



Boden und Altlasten - Nachrichten aus Hessen

Ausgabe 2024



Boden und Altlasten - Nachrichten aus Hessen

Wiesbaden, 2024

Impressum

Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen – Ausgabe 2024

Bearbeitung: HLNUG Dezernat G3 „Boden und Altlasten“
Nico Diehl, Lena Jedmowski, Katrin Lügger, Volker Zeisberger

Titelbild: links oben: HLNUG
rechts oben: Dr. Otto Ehrmann
links unten: DeSoto Studios
rechts unten: HLNUG

Herausgeber, © und Vertrieb:
Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Rheingaustraße 186
65203 Wiesbaden

Telefon: 0611 69 39-111
Telefax: 0611 69 39-555
E-Mail: vertrieb@hlnug.hessen.de

www.hlnug.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Inhalt

Impressum.....	2
Vorwort	4
Boden des Jahres 2024 – Waldboden	5
Boden im Fokus – Kompensation des Schutzguts Boden	10
Boden als Zeitzeuge – die Bodenprobenbank des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG).....	14
Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in hessischen Auenböden.....	20
Die aktualisierte LABO-Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose	35
Zahlen und Fakten 2023 – gekürzte Fassung.....	39
Neuerscheinungen.....	44
Interessantes und Wissenswertes	50

Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser, ich freue mich, Ihnen die vierte Ausgabe unserer Reihe „**Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen**“ präsentieren zu können. Auch das diesjährige Heft hält für Sie interessante Einblicke in Arbeiten und Projekte des Dezernates „Boden und Altlasten“ bereit.

Im ersten Beitrag wird, wie in den vergangenen Jahren, der aktuelle **Boden des Jahres** vorgestellt. Für 2024 fiel die Wahl auf den Waldboden. Er übernimmt viele wichtige Funktionen im Ökosystem Wald und ist in Hessen als einem der walddreichsten Bundesländer weit verbreitet. Immerhin sind 42 % der hessischen Landesfläche von Wald und damit auch von Waldböden bedeckt.

Der zweite Artikel beschäftigt sich mit der **Kompensation des Schutzguts Boden** und stellt die dritte Auflage der Arbeitshilfe „Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren“ vor. Die Arbeitshilfe wurde in Zusammenarbeit mit Rheinland-Pfalz erarbeitet und nun um neue Aspekte ergänzt. So werden die Bodenschutzbehörden u. a. bei der Auswahl geeigneter Kompensationsmaßnahmen und ihrer Durchführung noch besser in der Vielzahl von Planungsverfahren unterstützt.

Der Boden als Zeitzeuge – unter diesem Motto wird in einem weiteren Beitrag die **Bodenprobenbank** des HLNUG vorgestellt. Als wichtiges Archiv der Umweltgeschichte und Baustein des hessischen Bodenzustandskatasters verwahrt sie derzeit rund 9 500 Bodenproben. Sie ermöglichen uns einen Blick in die Vergangenheit. So konnte beispielsweise in Kooperation mit hessischen Universitäten bei diversen Untersuchungsprogrammen auf wertvolles Probenmaterial zurückgegriffen werden.

Wie in den vorherigen Ausgaben, ist und bleibt die Schadstoffgruppe der **per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS)** ein wichtiges Thema. Im diesjährigen Heft werden die Untersuchungsergebnisse hessischer Auenböden auf PFAS vorgestellt und bewertet, Belastungsschwerpunkte beschrieben sowie methodische Schwierigkeiten bei der Analyse von Bodenproben diskutiert.

Noch in diesem Jahr wird die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz eine aktualisierte Arbeitshilfe zur **Sickerwasserprognose** veröffentlichen. In einem Beitrag informieren wir über wichtige Neuerungen, die sich durch die Novellierung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ergeben.

Um Gefahren für die Umwelt zu erkennen und ggf. zu beseitigen, werden in Hessen seit mehr als 30 Jahren Altflächen erfasst. Die Ergebnisse dieser erfolgreichen Bemühungen spiegeln sich in den **aktuellen Zahlen der Altflächendatei** wider. Dennoch besteht weiterhin Handlungsbedarf. So fehlt es vielerorts noch an Routine, entsprechende Flächen regelmäßig zu erfassen.

Tipps zu aktuellen Publikationen aus dem Themenfeld Boden und Altlasten sowie kurze Informationen zu bodenbezogenen Fortbildungsveranstaltungen, Ausstellungen und weiteren interessanten Projekten runden das Heft ab.

Ich danke den Autorinnen und Autoren herzlich für Ihre Beiträge zur diesjährigen Ausgabe und wünsche Ihnen eine interessante und aufschlussreiche Lektüre.

Prof. Dr. Thomas Schmid

Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz,
Umwelt und Geologie

Boden des Jahres 2024 - Waldboden

LENA JEDMOWSKI*

1 Einleitung

Der Waldboden wurde als Boden des Jahres 2024 ausgewählt. In Hessen als einem der walddominantesten Bundesländer ist dieser Boden weit verbreitet – etwa 42 % der hessischen Landesfläche ist von Wäldern bedeckt. Der Waldboden (Abb. 1) ist Teil dieser wichtigen Ökosysteme und prägt sie maßgeblich mit. Dabei gibt es „den“ Waldboden eigentlich gar nicht. Unter ihm versammeln sich alle Böden, die dem Wald als Standort dienen und dort wichtige Funktionen erfüllen: Sie stellen Nährstoffe bereit, speichern und filtern Wasser und sorgen mit ihrem charakteristischen Bodenleben für die Zersetzung abgestorbener Pflanzenteile zu Humus. Waldböden speichern große Mengen an Kohlenstoff: In ihnen sind größere Mengen davon gebunden als in der oberirdischen Biomasse. Eine Modellierung schätzt, dass 70–80 Megatonnen organischen Kohlenstoffs in den hessischen Waldböden gespeichert sind [1].



Abb. 1: Podsolige Braunerde über Buntsandstein © HLNUG

2 Aufbau von Waldböden

Waldböden bestehen aus mehreren Schichten. An der Oberfläche ist die sogenannte Streuschicht, die aus abgefallenen Blättern und Nadeln der Bäume entsteht und nach unten zunehmend zersetzt ist. Wie mächtig diese organische Auflage ist, hängt u. a. von der Menge und Beschaffenheit der Streu ab: Nadeln werden z. B. langsamer zersetzt als Laub. Außerdem bedingt ein saurer Boden eine geringere biologische Aktivität und damit einen langsameren Abbau der Streu. Das Gleiche gilt für besonders feuchte Böden, in denen Sauerstoffmangel herrscht. Je langsamer die Zersetzung abläuft, umso dicker ist die organische Auflage (Abb. 2).



Abb. 2: Organische Auflage aus einem Nadelwald © HLNUG

Unter der Streuschicht folgt als oberste Schicht des Mineralbodens der Oberboden. Typischerweise enthält er viel eingemischten Humus. Der Mineralboden kann unterschiedlich mächtig sein und wird durch das darunterliegende verwitterte Fest- oder Lockergestein geprägt. Im Unterboden können verschie-

dene Prozesse ablaufen, die zur Entwicklung unterschiedlicher Bodentypen führen. Häufig bilden sich an Waldstandorten Braunerden aus, in denen aus der Gesteinsverwitterung Eisenoxide und Tonminerale neu entstehen. In stark sauren Waldböden werden



Abb. 3: Ein Podsol mit sauergebleichtem Bereich, darunter ein dunkles Band (Bh-Horizont) und ein rotbraunes Band (Bs-Horizont) mit verlagertem Humus und Eisenoxiden © HLNUG

Eisenoxide und Humus aus dem Oberboden in den Unterboden ausgewaschen und es entstehen Podsole (Abb. 3).

Im Wald erfährt der Boden nur wenige Störungen, da nicht gepflügt oder gedüngt wird und die Vegetation sich über Jahrzehnte konstant entwickeln kann. So stellt sich unter den jeweiligen Bedingungen ein enges Zusammenspiel zwischen

dem Mineralboden, den wurzelnden Pflanzen und der von ihnen produzierten Streu sowie den Bodenlebewesen und ihrer Aktivität ein (Abb. 4). Beim Abbau der organischen Substanz werden für das Pflanzenwachstum wichtige Stoffe wie Stickstoff und Phosphor freigesetzt. Auch der Mineralboden stellt den



Abb. 4: Bodenlebewesen wie Tausendfüßler zersetzen in Waldböden abgestorbene Pflanzenreste zu Humus © Dr. O. Ehrmann

Pflanzen wichtige Nährstoffe bereit, die bei der Verwitterung freigesetzt werden. Diesen Prozess unterstützen die Pflanzenwurzeln durch die Absonderung organischer Säuren. Die Wurzeln helfen außerdem beim Aufbau des Porensystems, durch das der Waldboden Wasser gut speichern und versickern kann.

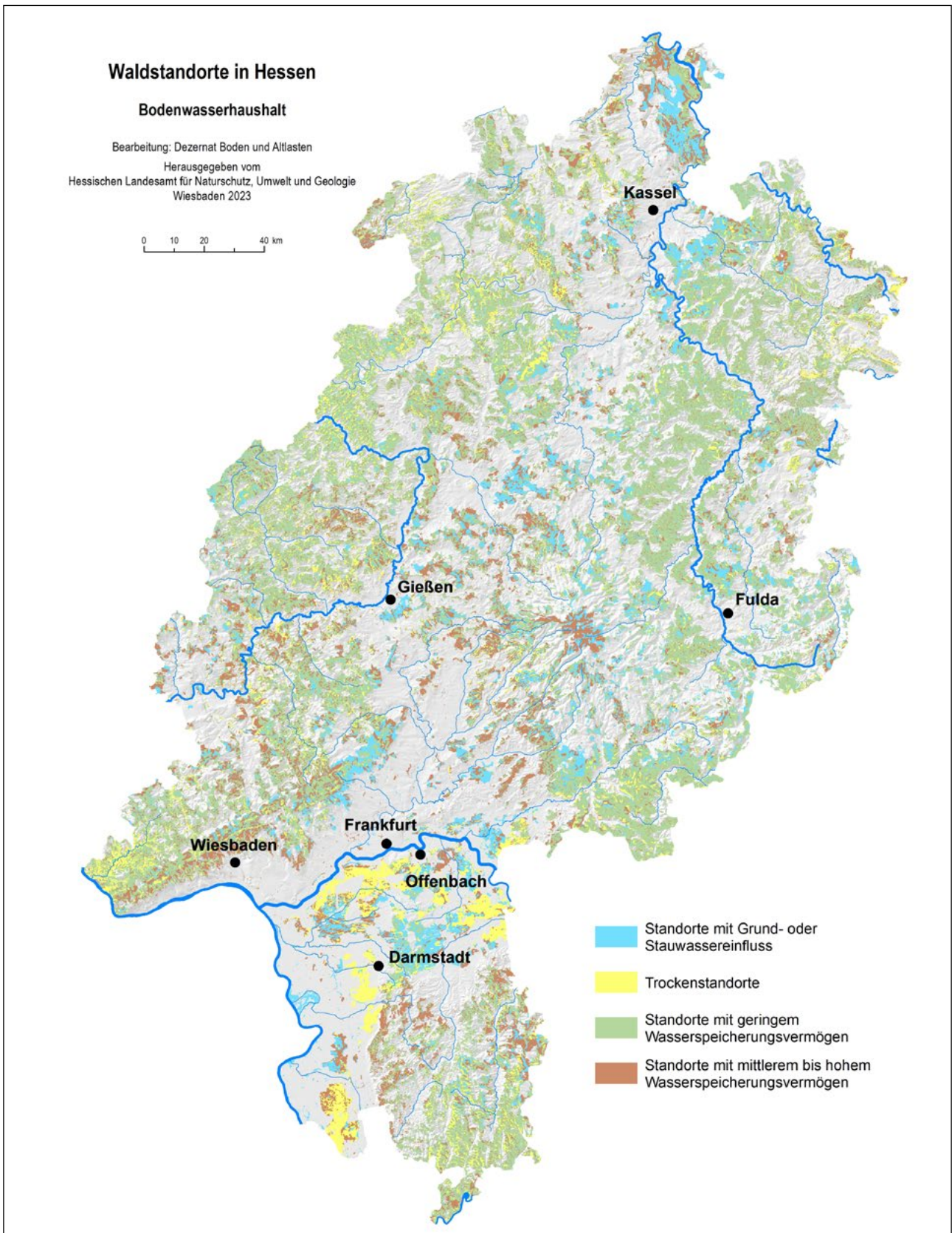


Abb. 5: Karte der Waldstandorte in Hessen und ihres Bodenwasserhaushalts. Es überwiegen Böden mit geringem Wasserspeichervermögen. © HLNUG

3 Waldstandorte und Klimawandel

Als Wald werden häufig Standorte genutzt, die sich aufgrund der Eigenschaften ihrer Böden und ihrer Lage nicht als Ackerstandorte eignen. Das kann an einem relativ nährstoffarmen, sauren Bodensubstrat, einem hohen Steingehalt oder einer nur dünnen Bodendecke liegen. Außerdem sind Waldstandorte oft weiter von Siedlungen entfernt, höher und damit klimatisch ungünstiger gelegen oder an steilen Hanglagen zu finden. In Gegenden wie der Wetterau, in denen Löss verbreitet ist, gibt es aber auch Wälder auf Gunststandorten, die viel Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stellen. Im Oberrheingraben sind Wälder auf den dort häufig vorhandenen Flug- und Flusssanden verbreitet.

