

2000) beschrieben. Eine Arbeit zur Umsetzung von Anilin-derivaten im Boden unter Verwendung von Guajacol als Humusbestandteil beschreibt die Bildung von Verbindungen die eine Carbazolstruktur aufweisen, allerdings den hier beschriebenen ebenfalls nicht entsprechen (Simmons et al. 1989). In beiden Fällen sind jedoch unmittelbar anthropogen eingetragene Verbindungen beteiligt. Die natürliche Bildung halogenierter organischer Stoffe in Böden, vor allem auch unter Beteiligung von Pilzen ist nachgewiesen (z.B. de Jong und Field 1997, Öberg und Gron 1998), ein Bezug zu den hier behandelten Verbindungen ist aber noch nicht fassbar. Grundsätzlich wurde aber die natürliche Entstehung von 3-Chlorcarbazol im Tierkörper und für ähnliche halogenierte Carbazolderivate in Algen nachgewiesen (Gribble 1996).

4 Schlussfolgerungen

Das Vorkommen von chlorierten Carbazolen in Böden wurde bislang nicht beschrieben, obwohl sie anscheinend weit verbreitet auftreten. Da die industrielle Verwendung von Carbazolderivaten mengenmäßig relativ begrenzt ist (Eicher und Hauptmann 2003) und vor allem das Auftreten der Verbindungen auch in tieferen Bodenhorizonten nicht für einen Eintrag durch Deposition spricht, ist möglicherweise eine natürliche Entstehung in Betracht zu ziehen.

Danksagung. Die Untersuchungen fanden vorwiegend im Rahmen von Projekten statt, die im Auftrag und mit Mitteln des 'Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz' gefördert wurden. Dank gilt außerdem dem Organik-Labor in Markredwitz für die ausgezeichnete analytische Unterstützung.

Literatur

- Bruns-Nagel D, Knicker H, Drzyzga O, Butehorn U, Steinbach K, Gemsa D, von Löw E (2000): Characterization of ¹⁵N-TNT residues after an anaerobic/aerobic treatment of soil/molasses mixtures by solid-state ¹⁵N-NMR spectroscopy. 2. Systematic investigation of whole soil and different humic fractions. *Environ Sci Technol* 34, 1549–1556
- de Jong E, Field JA (1997): Sulphur Taft and Tarkey Tail: Biosynthesis and biodegradation of organohalogenes by basidiomycetes. *Annu Rev Microbiol* 51, 375–414
- Eicher T, Hauptmann S (2003): *The Chemistry of Heterocycles*. Wiley-VCH, Weinheim, 556 S
- Gribble GW (1996): The diversity of natural organochlorines in living organisms. *Pure & Appl Chem* 68, 1699–1712
- Heim S, Schwarzbauer J, Kronimus A, Littke R, Woda C, Mangini A (2004): Geochronology of anthropogenic pollutants in riparian wetland sediments of the Lippe River (Germany). *Organic Geochemistry* 35, 1409–1425
- Joneck M, Prinz R (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns – Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionsituation. GLA-Fachberichte 9, Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 155 S
- Kronimus A, Schwarzbauer J, Dsikowitzky L, Heim S, Littke R (2004): Anthropogenic organic contaminants in sediments of the Lippe river. *Germany Water Research* 38, 3473–3484
- Öberg G, Gron C (1998): Sources of Organic Halogens in Spruce Forest Soil. *Environ Sci Technol* 32, 1573–1579
- Simmons KE, Minard RD, Bollag J-M (1989): Oxidative co-oligomerization of guaiacol and 4-chloroaniline. *Environ Sci Technol* 23, 115–121
- Thrane KE, Stray H (1986): Organic air pollutants in an aluminium reduction plant. *The Science of the Total Environment* 53, 111–131
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (1996): *Methodenbuch, Band VII Umweltanalytik*, VDLUFA-Verlag Darmstadt

