

Regenerierbare Fluorophile Ionenaustauscher zur Selektiven PFAS-Entfernung

Lydia Challandes¹, Judith Schobel¹, Herwig Schottenberger², Marco Rupprich³, Christian W. Huck², Thomas Senfter¹, Jan Back¹

¹Studiengang Umwelt-, Verfahrens- und Energietechnik, MCI - Die Unternehmerische Hochschule, Universitätsstraße 15, A-6020 Innsbruck, Österreich

²Institut für Analytische Chemie und Radiochemie, Leopold-Franzens-University Innsbruck, Innrain 80/82, 6020 Innsbruck, Österreich

³Institut für Ecopreneurship, Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Hofackerstraße 30, 4132 Muttenz, Schweiz

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) bekannt als „Ewigkeitschemikalien“ sind bioakkumulierbare und toxische Umweltschadstoffe mit hochstabilen Kohlenstoff-Fluor Bindungen zunehmend in Trink-, Grund- und Abwasser und Böden nachgewiesen werden. Die Freisetzung von PFAS in die Umwelt hat verschiedene Ursachen, wobei Kläranlagen und die Behandlung von PFAS-kontaminierten Abfällen eine wichtige Rolle spielen. Angesichts des durch die EU-Vorschriften festgelegten PFAS-20-Grenzwerts von 0,1 µg/L wird der Bedarf an hochselektiven und zuverlässigen Behandlungsverfahren immer dringlicher. Auch im Bundesabfallwirtschaftsplan werden PFAS-Höchstwerte für Bodenaushubsmaterialien festgelegt. Konventionell adsorptive Behandlungsverfahren versagen oft bei der robusten und selektiven Adsorption kurzkettiger PFAS in komplexen Matrizen.

In dieser Arbeit wurde ein fluorophiles Ionenaustauscher-Polymer (FP) auf Imidazolbasis entwickelt, das eine synergistische gekoppelte Retention durch elektrostatische Wechselwirkungen zwischen anionischen PFAS-Kopfguppen und kationischen Imidazoliumstellen sowie fluorophile Wechselwirkungen mit fluorierten Kohlenstoffketten ermöglicht. Die Adsorptionskapazität wurde anhand von Pulveraktivkohle (PAC) als Referenz für sechs ausgewählte PFAS-Verbindungen mit unterschiedlichen Kettenlängen evaluiert, Perfluorobutansäure (PFBA), Perfluor(2-propoxy-propansäure) (GenX), Perfluoroctansäure (PFOA), Perfluoroctansulfonsäure (PFOS), Trifluoroessigsäure (TFA) und 6:2 Fluorotelomer-sulfonsäure (FTS). Einkomponenten-Isotermen zeigten eine höhere Beladungskapazität für PF im Vergleich zu PAC mit einer um den Faktor 5 bis 12 höheren Maximalbeladung für PFOA, PFBA und GenX. Bei der kompetitiven Adsorption zeigte PAC eine unspezifische Adsorption und eine fortschreitende Verdrängung von PFAS, während FP eine hohe Selektivität aufwies und die PFAS-Beladung bei erhöhter Konzentration von organischen Mikroverunreinigungen aufrechterhielt. Außerdem zeigten Batch-Entfernungs-versuche eine Entfernung von >99,8 % für vier PFAS und in realem PFAS-kontaminiertem Grundwasser eine Entfernung von >99 % für die sechs PFAS. Die Regenerierbarkeit der Materialien wurde unter Verwendung eines Methanol-basierten Elutionsmittels nachgewiesen. Vorläufige Daten deuteten auf volle Kapazitätsbehaltung nach fünf Adsorptions-Elutions-Zyklen und erhalteten strukturelle Integrität und Funktionalität. Zukünftige Arbeiten werden sich mit realen Wässern mit unterschiedlichen Co-Kontaminantenmatrizen, Optimierung und Rückgewinnung von Elutionsmitteln sowie weitere Polymeroptimierung und erweiterten Bewertungen über PFAS-Klassen hinweg befassen.