Der Klimawandel stellt die forstwirtschaftliche Nutzung der Wälder vor große Herausforderungen. Insbesondere bereiten steigende Temperaturen und geänderte Niederschlagsmuster bislang bewährten Baumarten Probleme. Um die Wälder fit für die Zukunft zu machen, müssen sie standortgerecht umgebaut werden. Kenntnisse über die Eigenschaften der Waldböden sind hierfür von großer Bedeutung. Die Karte des Wasserhaushalts von Waldböden in Hessen zeigt, dass diese häufig ein eher geringes Wasserspeichervermögen besitzen (Abb. 5). Dies und die jeweiligen Nährstoffverhältnisse müssen beachtet werden, um waldbaulich sinnvolle Entscheidungen zu treffen.

4 Gefährdung

Durch die extensive Nutzung sind Waldböden weniger häufig intensiven menschlichen Einwirkungen ausgesetzt. Jedoch lässt sich kaum vermeiden,

dass bei forstwirtschaftlicher Nutzung die Waldböden z. T. mit schweren Forstmaschinen befahren werden. Dies kann lokal zu einer Schadverdichtung



Abb. 6: Das Befahren mit schweren Maschinen kann zur Schadverdichtung des Waldbodens führen. Poren und kleine Hohlräume im Boden werden zerstört, Wasser kann schlechter versickern. © HLNUG

des Bodens und damit zur Beeinträchtigung der Bodenfunktionen führen (Abb. 6). Baumwachstum und die Baumgesundheit können so nachteilig beeinflusst werden. Das Befahren von Waldböden ausschließlich in sogenannten Rückegassen und außerhalb von Zeiten hoher Bodenfeuchte kann die Waldböden hiervor schützen.

In Wäldern findet eine erhebliche Deposition von anthropogen emittierten Schadstoffen aus der Atmosphäre statt. Dabei spielen Bäume eine maßgeb-

liche Rolle, die diese Stoffe mit ihren Kronen regelrecht „auskämmen“ können. Während der Eintrag von Säuren mittlerweile erheblich gesenkt werden konnte, übersteigt der atmosphärische Stickstoffeintrag weiterhin den Bedarf der Wälder [2]. Eingetragene Schadstoffe wie Schwermetalle oder organische Schadstoffe können vom Humus und Mineralbodenbestandteilen gebunden werden und sich so im Waldboden anreichern. Diese Filter- und Pufferfunktion der Böden ist wesentlich für den Schutz des Grundwassers.

Weitere Informationen und Materialien zur Aktion „Boden des Jahres“ und zum „Boden des Jahres 2024 - Waldboden“ finden Sie hier:

Webseite des HLNUG:

<https://www.hlnug.de/themen/boden/erleben/boden-des-jahres>

Webseite des Kuratoriums Boden des Jahres:

<https://boden-des-jahres.de>

Webseite des Thünen-Instituts für Waldökosysteme als diesjähriger Partner des Kuratoriums:

<https://www.thuenen.de/de/fachinstitute/wald-oekosysteme/boden-des-jahres-2024>

Webseite zum Boden des Jahres 2024 „Parabraunerde im Wald“ in der Schweiz:

<https://www.boden-des-jahres.ch/de/2024/parabraunerde-im-wald>

Flyer und Poster zur deutschlandweiten Aktion:

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flyer-boden-des-jahres-2024-waldboden>

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/poster-boden-des-jahres-2024-waldboden>

Mitschnitte und Präsentationen zur Vorstellung des Waldbodens als Boden des Jahres 2024 am Weltbodentag am 05.12.2023 im Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft:

<https://boden-des-jahres.de/weltbodentag-2023/>

Podcasts zum Boden des Jahres 2024:

Soilcast vom 06.12.2023: SoilTalk: Sonderfolge zum Boden des Jahres 2024

<https://soilcast.de/soiltalk/sc066-soiltalk-sonderfolge-zum-boden-des-jahres-2024/>

Kraut im Ohr vom 02.05.2024: Kraut-Interview: Der Boden des Jahres 2024 mit Dr. Gerhard Milbert (Sprecher Kuratorium Boden des Jahres):

<https://kraut-im-ohr.podigee.io/211-kraut-interview-mit-dr-gerhard-milbert>

Literatur

[1] HEITKAMP, F., AHREND, B., EVERS, J. & MEESENBURG, H. (2021): Spatial 3D mapping of forest soil carbon stocks in Hesse, Germany. – J. Plant Nutr. Soil Sci., **184**:635–656; Weinheim. [<https://doi.org/10.1002/jpln.202100138>]

[2] SCHELER, B. (2023): Stoffeinträge. – In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.): Waldzustandsbericht 2023 für Hessen: 29–30; Göttingen. [<https://doi.org/10.5281/zenodo.8430932>]

Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG [9], BNatSchG [6], UVPG [5]) macht die Bewertung der im BBodSchG verankerten natürlichen Bodenfunktionen und der Archivfunktion unerlässlich. Eine solche Bewertung erfolgt in Hessen und Rheinland-Pfalz auf Grundlage der Bodenflächendaten der landwirtschaftlichen Nutzflächen im Maßstab 1 : 5 000 (BFD5L). Bei kleineren Datenlücken kann mit einer fachlich begründeten Datenübertragung gearbeitet werden. Liegen keinerlei verwendbare Daten vor, wie häufig unter forstlicher Nutzung,

sollte eine Detailkartierung nach der aktuellen bodenkundlichen Kartieranleitung erfolgen. Basierend auf der Kartierung erfolgt die Bodenfunktionsbewertung als Grundlage für die Ermittlung der bodenfunktionsbezogenen Kompensation in einem bodenkundlichen Gutachten. Derzeit wird zusammen mit dem Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz an einem excelbasierten Arbeitswerkzeug gearbeitet, das es ermöglichen wird, die in einer Kartierung erhobenen Bodendaten automatisiert für die Bodenfunktionsbewertung zu nutzen.

3 Bodenfunktionsbewertung und Ermittlung der bodenfunktionsbezogenen Kompensation

Um die Auswirkungen einer Planung oder eines Vorhabens auf das Schutzgut Boden zu ermitteln, muss der bodenfunktionale Zustand vor dem Eingriff und der prognostizierte Zustand des Bodens nach dem Eingriff gegenübergestellt werden. Dazu werden Wertstufeneinheiten vor (WvE) und nach (WnE) einem Eingriff ermittelt. Grundlage für die Ermittlung der WvE ist eine bodenfunktionale Gesamtbewertung auf Basis der BFD5L Daten, die im **BodenViewer** Hessen [10] des HLNUG zur Verfügung steht. Durch die Ermittlung und Bewertung der Wirkfaktoren wird der Wertstufenverlust kalkuliert. Die einfache Verrechnung gibt den Kompensationsbedarf an, der durch Minderungsmaßnahmen verringert und durch Kompensationsmaßnahmen ausgeglichen werden kann. Tabelle 1 gibt einen Überblick über entsprechende Wirkfaktoren sowie mögliche Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen.

Die Beurteilung der Eingriffe und die Ableitung des Kompensationsbedarfs kann mit Hilfe eines Arbeitswerkzeugs (**Excel-Berechnungstool**) [11] in drei Arbeitsschritten vorgenommen werden:

1. Berechnung der Wertstufendifferenz der Bodenfunktionen vor und nach dem Eingriff,
2. Berechnung des bodenbezogenen Kompensationsbedarfs und
3. Berechnung der Wirkung von Kompensationsmaßnahmen.

Auf Grundlage der Gesamtfunktionsbewertung wird der Kompensationsbedarf kalkuliert. Dieser kann durch geeignete Minderungsmaßnahmen verringert werden. Der Kompensationsbedarf und die Wirkung von Kompensationsmaßnahmen wird in Bodenwerteinheiten (BWE), die einen Bezug zur Flächengröße haben, ausgedrückt:

$$KB [BWE] = \text{Fläche [ha]} \times (WvE - WnE)$$

KB: Kompensationsbedarf in Bodenwerteinheiten (BWE)

WvE: Wertstufe des Bodens vor dem Eingriff

WnE: Wertstufe des Bodens nach dem Eingriff

4 Vermeidungs-, Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen

Die Maßnahmen zum Ausgleich des Wertverlustes können verschiedenen Maßnahmengruppen zugeordnet werden. Vermeidungsmaßnahmen sind immer planerisch-strategischer Natur. Hierzu zählen z. B. die Ausweisung von Tabuflächen oder die Lenkung der Flächeninanspruchnahme auf Böden mit geringerem Funktionserfüllungsgrad schon bei

der Planung des Eingriffs. **Vermeidungsmaßnahmen** werden nicht in den bodenbezogenen Kompensationsbedarf eingerechnet und erfahren deshalb keine Bewertung. Sie vermeiden jedoch Eingriffe in teilweise hochfunktionale Böden und verringern gleichzeitig die Flächengröße, die zur Berechnung des Kompensationsbedarfs herangezogen wird.

Minderungsmaßnahmen sind alle technisch umsetzbar (Tab. 1). Beispiele wären die Anlage versickerungsfähiger Oberflächen für Verkehrs- oder Bauflächen (Abb. 2) oder die Wiederverwendung des Bodenmaterials am Eingriffsort. Minderungsmaßnahmen werden in die Kalkulation des Kompensationsbedarfs einbezogen.

Bodenbezogene **Kompensationsmaßnahmen** werden idealerweise im Umkreis von 50 km vom Eingriffsort umgesetzt. Als Ausgleich für eine Flächenversiegelung ist die Vollentsiegelung anzustreben. Weitere Maßnahmen können z. B. Teilentsiegelungen oder die Überdeckung baulicher Anlagen, wie Tiefgaragen, im Boden sein (Tab. 1, Abb. 2).

Tab. 1: Zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs benötigte Wirkfaktoren, Minderungsmaßnahmen und mögliche Kompensationsmaßnahmen (unvollständige Auflistung ohne Wertung)

Wirkfaktoren	Minderungsmaßnahmen	Kompensationsmaßnahmen
Versiegelung	Überdeckung baulicher Anlagen im Boden	Vollentsiegelung
Abgrabung/Bodenabtrag	Technische Maßnahmen zum Erosionsschutz	Herstellung eines durchwurzelbaren Bodenraums
Ein- und Ablagerung von Material ohne Bodenfunktionen	Dachbegrünung, intensiv	Teilentsiegelung
Verdichtung	Dachbegrünung, extensiv	Überdeckung baulicher Anlagen im Boden (Abb. 2, rechts)
Erosion	Verwendung versickerungsfähiger Beläge (Abb. 2, links)	Bodenlockerung (mechanisch, biologisch)
Stoffeintrag bzw. -austrag mit bodenchemischer Wirkung	Dezentrale Versickerung von Niederschlagswasser	Erosionsschutz
Bodenwasserhaushaltsveränderungen	Wiederverwendung des Bodenmaterials am Eingriffsort	Teilentsiegelung und anschließend Einbau wasserdurchlässiger Beläge
	Bodenkundliche Baubegleitung	Auftrag humosen Oberbodens
		Umwandlung in ökologischen/biologischen Anbau



Abb. 2: Verwendung versickerungsfähiger Beläge (links), Überdeckung baulicher Anlagen im Boden (rechts) © HLNUG

5 Anwendung - Ausblick

Die Arbeitshilfe zur Kompensation des Schutzguts Boden wird seit 2018 erfolgreich eingesetzt und hat sich in der Praxis bewährt. In der dritten Auflage wurde sie für die Anwendung in Planungs- und Genehmigungsverfahren erweitert.

Bei der Kompensation des Schutzguts Boden gibt es eine Vielzahl von Herausforderungen. Dazu gehört unter anderem die Auswahl geeigneter Maßnahmen und das Auffinden von Flächen zur Kompensation.

Auch die Sicherstellung der dauerhaften Wirksamkeit der Kompensationsmaßnahme und die Überwachung von durchgeführten Maßnahmen ist von entscheidender Bedeutung.

Die Arbeiten zum Schutz der Belange des Bodens werden dynamisch weitergeführt und verknüpfen gesetzliche Regelwerke und Erfahrungen aus der Praxis, um gut anwendbare Arbeitshilfen zu bieten.