Eingegangen: 13. September 2005

Akzeptiert: 28. September 2005

OnlineFirst: 29. September 2005

UWSF – Z Umweltchem Ökotox 16 (4) 245–254 (2004)

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe aus diffusen Quellen Atmosphärische Deposition und Anreicherung in Böden des ländlichen Raums

Tilman Gocht* und Peter Grathwohl

Zentrum für Angewandte Geowissenschaften, Universität Tübingen, Sigwartstr. 10, D-72076 Tübingen

* Korrespondenzautor (tilman.gocht@uni-tuebingen.de)

DOI: <http://dx.doi.org/10.1065/uwsf2004.03.079>

Zusammenfassung

Ziel und Absicht. Durch atmosphärische Deposition gelangen polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) auch in industriiefernen Regionen in Böden und Sedimente. Als persistente organische Verbindungen (POP) können sie dort akkumulieren. Ähnliche PAK-Verteilungsmuster der atmosphärischen Deposition, Boden- und Sedimentproben weisen auf einen engen Zusammenhang zwischen dem Eintrag aus der Luft und der Akkumulation dieser Substanzen in terrestrischen Ökosystemen hin. Ziel dieses Beitrages ist es zum einen, die aktuellen Boden-Hintergrundkonzentrationen im ländlichen Raum auf die atmosphärische Deposition zu beziehen. Des weiteren wird mit einem einfachen Schätzverfahren ermittelt, wann mit Überschreitungen der Vorsorgewerte nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) im ländlichen Raum zu rechnen ist. Dies wird im Kontext der aktuellen Umweltschutzgesetzgebung diskutiert.

Methoden. Die aktuelle Bodenbelastung (Hintergrund) kann durch die Rekonstruktion der historischen Deposition im Zeitalter der Industrialisierung mittels Sedimentkernen nachvollzogen werden. Auf der Grundlage solcher Untersuchungen werden Anreicherungsfaktoren für PAK ermittelt. Diese werden anhand von aktuellen Boden-Hintergrundwerten sowie aktuellen Depositionsraten validiert. Andererseits kann durch Bezug der bereits vorhandenen PAK-Vorräte im Boden und der aktuellen Depositionsrate die Zeit bis zum Erreichen der Vorsorgewerte abgeschätzt werden.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen. Der diffuse Eintrag von PAK ist seit 1960 zwar um den Faktor 2–3 zurückgegangen, bleibt aber gegenüber dem 'natürlichen' Hintergrund (1800) deutlich erhöht, so dass mit einem weiteren Anstieg der PAK-Konzentrationen in den Böden zu rechnen ist. Durch Benützung der Anreicherungsfaktoren und aktueller Depositionsraten werden die Mediane der Boden-Hintergrundwerte erreicht. Die Vorsorgewerte der BBodSchV werden bei gleichbleibender Depositionsrate in ca. 300 Jahren erreicht.

Ausblick. Unsicherheiten bestehen in erster Linie bezüglich der zukünftigen Entwicklung der Depositionsraten. Darüber hinaus fehlen längere Zeitreihen zur atmosphärischen Deposition von POP, die mit validierten Verfahren erhoben wurden. Eine entsprechende DIN liegt seit kurzer Zeit vor (DIN 19739). Durch den Einsatz von Depositionsmessstellen auf Boden-Dauerbeobachtungsflächen kann die zukünftige Entwicklung der Depositionsraten verfolgt werden. Durch die Verknüpfung mit der entsprechenden Bodenanalytik könnte ein Frühwarnsystem für das rechtzeitige Erkennen flächenhafter schädlicher Bodenveränderungen durch atmosphärische Deposition von POP etabliert werden.

Schlagwörter: Akkumulation, POPs; Anreicherungsfaktoren, PAK; atmosphärische Deposition, PAK; Bodenbelastung, PAK; diffuser Eintrag, PAK; persistente organische Umweltschadstoffe (POPs); polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK); Senken, PAK; Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG); Vorsorgewerte