the primary substrate and that readily biodegradable organic macromolecules lead to an improvement in the transformation performance could be refuted. For four trace substances (amidotrizoic acid, benzotriazole, diclofenac and metoprolol) even a significant improvement in the removal could be observed if fewer biopolymers were available. Different redox conditions had only a quantitative effect on the amount of removed dissolved organic carbon and biopolymers in the soil columns. By contrast, a very large effect could be demonstrated for the removal behavior of some of the trace substances and the transformation products of IOP.

While the trace substances bezafibrate, metoprolol, iopromide and iomeprol are removed very well both under aerobic and anoxic conditions, the redox conditions play a major role for the removal behavior of acesulfame, amidotrizoic acid, benzotriazole, diclofenac, 4-formylaminoantipyrin, gabapentin, sulfamethoxazole, tolytriazole and valsartan. The investigated transformation path of iopromide could only be confirmed under aerobic conditions. In the absence of oxygen, unknown transformation products are formed. Primidone and carbamazepine were not removed during the passage of the soil under aerobic and anoxic conditions. For all trace substances except acesulfame and gabapentin, good predictions for the behavior during bank filtration in the field can be made with the help of soil columns after sufficient run-in time. For acesulfame and gabapentin, false positive results must be avoided and suitable soil column operation must be found in further work.