Literatur

- [1] Die Bundesregierung (2021): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021. – Berlin. [<https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1873516/9d73d857a3f7f0f8df5ac1b4c349fa07/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-barrierefrei-data.pdf?download=1>; Stand: 27.05.2024].
- [2] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2019): Kompensation des Schutzguts Boden in der Bauleitplanung nach Baugesetzbuch – Arbeitshilfe zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs für das Schutzgut Boden in Hessen und Rheinland-Pfalz. – Böden und Bodenschutz in Hessen 14; Wiesbaden.
- [3] BauGB – Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), das zuletzt durch Artikel 11 des Gesetzes vom 8. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1726) geändert worden ist.
- [4] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2023): Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren – Arbeitshilfe zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs für das Schutzgut Boden in Hessen und Rheinland-Pfalz. – Böden und Bodenschutz in Hessen 16; Wiesbaden.
- [5] UVPG – Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147) geändert worden ist.
- [6] BNatSchG – Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 20. Juli 2022 (BGBl. I S. 1362, 1436) geändert worden ist.
- [7] KV Hessen – Verordnung über die Durchführung von Kompensationsmaßnahmen, das Führen von Ökokonten, deren Handelbarkeit und die Festsetzung von Ersatzzahlungen (Kompensationsverordnung – KV) vom 26. Oktober 2018, GVBl. S. 652.
- [8] BBodSchG – Bundes-Bodenschutzgesetz vom 17. März 1998 (BGBl. I S. 502), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.
- [9] BImSchG – Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 3 des Gesetzes vom 19. Oktober 2022 (BGBl. I S. 1792) geändert worden ist.
- [10] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: BodenViewer Hessen. [<https://bodenviewer.hessen.de>; Stand: 27.05.2024]
- [11] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2023): Excel-Berechnungstool zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs für das Schutzgut Boden mit Beschreibung. [<https://www.hlnug.de/themen/boden/vorsorge/bodenschutz-in-der-planung/kompensation-schutzgut-boden>; Stand 27.05.2024]

Boden als Zeitzeuge - die Bodenprobenbank des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

KATRIN LÜGGER, CHRISTIAN HELLER*

1 Umweltprobenbanken

Ein zentrales Werkzeug, um den Zustand unserer Umwelt zu dokumentieren, sind Umweltprobenbanken. In diesen werden Proben verschiedener Umweltmedien, wie beispielsweise Boden, Wasser, Luft oder Pflanzen, langfristig eingelagert. Sie stellen ein wichtiges Archiv dar, anhand dessen Veränderungen unserer Umwelt im Laufe der Zeit überwacht und bewertet werden können. Die umfassendste deutschlandweite Sammlung ist in der Umweltprobenbank des Bundes (UPB) zu finden, für die erste Proben bereits 1981 entnommen wurden und die seit 1985 als Daueraufgabe unter der Koordinierung des Umweltbundesamtes (UBA) betrieben wird. Dabei verfolgt die UPB einen ökosystemaren Ansatz: Es werden verschiedene Probenarten in bundesweit 14 Probennahmegebieten gesammelt, die als typische Ökosysteme den Zustand der deutschen Umwelt repräsentativ abbilden sollen. Proben werden z. B. in Flüssen, auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, in naturnahen Wäldern, aber auch

in urbanen Siedlungsgebieten entnommen. Ihre Lagerung erfolgt in der UPB tiefgefroren (bei -150 °C in Flüssigstickstoff), um eine Veränderung auch bei langfristiger Lagerung über Jahrzehnte möglichst auszuschließen. Bodenproben werden für die UPB erst seit 2002 entnommen und eingelagert; Wiederholungsbeprobungen werden seitdem alle vier Jahre durchgeführt. Hessische Standorte sind dabei allerdings nicht vertreten [1, 2].

Neben der UPB werden in Deutschland Bodenproben vor allem im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtungsprogramme der Länder archiviert. Das Führen einer Bodenprobenbank ist essentieller Bestandteil dieser Monitoringprogramme, wie in der Arbeitshilfe zur „Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ erläutert wird [3]. Auch am HLNUG wurde entsprechend eine Bodenprobenbank eingerichtet.

2 Die Bodenprobenbank des HLNUG

Die Einlagerung von Rückstellproben in der Bodenprobenbank des HLNUG verfolgt verschiedene Ziele. Zum einen dient das archivierte Bodenmaterial der Beweissicherung und kann beispielsweise dem Nachweis der Auswirkungen von Störfällen dienen (z. B. Tschernobyl, [3]). Andererseits stehen die Proben für retrospektive Untersuchungen auf „neue“ Schadstoffe bereit, die zum Zeitpunkt der Probennahmen noch nicht bekannt waren oder deren Gefährdungspotenzial nicht für bedeutsam gehalten wurde (z. B. [6, 7, 8]). Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass Schadstoffe, die zuvor aufgrund fehlender oder nicht ausreichend sensibler Labormethoden nicht detektierbar waren, durch Weiterentwicklung von Analyseverfahren in den Fokus des Interesses rücken. Speziell im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung steht das Rückstellmaterial außerdem für Vergleichs-

untersuchungen zur Verfügung, die zur Sicherung der Zeitreihen – beispielsweise bei unvermeidbaren Laborwechsellern oder beim Einsatz aktualisierter Analyseverfahren – zur Überprüfung durchgeführt werden sollten. Teilweise nutzen Boden-Dauerbeobachtungsbetreiber das eingelagerte Bodenmaterial vorheriger Wiederholungsbeprobungen auch standardmäßig zur Referenzierung aktueller Untersuchungen [4, 5]. In Hessen wurde aufgrund des damit verbundenen zusätzlichen Untersuchungsaufwandes bzw. der höheren Untersuchungskosten und des großen Verbrauchs von Rückstellmaterial dieser Ansatz bisher nicht gewählt.

Die Bodenprobenbank befindet sich im Bohrkernlager des HLNUG in Hünstetten-Limbach. Dort stehen für das Rückstellmaterial, welches in der Regel von

* HLNUG Dezernat G3 „Boden und Altlasten“, Kontakt: katrin.luegger@hlnug.hessen.de

allen bei Bodenaufnahmen entnommenen und analysierten Bodenproben archiviert wird, zwei Räume zur Verfügung. Aktuell werden in diesen knapp 9 500 Rückstellproben archiviert. Die Lagerung erfolgt bei Raumtemperatur. Eine tiefgefrorene Lagerung, wie sie in der Arbeitshilfe zur „Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen“ im Hinblick auf spätere Untersuchungen organischer Verbindungen und flüchtiger anorganischer Parameter empfohlen wird [3], ist aufgrund des Fehlens geeigneter Räumlichkeiten sowie aus Kostengründen nicht möglich. Bis zum Jahr 2009 wurde das Bodenmaterial einheitlich ungesiebt in 1 000 ml-Braunglasflaschen abgefüllt und in Schwerlastregalen eingelagert (s. Abb. 1, links). Aufgrund der begrenzten räumlichen Kapazitäten wurde die Bodenprobenbank 2010 um neue Räume mit platzsparenden Schubladenregalen erweitert. Seitdem wird die überwiegende Anzahl der Proben nach Aufbereitung im Landesbetrieb Hessisches Landeslabor (LHL) in Kassel (Lufttrocknung, Sieben < 2 mm) in 500 ml-Vierkant-Braunglasflaschen in diesen Räumlichkeiten archiviert (s. Abb. 1, rechts). Damit steht in der Regel für

spätere Untersuchungen weniger Probenmaterial zur Verfügung.

Die rückgestellten Bodenproben entstammen verschiedenen Untersuchungsprogrammen, die im Rahmen des hessischen Bodenzustandskatasters¹ bearbeitet werden. Eine Übersicht über die jeweiligen Probenanzahlen geben die Abbildungen 2 und 3.

Der größte Anteil der eingelagerten Bodenproben entstammt dem Programm der hessischen Boden-Dauerbeobachtung². Dieses Langzeit-Programm zur Untersuchung des Bodenzustandes und seiner Entwicklung wurde in Hessen bereits 1992 begonnen. In regelmäßigen Abständen werden die insgesamt 68 hessischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) wiederholt beprobt. Während der Untersuchungsturnus zunächst 5 Jahre betrug, ist er – mit Ausnahme ausgewählter Flächen – zwischenzeitlich auf 10 Jahre verlängert worden. Bis heute sind alle Standorte mindestens vier Mal untersucht worden, an einigen Standorten fand sogar bereits die siebte Probenahme statt. In den ersten Jahren des Monitorings wurde



Abb. 1: Blick in die Räumlichkeiten der Bodenprobenbank in Hünstetten-Limbach; links: Einlagerung von Bodenproben in 1 000 ml-Braunglasflaschen in Schwerlastregalen, rechts: Einlagerung von Bodenproben in 500 ml-Vierkant-Braunglasflaschen in Schubladenregalen © HLNUG

1 <https://www.hlnug.de/themen/boden/information/bodenzustandskataster>
 2 <https://www.hlnug.de/themen/boden/erhebung/boden-dauerbeobachtung>

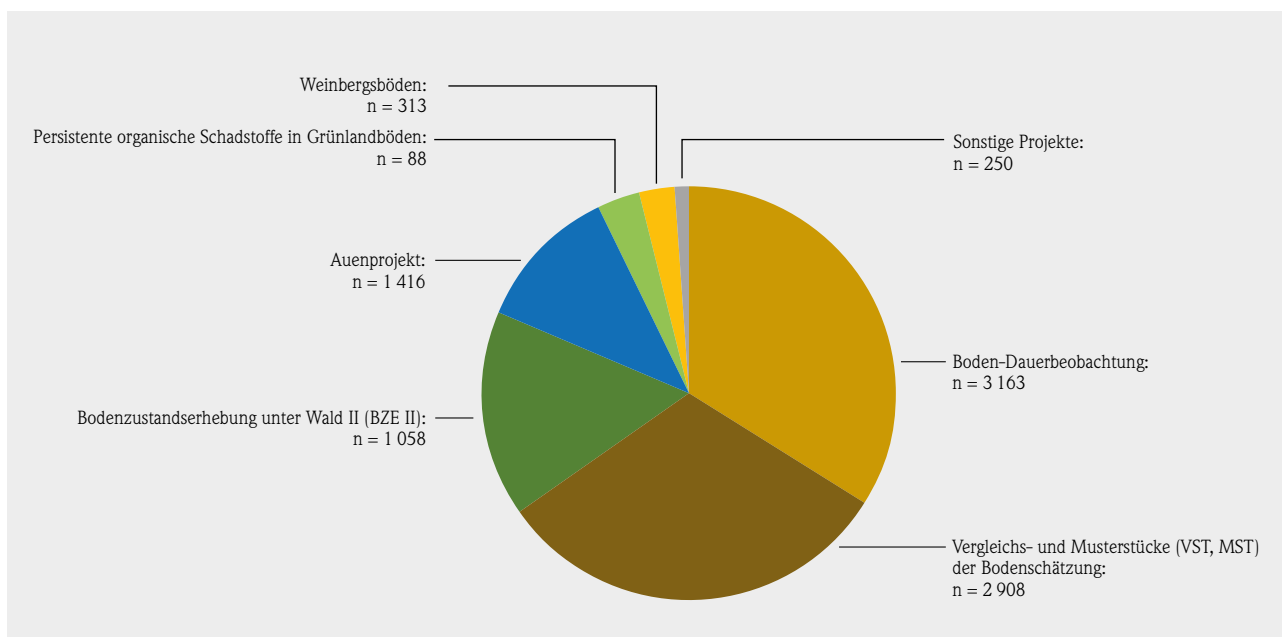


Abb. 2: Anzahl der in der Bodenprobenbank des HLNUG archivierten Bodenproben, differenziert nach Untersuchungsprogramm

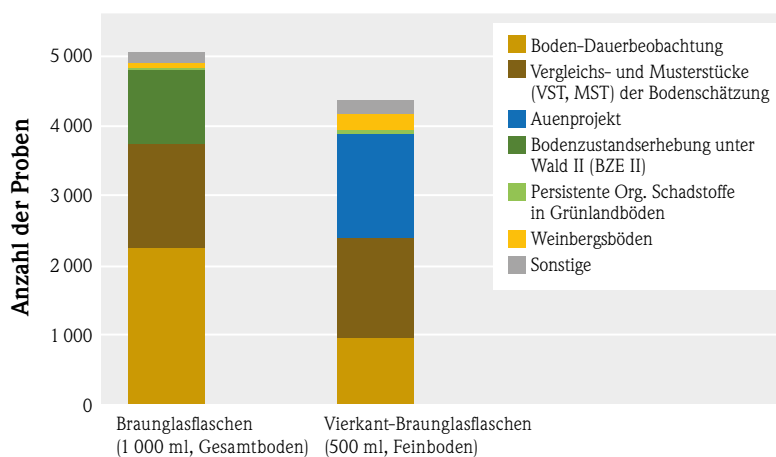


Abb. 3: Anzahl der in der Bodenprobenbank des HLNUG archivierten Bodenproben, differenziert nach Art der Einlagerung (Probenvolumen, -fraktion) und Untersuchungsprogramm

pro entnommener Probe jeweils 1 Liter ungesiebertes Bodenmaterial archiviert. Später wurde die Praxis umgestellt: So werden bis heute von den jeweils drei parallelen Flächenmischproben, die auf einer BDF pro Horizont entnommen werden (siehe Abb. 4), jeweils 500 ml luftgetrocknetes und auf < 2 mm gesiebtes Bodenmaterial eingelagert. Zusätzlich wird von der aus diesen drei Proben vereinten Mischprobe, an der die Analysen auf organische Schadstoffe sowie Radionuklide durchgeführt werden, 1 000 ml getrocknetes, ungesiebertes Probenmaterial rückgestellt. Leider ist das Probenmaterial der Erstbeprobungen und teil-

weise auch der ersten Wiederholungsbeprobungen nicht mehr vorhanden, da es aufgrund verschiedener Nachanalysen bei Laborwechsellern in den ersten Dekaden bereits aufgebraucht wurde. Die ältesten, heute eingelagerten BDF-Proben stammen aus dem Jahr 2002. Aktuell befinden sich über 3 000 Rückstellproben der Boden-Dauerbeobachtung in der Bodenprobenbank, was einem guten Drittel aller eingelagerten Proben entspricht.

Bei einem weiteren knappen Drittel der archivierten Bodenproben handelt es sich um Bodenmaterial

landwirtschaftlich genutzter Standorte (Acker und Grünland), die im Rahmen der Profilaufnahmen von Vergleichs- und Musterstücken (VST und MST) der Bodenschätzung, welche das HLNUG in Kooperation mit der Oberfinanzdirektion (OFD) durchführt, beprobt wurden³. Während im Rahmen des Programmes zunächst jeweils 1 000 ml ungesiebtetes Probenmaterial eingelagert wurde, wird seit dem Jahr 2010 von diesen Proben nur noch 500 ml getrocknetes Feinbodenmaterial archiviert. Die ältesten im Zuge der Bodenschätzung archivierten Proben wurden im Jahr 2000 entnommen.

Neben diesen beiden aktuell noch fortlaufenden Programmen ist das letzte Drittel der in der Bodenprobenbank archivierten Proben zwischenzeitlich abgeschlossenen Projekten zuzuordnen: Knapp 1 500 Rückstellproben wurden im Zuge der Bearbeitung des HLNUG-Projektes „Bodendiversität und Bodenzustand in hessischen Bach- und Flussauen“

(kurz „Auenprojekt“)“ eingelagert. Während der Probenentnahmen in den Jahren 2015–2022 wurden hessenweit an ca. 1 000 Auenstandorten Flächenmischproben der Oberböden entnommen; an ausgewählten Standorten wurden zusätzlich Tiefenprofile aufgenommen und beprobt. Von allen Proben wurde jeweils 500 ml getrocknetes Feinbodenmaterial rückgestellt. Weitere gut 1 000 Rückstellproben (je 1 000 ml Humusauflage- und Mineralbodenmaterial) wurden im Rahmen der ersten Wiederholung der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) archiviert, die in den Jahren 2006–2008 durchgeführt wurde. In Hessen wurden damals in Kooperation mit der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA) in einem 8 x 8 km Raster insgesamt 140 Standorte unter Wald aufgenommen und beprobt. Gut 500 weitere archivierte Bodenproben entstammen Untersuchungsprojekten von Weinbergböden, Grünlandflächen sowie sonstigen bodenkundlichen Aufnahmen.



Abb. 4: Menge des entnommenen Probenmaterials (Boden und Humusauflage) an einem BDF-Standort unter Wald © HLNUG

Durchgeführte Untersuchungen an Rückstellproben

In den letzten Jahren wurden, teilweise in Kooperation mit hessischen Universitäten, verschiedene Untersuchungen an Rückstellproben aus der Bodenprobenbank des HLNUG vorgenommen:

- 2017 wurden rund 40 Rückstellproben der Boden-Dauerbeobachtung auf Per- und Polyfluor-

rierte Alkylsubstanzen (PFAS) untersucht, um einen ersten Eindruck zur ubiquitären Verbreitung dieser Stoffgruppe außerhalb von bekannten Belastungsstandorten zu erhalten. Inzwischen wurden PFAS-Analysen in das reguläre Untersuchungsspektrum der Boden-Dauerbeobachtung aufgenommen.

3 <https://www.hlnug.de/themen/boden/erhebung/vergleichs-und-musterstuecke-der-bodenschaetzung>

- In den Jahren 2020–2023 wurden bei 11–17 Jahre alten Proben der Boden-Dauerbeobachtung verschiedene persistente organische Schadstoffe (PCDD/F, PAK, PCB, CKW) nachgemessen, um die Stabilität dieser Parameter im Hinblick auf die Langzeitlagerung zu beurteilen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden aktuell ausgewertet (siehe Abb. 5).
- Im Rahmen einer Kooperation mit dem Geographischen Institut der Philipps-Universität Marburg bzw. dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt wurden in den Jahren 2021–2023 ausgewählte Rückstellproben auf Mikroplastik untersucht. Zunächst wurde die Anzahl an Plastikpartikeln in Proben von vier Auen-Standorten der Boden-Dauerbeobachtung gemessen. In einem zweiten Projekt wurden 32 weitere Rückstellproben der Boden-Dauerbeobachtung, die einen Zeitraum von 10–16 Jahren abdecken, untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Analytik an archiviertem Rückstellprobenmaterial geeignet ist, um Hinweise auf entsprechende Stoffeinträge in der Vergangenheit zu geben und deuten auf eine mittlerweile ubiquitäre Verbreitung von Plastikpartikeln in unseren Böden hin. Nähere Informationen zu den durchgeführten Untersuchungen und Ergebnissen geben WEBER et al. [6, 7].
- Im Rahmen einer Masterarbeit und eines Promotionsprojektes wurde in Kooperation mit dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen in den Jahren 2021/2022 die Stoffgruppe der Quartären Alkylammoniumverbindungen (QAAV) – wichtige Wirkstoffe in Desinfektionsmitteln und Tensiden – in insgesamt 65 Rückstellproben (Humusaufgabe- und Oberbodenproben) der hessischen Boden-Dauerbeobachtung untersucht. In fast allen Proben konnten die untersuchten Wirkstoffe nachgewiesen werden [8].



Abb. 5: Untersuchung von Rückstellproben im Hessischen Landeslabor in Wiesbaden © LHL

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Bodenprobenbank des HLNUG ist ein wesentlicher Bestandteil des hessischen Bodenzustandskatalogs. Die eingelagerten Bodenproben sind archivierte Umweltgeschichte und ermöglichen einen Blick in die Vergangenheit. Sie dokumentieren den Boden-

zustand zum Zeitpunkt der Probenentnahme und dienen somit der Beweissicherung, halten aber auch Bodenmaterial für retrospektive Untersuchungen von Stoffen bereit, deren Gefährdungspotenzial bisher noch nicht bekannt ist.

Besonders die langen Zeitreihen der Rückstellproben der hessischen Boden-Dauerbeobachtung sind ein „wertvoller Schatz“. Dass zu den eingelagerten Bodenproben bereits Ergebnisse umfangreicher bodenchemischer und -physikalischer Analysen vorliegen, ist für neue Untersuchungen oder auch Vergleichsuntersuchungen ein weiterer Vorteil. Generell muss bei der Analytik von archiviertem Bodenmaterial immer die Lagerstabilität der zu untersuchenden Parameter mit betrachtet werden. Eine tiefgefrorene Lagerung, wie sie für verschiedene, insbesondere organische und mikrobiologische Parameter sinnvoll wäre, ist

in der hessischen Bodenprobenbank derzeit nicht möglich. Mehrere Untersuchungsprogramme haben aber gezeigt, dass die hessischen Rückstellproben geeignet sind, um auch retrospektive Untersuchungen auf „neue“ persistente Schadstoffe durchführen zu können [6, 7, 8].

Das in der hessischen Bodenprobenbank archivierte Bodenmaterial steht auch zukünftig für Untersuchungsprojekte und Forschungskooperationen zur Verfügung.

Literatur

- [1] UBA – Umweltbundesamt (2013): Die Umweltprobenbank – Umweltbeobachtung mit Proben von Mensch und Umwelt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/die_umweltprobenbank.pdf]
- [2] UBA – Umweltbundesamt, Abteilung II Wasser und Boden (2023): Umweltprobenbank des Bundes – Konzeption 2023. [https://www.umweltprobenbank.de/upb_static/fck/download/UPB_Konzeption_UBA_de_2023.pdf]
- [3] BARTH, N., BORHO, W., CORDSSEN, E., HELLER, C., HÖPER, H., LUDWIG, B., MARX, M., MEESENBURG, H., SPÖRLEIN, P. & WELLER, M. (2022): Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – In: ROSENKRANZ, D., BACHMANN, G., KÖNIG, W. & EINSELE, G. (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. – 3. Band, Kapitel 9060, 151 S.; Berlin (Erich Schmidt Verlag).
- [4] MEULI, R.G., SCHWAB, P., WÄCHTER, D. & AMMANN, S. (2014): Nationale Bodenbeobachtung (NABO) 1985–2004. Zustand und Veränderungen der anorganischen Schadstoffe und Bodenbegleitparameter. – Umwelt-Wissen Nr. 1409: 94 S.; Bundesamt für Umwelt, Bern.
- [5] LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2019): Inventurzeitreihen an Bodendauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg – Ergebnisse aus drei Dekaden und methodische Schlussfolgerungen. – 85 S.; Karlsruhe.
- [6] WEBER, C.J., LÜGGER, K. & HELLER, C. (2022): Mikroplastik in Auenböden der Boden-Dauerbeobachtung – Untersuchungen zur raum-zeitlichen Variabilität am Beispiel Hessens. – Bodenschutz 01/22, S. 20–26. [<https://doi.org/10.37307/j.1868-7741.2022.01.05>]
- [7] WEBER, C.J., BASTIJANS, J.E., LÜGGER, K. & HELLER, C. (2023): Microplastic in long-term soil monitoring: first spatial and temporal data on plastics in agricultural topsoils. – Journal of Soils and Sediments (2023). [<https://doi.org/10.1007/s11368-023-03663-z>]
- [8] JANSEN, K., MOHR, C., LÜGGER, K., HELLER, C., SIEMENS, J. & MULDER, I. (2022): Widespread occurrence of quaternary alkylammonium disinfectants in soils of Hesse, Germany. – Science of the Total Environment, Volume 857, Part 1, 2023, S. 1–11. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159228>]

Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in hessischen Auenböden

KATRIN LÜGGER, NICO DIEHL, BENEDIKT KLEIN, CHRISTIAN STEINICKE*

1 PFAS - Eigenschaften, Verbreitung und Regulierung

Die Stoffgruppe der Per- und Polyfluorierten Alkylsubstanzen, kurz PFAS, umfasst nach derzeitigem Kenntnisstand mehr als 10 000 Einzelverbindungen [1, 2]. Es handelt sich um synthetische organische Verbindungen, deren Wasserstoffatome vollständig („perfluoriert“) oder teilweise („polyfluoriert“) durch Fluoratome ersetzt wurden. Beim überwiegenden Teil der heute verwendeten PFAS handelt es sich um polyfluorierte Stoffe, die aber unter Umweltbedingungen zu perfluorierten Verbindungen abgebaut werden können, weshalb sie auch als Vorläuferverbindungen oder Prekursoren bezeichnet werden [3]. PFAS kommen natürlicherweise in der Umwelt nicht vor, sondern sind ausschließlich anthropogenen Ursprungs. Aufgrund ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften in Verbindung mit ihrer hohen chemischen Stabilität finden sie in zahlreichen Industrie- und Verbraucherprodukten Verwendung, wie beispielsweise bei der Verchromung, als Bestandteil spezieller Feuerlöschschäume, in Kältemitteln, als Imprägniermittel für Textilien oder Leder, in Farben, in Verpackungen oder auch in Reinigungsprodukten sowie Pflanzenschutzmitteln [4].

Aufgrund des vielfältigen Einsatzes von PFAS können diese auf sehr unterschiedlichen Eintragspfaden in die Umwelt gelangen – bei ihrer Produktion bzw. ihrer Weiterverarbeitung zu Erzeugnissen, beim Gebrauch von PFAS-haltigen Produkten und schließlich bei ihrer Entsorgung [5]. Zu eher lokalen Kontaminationen von Böden, Grundwasser und Oberflächengewässern kann es durch Punktquellen kommen, beispielsweise im Umfeld entsprechender Produktionsbetriebe, Altablagerungen und Deponien oder durch den Einsatz von PFAS-haltigen Feuerlöschschäumen. Durch gewerbliche oder häusliche Abwässer können PFAS über Kläranlagen in Oberflächengewässer oder durch Klärschlammausbringung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen in die Böden gelangen. Durch atmosphärischen Ferntransport, aber auch mit globalen

Meeresströmungen können die Schadstoffe über sehr weite Distanzen verfrachtet werden und sind deshalb heute auch in entlegenen, industriefernen Gebieten wie beispielsweise der Arktis nachweisbar [6].

Problematisch sind die Einträge vor allem aufgrund der extrem hohen Langlebigkeit der PFAS in der Umwelt, da sie sich unter natürlichen Bedingungen gar nicht oder nur bis zu einem perfluorierten Rest abbauen. Insbesondere aufgrund dieser außerordentlichen Persistenz erlangten PFAS als sogenannte „Ewigkeitschemikalien“ oder „Jahrhundertgift“ in der letzten Zeit verstärkte mediale Aufmerksamkeit. Diese Eigenschaft – gepaart mit einer teilweise hohen Mobilität – führt dazu, dass PFAS heute ubiquitär in unserer Umwelt verbreitet sind [7, 8]. Vor allem Böden können einerseits als langfristige Umweltsenke, andererseits aber auch als Quelle für PFAS fungieren. Mobile, kurzkettige Verbindungen gelangen nach dem Eintrag in den Boden mit dem Sickerwasser relativ schnell in tiefere Schichten und bis ins Grundwasser, während langkettige Vertreter, wie beispielsweise PFOA und PFOS, an Bodenpartikeln binden und deshalb nur sehr langsam verlagert werden [5]. Insbesondere kurzkettige PFAS können auch von Pflanzen aus dem Boden aufgenommen werden und so in die Nahrungskette gelangen [3], wo sie sich aufgrund ihrer hohen Bioakkumulierbarkeit anreichern können. Viele der Verbindungen sind gesundheitsschädlich für den Menschen; für bestimmte Einzelstoffe sind z. B. kanzerogene, endokrine oder neurotoxische Wirkungen nachgewiesen [7, 9].

Bisher sind erst wenige PFAS-Einzelverbindungen reguliert: In das internationale, völkerrechtlich bindende Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe (Stockholm-Konvention) wurde nach PFOS und PFOA und ihren Vorläuferverbindungen im Jahr 2022 auch PFHxS aufgenommen. Im Europäischen Chemikalienrecht (REACH =

* HLNUG Dezernat G3 „Boden und Altlasten“, Kontakt: katrin.luegger@hlnug.hessen.de

Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) sind bislang ebenfalls vor allem langkettige perfluorierte Verbindungen verboten oder als besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC = Substances of very high concern) eingestuft worden. Problematisch ist, dass regulierte PFAS in der Vergangenheit oft durch unregulierte Ersatzstoffe ausgetauscht wurden, bei denen es sich häufig auch um Vorläuferverbindungen handelte. Anfang 2023 haben deshalb Behörden aus Deutschland, den Niederlanden, Norwegen, Schweden und Dänemark bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) einen Vorschlag für eine EU-weite Beschränkung

unter REACH eingereicht, der zum Ziel hat, die Herstellung, die Verwendung und das Inverkehrbringen der Stoffgruppe PFAS insgesamt in der EU mit einigen Ausnahmen zu verbieten, um ihre Freisetzung in die Umwelt drastisch zu verringern [10]. Auf hessische Initiative hat sich auch die Umweltministerkonferenz im Mai 2023 zu diesem Vorschlag positioniert und den Bund gebeten, auf europäischer Ebene aktiv für eine zügige und wirkungsvolle Beschränkung der PFAS-Stoffgruppe einzutreten. Die Entscheidung der ECHA zu dem Vorschlag bleibt abzuwarten – aktuell laufen entsprechende Konsultationen in ihren wissenschaftlichen Ausschüssen.

2 Stofflicher Bodenzustand in hessischen Bach- und Flussauen

Im Rahmen des Untersuchungsprogrammes „Biodiversität und Bodenzustand in hessischen Bach- und Flussauen“ (kurz „Auenprojekt“), welches u. a. das Ziel hat, den aktuellen stofflichen Zustand hessischer Auenböden systematisch zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten, hat das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) in den Jahren 2015–2022 hessenweit Bodenproben auf Auenstandorten entnommen und auf ein breites Spektrum an bodenchemischen und -physikalischen Parametern analysieren lassen.

Knapp 9 % der hessischen Landesfläche werden von Auenböden eingenommen. Neben atmosphärischen oder nutzungsbedingten Stoffeinträgen werden diese

vor allem im Zuge von Überschwemmungsereignissen stofflich beaufschlagt. Auenböden weisen daher häufig erhöhte Schadstoffgehalte auf, wobei die Belastung von vielen Einflussgrößen (z. B. Geländeform, Überflutungshäufigkeit und -dauer, Bodeneigenschaften, Nutzung) abhängig ist und kleinräumig variieren kann. Typische Schadstoffe, die in Auen angereichert sein können, sind Schwermetalle und persistente organische Schadstoffe (POP), beispielsweise Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F) [11]. Um einen Überblick zu erhalten, ob und wenn ja in welchem Umfang auch PFAS in hessischen Auenböden nachgewiesen werden können, wurden ausgewählte Standorte auch auf diese Stoffgruppe untersucht.

2.1 Untersuchungskonzept – Standortauswahl und Probennahme

Zur Standortauswahl im Rahmen des Auenprojektes wurde Hessen in 15 Beprobungsgebiete untergliedert, in denen über 1 000 Beprobungssegmente an mehr als 100 Fließgewässern ausgewiesen wurden¹. Pro Segment wurde jeweils ein im Hinblick auf das Ausgangssubstrat der Bodenbildung und die Landnutzung möglichst repräsentativer Standort beprobt. Ein weiteres Kriterium war, dass der Standort vor-

zugsweise innerhalb der HQ10-Überflutungsfläche², mindestens aber innerhalb der HQ100-Überflutungsfläche³ liegen sollte. Ungefähr 10 % der ausgewählten Standorte wurden zusätzlich zum normalen Untersuchungsspektrum auf PFAS untersucht, wobei in jedem Beprobungsgebiet mindestens zwei Standorte am Hauptgewässer ausgewählt wurden – meist einer eher im oberen und einer im unteren Verlauf

- 1 Die einzelnen Beprobungssegmente wurden mit wenigen Ausnahmen anhand der Geometrien des gewässerkundlichen Flächenverzeichnis definiert, wobei als Kriterium zur Auswahl ein Mittlerer Niedrigwasserabfluss (MNQ) von mindestens 100 l/s herangezogen wurde.
- 2 Hochwasser von hoher Wahrscheinlichkeit mit einem voraussichtlichen Wiederkehrintervall von mindestens 10 Jahren
- 3 Hochwasser von mittlerer Wahrscheinlichkeit mit einem voraussichtlichen Wiederkehrintervall von mindestens 100 Jahren



Abb. 1: Blick auf eine abgesteckte Beprobungsfläche unter Ackernutzung an der Kinzig © HLNUG

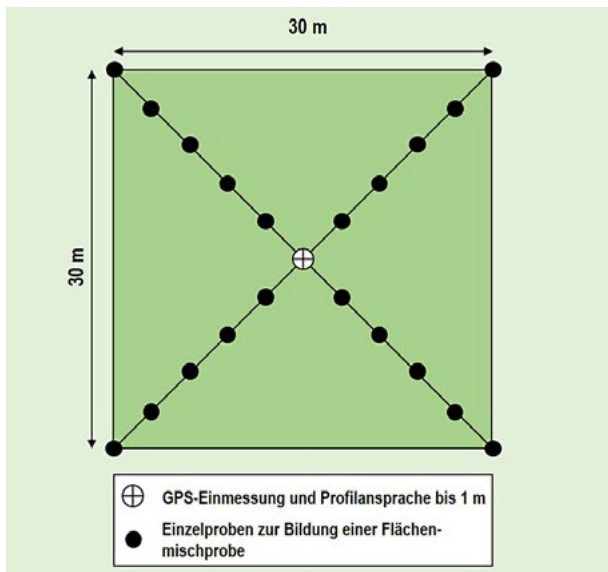


Abb. 2: Das Schema der Probenahme zur Gewinnung einer Flächenmischprobe auf einer Beprobungsfläche des Auenprojektes © HLNUG

des jeweiligen Gewässers. An Fließgewässern oder Abschnitten von Fließgewässern, an denen erhöhte PFAS-Gehalte erwartet oder in ersten Untersuchungen gefunden wurden, wurde die Anzahl der Proben zur PFAS-Analytik verdichtet.

In der Regel wurde auf den ausgewählten Standorten auf einer Fläche von 30 m x 30 m durch 20 Einstiche über die Flächendiagonalen eine horizontbezogene Mischprobe des Oberbodens entnommen (Abb. 1, 2). Entsprechend den Vorgaben der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [12] umfasste die Entnahme auf Grünlandstandorten den Hauptwurzelbereich (überwiegend 0–10 cm) und auf Ackerstandorten den Bearbeitungshorizont (überwiegend 0–30 cm). Auf den wenigen Auenwald-Standorten, die für PFAS beprobt wurden, betrug die Entnahmetiefe für den Oberboden ebenfalls



Abb. 3: Aufnahme eines Tiefenprofils mit Hilfe einer Rammkernsondierung © HLNUG

0–10 cm. Die Einzelproben wurden überwiegend mit Hilfe eines Wurzelbohrers aus Edelstahl gewonnen. Eine Verwendung von Materialien aus Plastik wurde vermieden.

Um auch einen Einblick in die Stoffgehalte tieferer Bodenhorizonte zu erhalten, wurden zusätzlich an ausgewählten Standorten Tiefenprofile aufgenommen. Vereinzelt wurden hierzu Profilgruben aufgegraben, überwiegend aber Rammkernsondierungen durchgeführt (Abb. 3). Dabei wurde pro Beprobungsgebiet mindestens ein Tiefenprofil beprobt, teilweise an Standorten, an denen bereits erhöhte Gehalte im Oberboden gemessen worden waren, teilweise aus logistischen Gründen aber auch an neugewählten Standorten, an denen zuvor keine Flächenmischbeprobung durchgeführt worden war. Insgesamt wurden hessenweit 25 Tiefenprofile auch auf PFAS in Feststoff und Eluat untersucht, wobei die Analytik überwiegend nur in den oberen Proben (im Mittel bis in eine Tiefe von 30 cm) durchgeführt wurde. Vereinzelt wurden aber auch Proben bis in größere Tiefen analysiert.

Für die PFAS-Analytik wurde das entnommene Bodenmaterial der Flächenmisch- bzw. der Profilproben

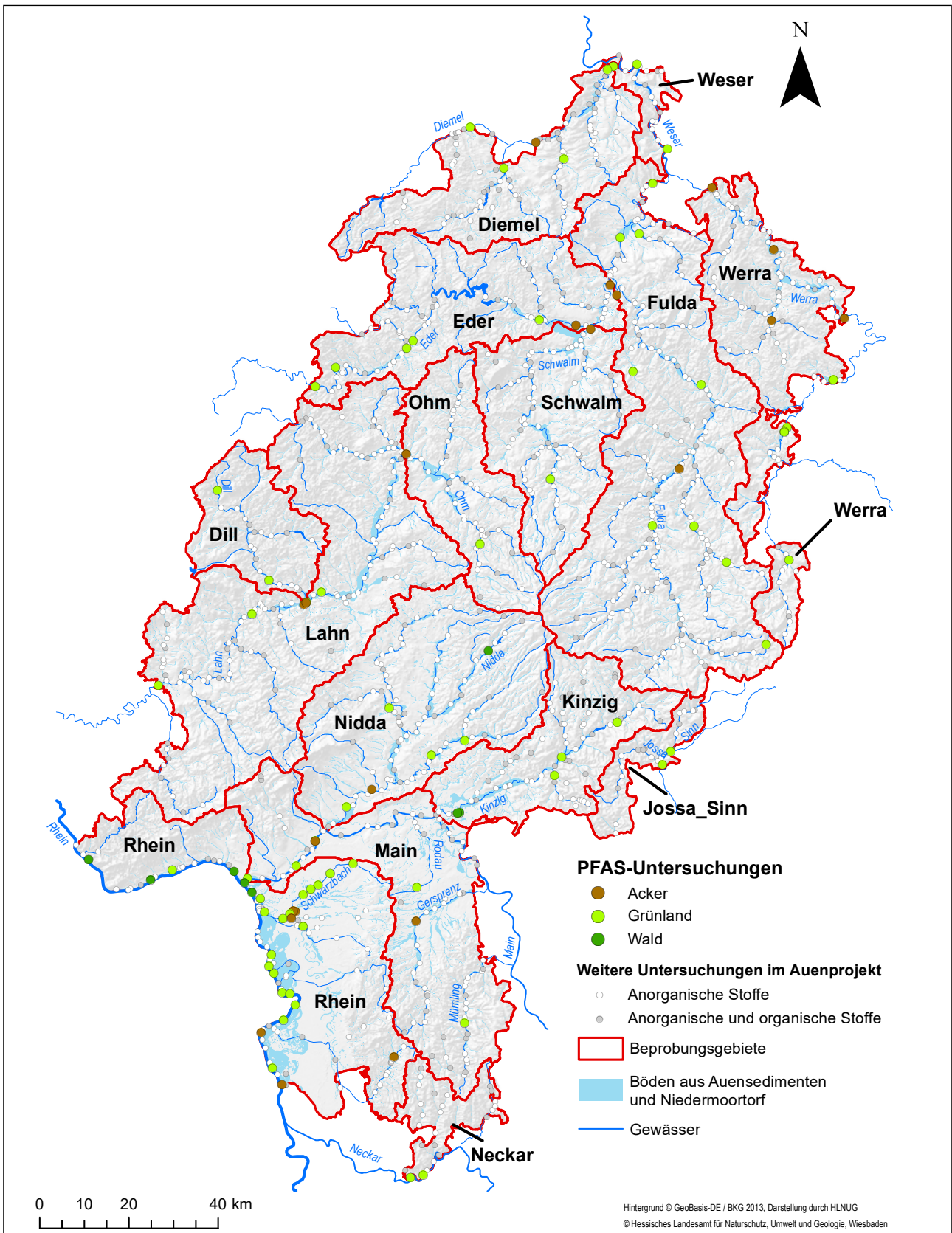


Abb. 4: Lage der auf PFAS untersuchten Standorte in den Beprobungsgebieten des Auenprojektes, differenziert nach der vorliegenden Nutzung © HLNUG

in eine mit Methanol vorgereinigte 1 000 ml-Braunglasflasche abgefüllt und möglichst zeitnah ins Labor eingeliefert.

Abbildung 4 zeigt die Lage der hessenweit insgesamt 96 auf PFAS untersuchten Standorte in den einzelnen

Beprobungsgebieten, differenziert nach der Nutzung. Überwiegend handelt es sich um Grünlandstandorte (ca. 70 %), gut 20 % der untersuchten Flächen wurden als Acker genutzt und weniger als 10 % waren Wald-Standorte.

2.2 Probenvorbereitung und Analytik

Das entnommene Bodenmaterial wurde in einem externen Labor auf insgesamt 24 PFAS-Verbindungen in Feststoff und Eluat analysiert. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die untersuchten Einzelstoffe sowie die Einstufung ihrer Kettenlänge. Neben 12 perfluorierten Carbonsäuren (PFCA) und 6 perfluorierten Sulfonsäuren (PFSA) wurden 6 Vorläufersubstanzen bzw. Ersatzstoffe gemessen.

Die Feststoffanalytik erfolgte nach DIN 38414-14 [13], wobei im Regelfall eine Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg TM eingehalten werden konnte. Das getrocknete und auf 250 µm gemahlene Feinbodenmaterial wurde mit Methanol extrahiert, der Extrakt verdünnt und nach Festphasenextraktion hochdruckflüssigkeitschromatisch getrennt und massenspektrometrisch detektiert (HPLC-MS/MS).

Tab. 1: In Feststoff und Eluat untersuchte 24 PFAS-Einzelstoffe, die Einstufung ihrer Kettenlänge sowie vorhandene Geringfügigkeitsschwellen-Werte (GFS-Werte) und Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) [3, 24]. Die farblichen Hinterlegungen der Kurznamen entsprechen der Farbwahl bei den Darstellungen in Abb. 6, 7 und 8.

Gruppe	Kettenlänge*	Einzelstoffe	Kurzname	GFS-Werte [µg/L]	GOW [µg/L]
Perfluorierte Carbonsäuren (PFCA)	kurzkettig	Perfluorbutansäure	PFBA	10,0	
		Perfluorpentansäure	PFPeA		3,0
		Perfluorhexansäure	PFHxA	6,0	
		Perfluorheptansäure	PFHpA		0,3
	langkettig	Perfluoroktansäure	PFOA	0,1	
		Perfluorononansäure	PFNA	0,06	
		Perfluordekansäure	PFDA		0,1
		Perfluorundekansäure	PFUnDA		
		Perfluordodekansäure	PFDoDA		
		Perfluortridekansäure	PFTTrDA		
		Perfluortetradekansäure	PFTeDA		
		Perfluor-3,7-dimethyloktansäure	PF-3,7-DMOA		
	Perfl. Sulfonsäuren (PFSA)	kurzkettig	Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	6,0
Perfluorpentansulfonsäure			PFPeS		
langkettig		Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	0,1	
		Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS		0,3
		Perfluoroktansulfonsäure	PFOS	0,1	
		Perfluordekansulfonsäure	PFDS		
Vorläufer/Ersatzstoffe	langkettig	7H-Dodekanfluorheptansäure	HPFHpA		
		Perfluorooctansulfonamid	PFOSA		0,1
		1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure	H4PFOS (6:2 FTSA)		0,1
		1H,1H,2H,2H-Perfluordekansulfonsäure	H4PFDS (8:2 FTSA)		
		2H,2H-Perfluordekansäure	H2PFDA		
		2H,2H,3H,3H-Perfluorundekansäure	H4PFUnA		

* Einstufung nach OECD [17]

Die Eluatanalytik wurde nach DIN 38407-42 [14] durchgeführt. Dabei wurde das wässrige Schüttel- eluat nach DIN 19529 [15] mit einem Wasser/Fest- stoff-Verhältnis von 2 : 1 aus den feldfrischen Pro- ben hergestellt. Bei stark humosen Proben, z. B. aus Niedermooren, wurde vereinzelt ein Wasser/Fest- stoff-Verhältnis von 10 : 1 (DIN EN 12457-4 [16])

verwendet. Aus den unfiltrierten Eluaten wurden die PFAS durch Festphasenextraktion angereichert und mit Methanol eluiert. Die Messung erfolgte analog zur Feststoffanalytik mittels LC-MS/MS. Die Bestim- mungsgrenze lag im Regelfall bei 0,001 µg/L, musste aber aufgrund von Matrixstörungen leider bei einem Teil der Proben angehoben werden.

3 Ergebnisse

3.1 PFAS-Messungen im Feststoff

In 55 % der auf PFAS untersuchten Auen-Oberbö- den konnte im Feststoff mindestens ein Einzelstoff oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden.

Dabei war PFOS mit Abstand am häufigsten quanti- fizierbar (51 Standorte), gefolgt von PFOA (19 Stand- orte) und H4PFOS (9 Standorte). Vereinzelt konnten

außerdem PFBA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA und PFHxS analysiert werden. Alle übrigen PFAS-Verbin- dungen waren im Feststoff in keiner der untersuchten Proben nachzuweisen.

Abbildung 5a zeigt die im Feststoff gemessenen PFAS- Summengehalte aller unter- suchten Oberböden, geglie- dert nach Beprobungsgebiet und differenziert nach der Nutzung, wobei die um- fangreichen Ergebnisse des Beprobungsgebietes Rhein nochmals untergliedert wer- den in die Standorte, die an Rhein und Weschnitz un- tersucht wurden, sowie die Standorte, die am Schwar- bach und seinen Zuflüssen beprobt wurden. Die Dar- stellung erfolgt aufsteigend gereiht nach dem Mittelwert im jeweiligen Beprobungsge- biet. Für die Berechnung der PFAS-Summengehalte sowie die statistische Auswertung erhielten PFAS-Einzelverbin- dungen mit Befunden unter- halb der Bestimmungsgren- ze den Wert „Null“.

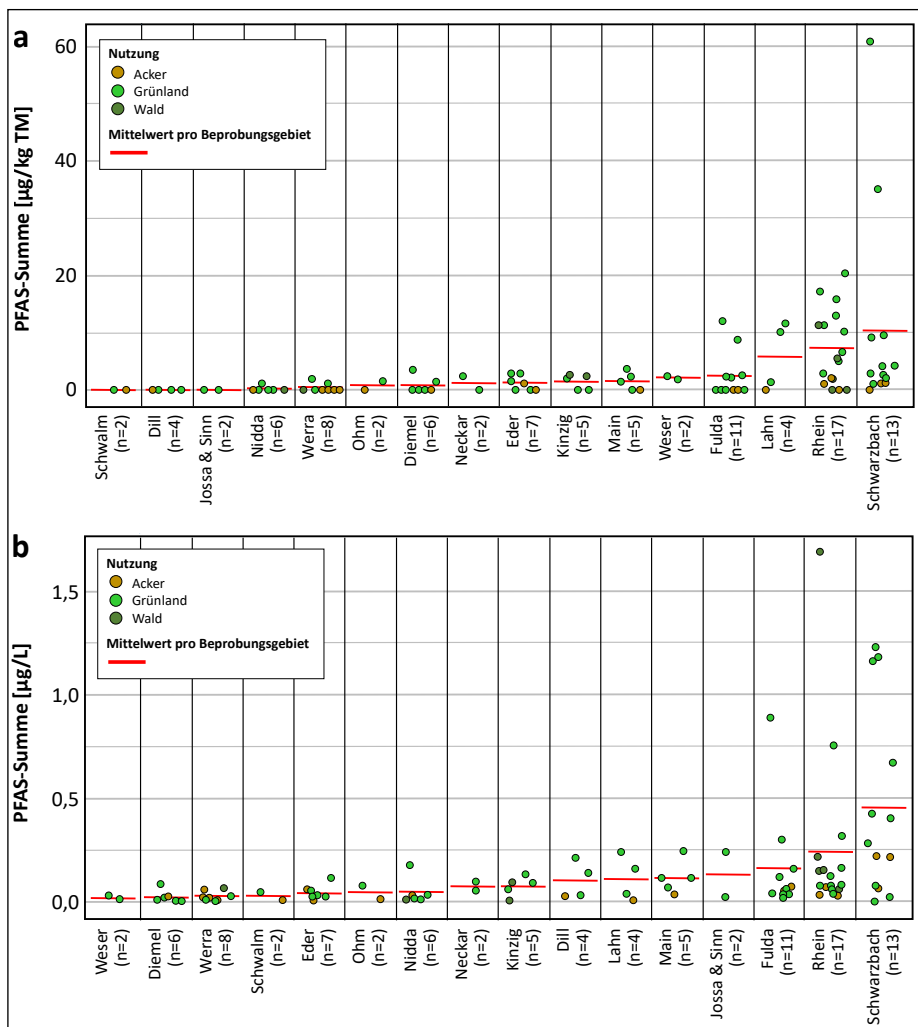


Abb. 5: PFAS-Summengehalte in hessischen Auenböden nach Beprobungsgebiet und Nutzung in Feststoff (a) und Eluat (b). Das Beprobungsgebiet Rhein wird untergliedert nach Standorten an Rhein und Weschnitz sowie Standorten an Schwarzbach und seinen Zuflüssen dargestellt.

Die im Durchschnitt höchsten Werte im Feststoff wurden an Schwarzbach, Rhein und Lahn festgestellt. Die mit Abstand größten PFAS-Summengehalte zeigten zwei Grünland-Standorte am Schwarzbach. An weiteren Standorten an Schwarzbach und Rhein

sowie an jeweils zwei Standorten an Lahn und Fulda wurden ebenfalls höhere Gehalte (8–20 µg/kg TM) gemessen. Alle übrigen Proben, in denen PFAS im Feststoff quantifizierbar waren, wiesen Summengehalte < 4 µg/kg TM auf. In den untersuchten

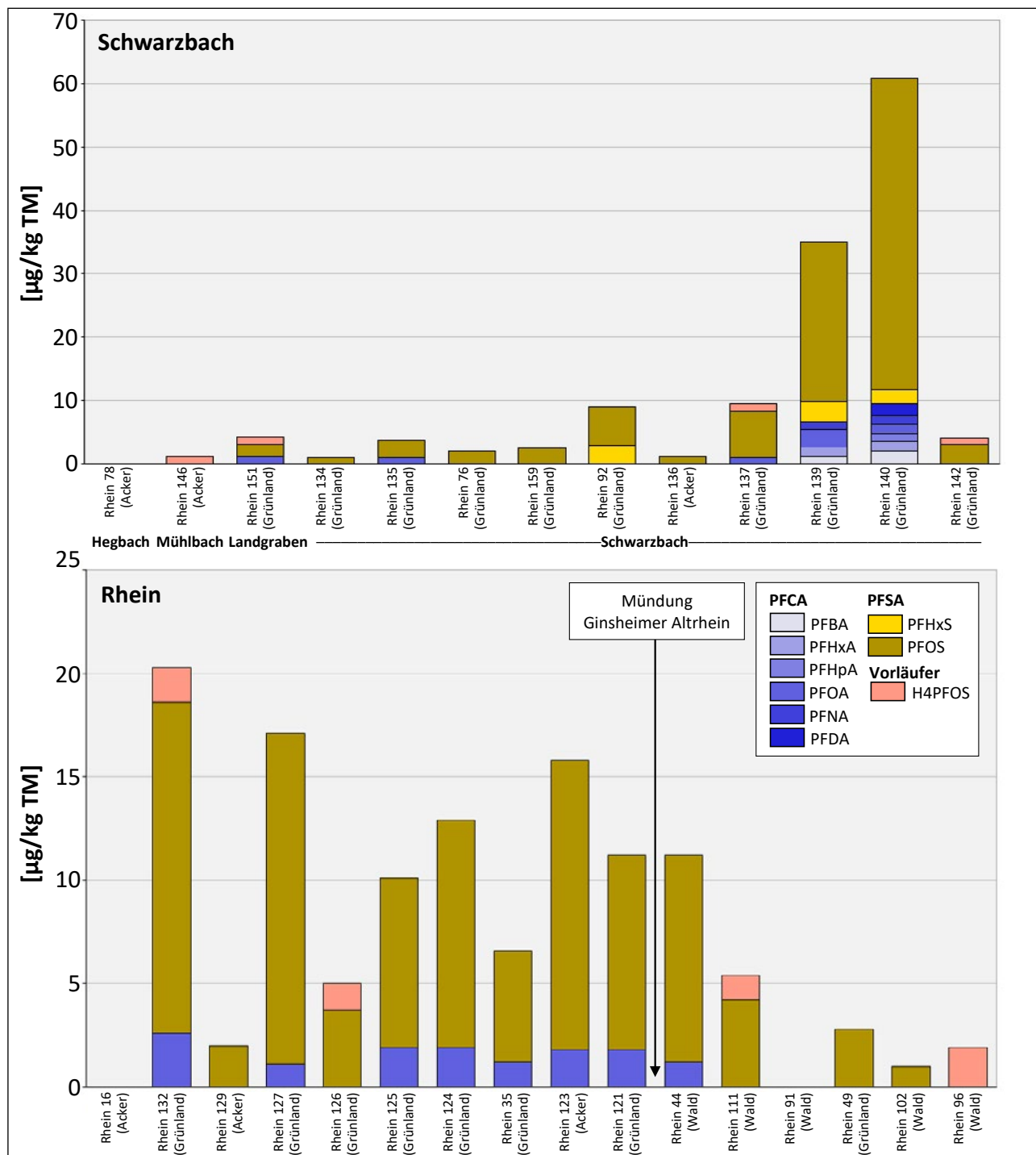


Abb. 6: PFAS-Summengehalte (Feststoff) der Standorte an Schwarzbach (inkl. Zuflüssen, oben) und Rhein (unten), jeweils flussabwärts gereiht. Dargestellt werden nur die in den Proben quantifizierbaren PFAS-Verbindungen. An den Standorten ohne Säulendarstellung blieben alle PFAS-Verbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Oberböden an Schwalm, Dill, Jossa und Sinn konnten im Feststoff keine PFAS-Verbindungen nachgewiesen werden.

Die untersuchten Ackerstandorte besaßen im Vergleich zu den Grünland- und Waldstandorten durchschnittlich niedrigere Gehalte. Zum einen kann das auf die nutzungsbedingt unterschiedlichen Beprobungstiefen (siehe Kap. 2.1) zurückgeführt werden: Durch die regelmäßige Bearbeitung werden die Oberböden unter Ackernutzung durchmischt, was zu einer „Verdünnung“ der Stoffe führt, während sie unter Grünland und Wald durch den fehlenden Umbruch im oberen Horizont angereichert werden. Dazu kommt bei Waldstandorten noch der Auskämmeffekt der Vegetation, der einen höheren atmosphärischen Stoffeintrag bedingen kann. Zu beachten ist beim direkten Vergleich der nutzungsdifferenzierten Gehalte allerdings, dass sich die Anzahl der untersuchten Proben je Nutzung deutlich unterscheidet und insbesondere Waldstandorte unterrepräsentiert sind. Im Hinblick auf potenzielle überschwemmungsbedingte Stoffeinträge spielt außerdem die topographische Lage der einzelnen Standorte eine Rolle, da von ihr die Überschwemmungshäufigkeit und -dauer abhängig ist. Eine standortbezogene Auswertung der PFAS-Untersuchungen im Hinblick auf diese Aspekte wurde bisher noch nicht durchgeführt.

3.2 PFAS-Messungen im Eluat

Erwartungsgemäß konnten in den parallel untersuchten wässrigen Eluaten aufgrund der deutlich niedrigeren Bestimmungsgrenzen PFAS auch in Proben nachgewiesen werden, in denen sie im Feststoff nicht messbar waren. Mit einer einzigen Ausnahme waren im Eluat auf allen untersuchten Auenstandorten eine oder mehrere PFAS-Verbindungen quantifizierbar. Nur an einem Standort am Landgraben südlich von Groß-Gerau („Rhein 151“), der aufgrund seines hohen Humusgehaltes von 20 % mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10 : 1 eluiert worden war, konnten keinerlei PFAS analysiert werden, obwohl im Feststoff eine PFAS-Summe von 4,1 µg/kg TM bestimmt worden war. Es ist davon auszugehen, dass dieser Befund durch die höhere Verdünnung methodisch bedingt ist. Am häufigsten wurden – wie auch im Feststoff – PFOS und PFOA gemessen, in mehr als der Hälfte der Proben weiterhin PFBA, PFHxA, PFHpA und PFBS. Die übrigen gemessenen PFAS-

Für die Standorte an Schwarzbach (inkl. der Zuflüsse Hegbach, Mühlbach und Landgraben) und Rhein werden die Feststoffgehalte der einzelnen PFAS-Verbindungen jeweils flussabwärts gereiht in Abbildung 6 dargestellt. Die hessenweit höchsten PFAS-Summengehalte im Feststoff zeigen die Standorte „Rhein 139“ (34,9 µg/kg TM) und „Rhein 140“ (60,7 µg/kg TM), die am Schwarzbach kurz vor Trebur und westlich von Astheim beprobt wurden. Zwei weitere Standorte am Schwarzbach besitzen Gehalte über 9 µg/kg TM. Die übrigen untersuchten Auenböden am Schwarzbach und auch an seinen Zuflüssen zeigen hingegen deutlich geringere bis nicht quantifizierbare PFAS-Gehalte. Am Rhein wurden die höchsten PFAS-Summengehalte im Feststoff mit 20,3 µg/kg TM in der Friedrichsaue bei Lampertheim im Süden von Hessen gemessen („Rhein 132“). Bis zum Standort „Rhein 44“, direkt nach der Mündung des Ginsheimer Altrheins, in den wiederum der Schwarzbach mündet, bleiben die Gehalte mit wenigen Ausnahmen > 10 µg/kg TM, weiter rheinabwärts nehmen sie tendenziell wieder ab. Nur an den beiden Schwarzbach-Standorten „Rhein 139“ und „Rhein 140“ waren neben den langkettigen Verbindungen PFOS, PFOA und H4PFOS auch kurzkettige perfluorierte Carbonsäuren (PFBA, PFHxA, PFHpA) sowie weitere langkettige perfluorierte Verbindungen (PFNA, PFDA, PFHxS) quantifizierbar.

Verbindungen waren seltener nachweisbar, allein PFDaA, PFTeDA und H4PFUnA konnten in keiner Probe bestimmt werden.

Analog zu den Feststoffgehalten zeigt die Abbildung 5b die nutzungsdifferenzierten PFAS-Summenwerte im Eluat aller Oberbodenproben, gegliedert und aufsteigend gereiht nach den Beprobungsgebieten. Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze wurden wiederum bei der Berechnung der PFAS-Summengehalte sowie der statistischen Auswertung mit „Null“ eingerechnet. Durchschnittlich die höchsten Gehalte im Eluat wurden, wie auch im Feststoff, am Schwarzbach, gefolgt vom Rhein festgestellt. Im Mittel die dritthöchsten Werte wurden im Eluat allerdings an den Fulda-Standorten gemessen. An einem Standort am Rhein sowie drei Standorten am Schwarzbach wurden Gehalte größer 1 µg/L gefunden, weitere Standorte an diesen beiden Gewässern

sowie zwei Standorte an der Fulda weisen noch Gehalte von mehr als $0,25 \mu\text{g/L}$ auf. In den Auenböden aller übrigen Beprobungsgebiete liegen die PFAS-Eluatwerte niedriger. Wie im Feststoff wurden auch im Eluat in den Proben der Ackerstandorte durchschnittlich deutlich niedrigere Gehalte gemessen als in den Proben von Grünland- und Waldstandorten.

Abbildung 7 zeigt für die jeweils flussabwärts gereihten Standorte an Schwarzbach und Zuflüssen sowie Rhein die Eluatgehalte der einzelnen PFAS-Verbindungen. Am Schwarzbach steigen die Gehalte tendenziell im Verlauf des Gewässers an, wenn auch an einzelnen Standorten geringere Werte gemessen wurden. An den östlich und südlich des Frankfur-

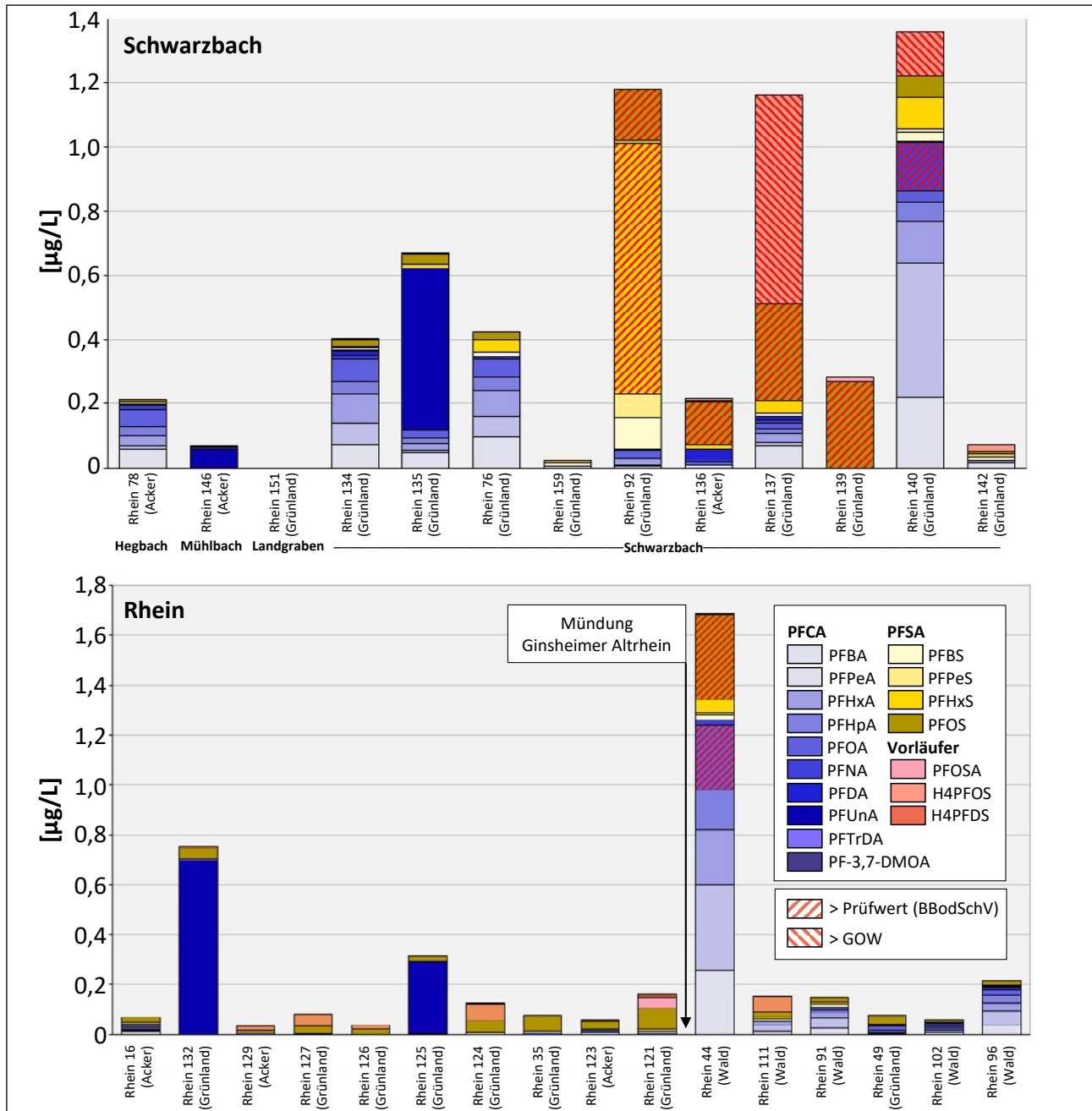


Abb. 7: PFAS-Summengehalte (Eluat) der Standorte an Schwarzbach (inkl. Zuflüssen, oben) und Rhein (unten), jeweils flussabwärts gereiht. Dargestellt werden nur die in den Proben quantifizierbaren PFAS-Verbindungen. An dem Standort ohne Säulendarstellung blieben alle PFAS-Verbindungen unterhalb der Bestimmungsgrenze. Überschreitungen der Prüfwerte im Wirkungspfad Boden-Grundwasser (BBodSchV) sowie der Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) für einzelne PFAS-Verbindungen werden durch eine rote Übersignatur markiert.

ter Flughafens gelegenen Standorten („Rhein 134“, „Rhein 135“, „Rhein 76“) wurden Gehalte zwischen 0,4 und 0,67 µg/L gemessen, zwei der flussabwärts in der Gemarkung Nauheim liegenden Grünlandflächen („Rhein 92“, „Rhein 137“) weisen bereits Gehalte über 1 µg/L auf und der höchste PFAS-Summenwert am Schwarzbach wurde mit 1,362 µg/L im Oberboden der Grünlandfläche „Rhein 140“ westlich von Astheim gemessen, der auch im Feststoff die höchsten Gehalte besitzt. Im Verlauf des Rheins weisen hingegen nur einzelne Standorte höhere Werte auf, die meisten Gehalte liegen um oder unterhalb 0,3 µg/L. Nur der Grünland-Standort in der Friedrichsaue bei Lampertheim („Rhein 132“), der im Feststoff für den Rhein die höchsten Gehalte

te aufweist, sowie der Wald-Standort direkt nach dem Zufluss des Ginsheimer Altrheins zeigen deutlich höhere Summengehalte. Letzterer besitzt mit 1,685 µg/L den in dieser Untersuchung hessenweit höchsten PFAS-Summenwert im Eluat. Im Gegensatz zu den Feststoffanalysen konnten an den Standorten am Schwarzbach oft kurzkettige PFAS (dominierend PFCA) gemessen werden. Allerdings sind die PFAS-Muster nicht an allen Standorten einheitlich und insbesondere in den Proben mit höheren Gehalten konnten auch größere Anteile langkettiger PFAS (vor allem PFSA sowie H4PFOS) bestimmt werden. Auffällig ist, dass am Rhein tendenziell erst nach der Mündung des Schwarzbaches höhere Anteile kurzkettiger PFCA gefunden wurden.

3.3 Tiefenprofile

In den Tiefenprofilen zeigen sich die Unterböden durchschnittlich geringer belastet als die Oberböden, beim überwiegenden Teil der Profile nehmen die PFAS-Gehalte in Feststoff und Eluat mit der Tiefe ab. An einigen Standorten sind die Eluatgehalte aber auch über die beprobte Tiefe schwankend und eine Abnahme ist nicht immer eindeutig feststellbar (Daten nicht gezeigt).

Exemplarisch sind in Abbildung 8 die PFAS-Eluatgehalte im Tiefenprofil eines Auengleys an der Fulda

da in der Nähe der Gemeinde Schlitz dargestellt. Für PFAS-Analysen wurden 5 horizontbezogene Proben bis in eine Tiefe von 80 cm entnommen. Im Feststoff konnte in den oberen drei Proben bis 40 cm allein PFOS gemessen werden, in den beiden untersten Proben waren keine PFAS mehr nachweisbar. Die PFOS-Gehalte nehmen mit der Tiefe von 8,7 über 7,4 bis zu 4,8 µg/kg TM kontinuierlich ab. Im Eluat hingegen konnten PFAS bis in eine Tiefe von 80 cm quantifiziert werden. Die PFAS-Summengehalte neh-

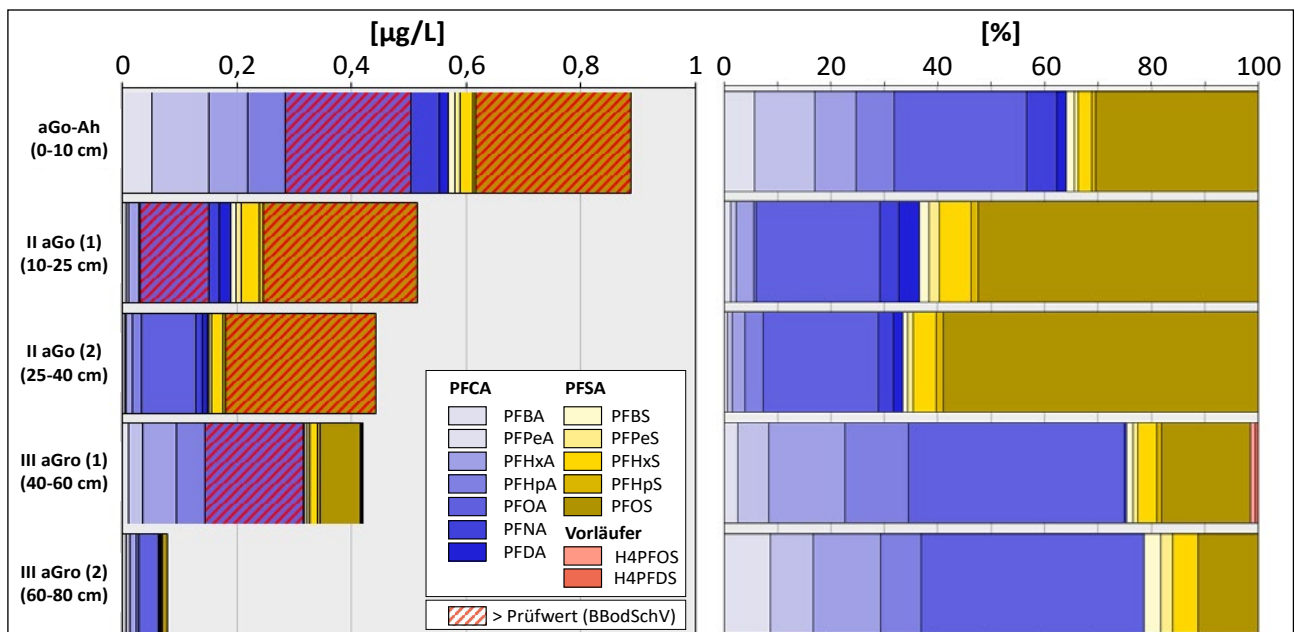


Abb. 8: PFAS-Tiefenprofil eines Auengleys an der Fulda. Dargestellt werden die gemessenen Eluat-Gehalte (links) und die Anteile der einzelnen Verbindungen an der PFAS-Summe im Eluat (rechts). Überschreitungen der Prüfwerte im Wirkungspfad Boden-Grundwasser (BBodSchV) für einzelne PFAS-Verbindungen werden durch eine rote Übersignatur markiert.

men ebenfalls über die Tiefe ab – vom Oberboden mit 0,889 µg/L bis zum untersten Horizont mit 0,079 µg/L. Insgesamt konnten 12 kurz- und langkettige PFCA und PFSA sowie zwei Vorläufersubstanzen gemessen werden, dominierend waren wiederum PFOS und PFOA.

In der Literatur wird festgestellt, dass langkettige PFAS aufgrund ihrer relativ hohen Sorption insbesondere an der organischen Bodensubstanz und ihrer damit einhergehenden geringeren Mobilität eher in den oberen Bodenschichten verbleiben, während kurz-kettige PFAS deutlich mobiler sind und dadurch mit dem Sickerwasser schneller in tiefere Bodenschich-

ten verlagert werden [18]. In der Tendenz ist das für das untersuchte Tiefenprofil an der Fulda ebenfalls zu erkennen: So nehmen vor allem die Anteile der kurz-kettigen PFCA an der Gesamtsumme in den unteren beiden Proben deutlich zu, während sich der Anteil des langkettigen PFOS an der Gesamtsumme stark verringert und PFNA und PFDA nur noch sehr gering oder nicht mehr nachweisbar sind. Der Anteil des langkettigen PFOA bleibt allerdings auch in den unteren beiden Proben weiterhin dominierend und in der Oberbodenprobe sind auch die kurz-kettigen PFCA stärker vertreten als in den darunter folgenden Unterbodenhorizonten.

4 Bewertung und Diskussion

Aufgrund der bislang unzureichenden Datenlage existieren für die Bewertung von PFAS-Feststoffgehalten noch keine bundesweit einheitlichen Beurteilungsmaßstäbe [3]. Allerdings haben zwischenzeitlich einige Bundesländer Untersuchungsprogramme zur Ermittlung von PFAS-Hintergrundwerten durchgeführt oder begonnen [19, 20, 21, 22]. Auch in Hessen wurde die Stoffgruppe inzwischen mit dem Ziel der Ableitung von Hintergrundwerten in das Untersuchungsspektrum der Boden-Dauerbeobachtung aufgenommen. Bundesweite PFAS-Hintergrundwerte landwirtschaftlich genutzter Böden sollen in einem derzeit laufenden Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes⁴ abgeleitet werden, in dessen Zuge auch in Hessen rund 30 Standorte untersucht werden. Vergleichbare Daten von PFAS-Gehalten in Auenböden sind unserer Kenntnis nach allerdings bisher nicht vorliegend.

Die im Rahmen des Auenprojektes im Feststoff gemessenen PFAS-Gehalte liegen, mit Ausnahme der erläuterten Standorte an Schwarzbach und Rhein sowie Lahn und Fulda, auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Erwartungsgemäß sind aber die Gehalte in Auenböden durchschnittlich höher als bisher veröffentlichte Feststoff-Hintergrundwerte, bei deren Ableitung Standorte in Überschwemmungs-

gebieten ausgeschlossen werden, denn neben den ubiquitären atmosphärischen und auf landwirtschaftlichen Flächen gegebenenfalls nutzungsbedingten Einträgen bedingen Überschwemmungsereignisse potenziell weitere Stoffeinträge. So wurde beispielsweise in Nordrhein-Westfalen für Oberböden unter Grünland ein Hintergrundwert (90. Perzentil) von 0,62 µg/kg TM für PFOA und 0,91 µg/kg TM für PFOS abgeleitet [19], während die ausreißerbereinigten⁵ 90. Perzentile der hessischen Auenböden unter Grünland bei 1,05 µg/kg TM für PFOA und 3,07 µg/kg TM für PFOS liegen. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist allerdings aufgrund der im Auenprojekt höheren Bestimmungsgrenze (1 µg/kg TM) nur eingeschränkt möglich. Im „Leitfaden zur PFAS-Bewertung“ [3] wird vermerkt, dass für die Ermittlung der Hintergrundbelastung von Böden eine um den Faktor 10 geringere untere Anwendungsgrenze von 0,1 µg/kg TM erforderlich sei. In einer aktuellen Veröffentlichung des Fachbeirats Bodenuntersuchungen (FBU) zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden [23] wird sogar empfohlen, eine möglichst noch geringere Bestimmungsgrenze anzustreben. Leider konnte zum Zeitpunkt der Vergabe im Auenprojekt eine Bestimmungsgrenze kleiner 1 µg/kg TM nicht realisiert werden. In diesem Sinne sind die ge-

4 „Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe – bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden“ (FKZ 3720 72 288 0)

5 Standorte, die den Interquartilsabstand der jeweiligen PFAS-Gehalte (Summenwert oder Einzelstoff) um mehr als das 1,5-fache überschritten, wurden als Ausreißer von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

messenen Feststoffgehalte als Mindestbefunde anzusehen.

Im Gegensatz zu Feststoff-Gehalten liegen für Boden-Eluate mit dem „Leitfaden zur PFAS-Bewertung“ [3] und der novellierten BBodSchV [12], die am 1. August 2023 in Kraft getreten ist, inzwischen einheitliche Bewertungsmaßstäbe vor. So werden die für sieben PFAS-Verbindungen bestimmten Geringfügigkeitsschwellenwerte (GFS-Werte) für das Grundwasser [24] auch zur Beurteilung der Verwertungsmöglichkeiten von PFAS-haltigem Bodenmaterial herangezogen. Außerdem liegen für sechs weitere Verbindungen Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW) vor, die ebenfalls als Orientierungswerte für die Einstufung von Bodenmaterial in entsprechende Verwertungskategorien herangezogen werden [3]. In der BBodSchV wurden die GFS-Werte als Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser übernommen. GFS-Werte und GOW werden in Tabelle 1 aufgeführt.

An insgesamt sieben der im Auenprojekt untersuchten Standorte wird der Prüfwert für PFOS überschritten, teilweise werden zusätzlich noch die Prüfwerte für PFOA, PFHxS und/oder PFNA übertroffen. Es handelt sich zum einen um die bereits erwähnten fünf Standorte am Schwarzbach (nordöstlich von Nauheim bis westlich Astheim) sowie den im Eluat am höchsten belasteten Standort am Rhein, direkt nach der Mündung des Ginsheimer Altrheins. Am Schwarzbach werden außerdem an zwei Standorten die GOW für H4PFOS überschritten. Weiterhin übertreffen die Proben des Tiefenprofils an der Fulda bis in eine Tiefe von 60 cm die Prüfwerte für PFOS und/oder PFOA. Die festgestellten Prüfwert- und GOW-Überschreitungen werden in den Abbildungen 7 und 8 durch rote Übersignaturen vermerkt.

An den zwei Standorten am Schwarzbach mit den höchsten gemessenen Gehalten im Feststoff („Rhein_139“, „Rhein_140“) wurde im Nachgang der Entnahme der Flächenmischproben zusätzlich jeweils ein Tiefenprofil mittels Rammkernsondierung beprobt. Die entnommenen Profilproben der Oberböden bestätigten allerdings an beiden Standorten weder im Feststoff noch im Eluat die hohen Gehalte der Flächenmischproben und zeigten keine Prüfwert-

oder GOW-Überschreitungen (Daten nicht gezeigt). Eine potenzielle Erklärung für diese festgestellten Gehaltsunterschiede zwischen Flächenmischprobe und punktuell entnommener Profilprobe könnte sein, dass die PFAS-Belastungen auf den Flächen nicht homogen sind.

Abgesehen von den oben beschriebenen belasteten Standorten sind die durchschnittlichen PFAS-Eluatgehalte hessischer Auenböden als gering einzustufen. Vergleicht man wiederum die für Nordrhein-Westfalen veröffentlichten Hintergrundwerte [19] mit den Daten des Auenprojektes, liegen letztere teilweise sogar deutlich niedriger. So wurde beispielsweise in Nordrhein-Westfalen für Oberböden unter Grünland ein Hintergrundwert (90. Perzentil) von 0,552 µg/L für den Summenwert aus 13 PFAS (Einzelstoffe mit GFS-Werte und GOW) abgeleitet, während das ausreißerbereinigte⁶ 90. Perzentil der hessischen Auenböden unter Grünland bei 0,179 µg/L liegt. Besonders auffällig sind die Abweichungen für PFOA, das in Nordrhein-Westfalen in den Eluatanalysen durchschnittlich deutlich höhere Gehalte aufwies als PFOS, während in den hessischen Auenböden auch im Eluat im Mittel höhere PFOS- als PFOA-Gehalte gemessen wurden.

Eine potenzielle Erklärung für die niedrigen Eluatgehalte im Auenprojekt könnte sein, dass aufgrund von Störungen der PFAS-Messungen durch andere Bestandteile der Probenmatrix (sogenannte Matrixeffekte), bei einem Teil der Proben die eigentlich geringen Bestimmungsgrenzen in unterschiedlicher Höhe angehoben werden mussten. In diesen Fällen können Minderbefunde, also geringere gemessene PFAS-Gehalte als in der Probe eigentlich enthalten sind, nicht ausgeschlossen werden.

Eine weitere mögliche Begründung hängt ebenfalls mit der verwendeten Methodik zusammen: In den bereits erwähnten Empfehlungen des FBU für ein einheitliches methodisches Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden [23] werden unter anderem Hinweise zu einzelnen Verfahrensschritten gegeben, da kleine Variationen im Verfahrensablauf deutliche Auswirkungen auf die Ergebnisse haben können. Auch wenn die Mechanismen noch nicht erklärbar sind, wurde beispiels-

⁶ Standorte, die den Interquartilsabstand der jeweiligen PFAS-Gehalte (Summenwert oder Einzelstoff) um mehr als das 1,5-fache überschritten, wurden als Ausreißer von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen.

weise festgestellt, dass die Art der Probentrocknung einen starken Einfluss auf die PFAS-Gehalte im Eluat haben kann: Wird die Elution an feldfrischen Proben durchgeführt, sind niedrigere Gehalte messbar als bei getrockneten Proben. Der FBU empfiehlt daher vorläufig, eine Trocknung bei 40 °C durchzuführen, um eine Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Feuchtegehalten zu erreichen sowie Minderbefunde gering zu halten. Während bei den nordrhein-westfälischen Messungen entsprechend getrocknete Proben verwendet wurden, wurde im Auenprojekt die Elution, wie in DIN 19529 vorgeschrieben, an den feldfeuch-

ten Proben durchgeführt. Dieses Vorgehen wurde auch nach Vorliegen der ersten Erkenntnisse zum Einfluss der Trocknung [25] nicht geändert, damit die Proben innerhalb des Projektes vergleichbar blieben. Auch in diesem Sinne sind die gemessenen Eluatgehalte als Mindestbefunde einzustufen. Im Rahmen der aktuellen Untersuchungen hessischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) auf PFAS-Gehalte in Feststoff und Eluat, die der Ableitung nutzungs-spezifischer hessischer PFAS-Hintergrundwerte dienen sollen, finden die Verfahrenshinweise des FBU hingegen Anwendung.

5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der im Rahmen des Auenprojektes durchgeführten PFAS-Untersuchungen an Oberböden von hessenweit knapp hundert Standorten geben einen ersten Überblick zur Höhe der Belastungen von Auenböden mit dieser Stoffgruppe sowie zu Belastungsschwerpunkten in Hessen. Die Untersuchungen zeigen, dass PFAS ubiquitär in hessischen Auenböden gefunden werden können. Zwar waren bei den Feststoffanalysen bei knapp der Hälfte der untersuchten Standorte PFAS nicht bestimmbar, jedoch ist das auf die vergleichsweise hohe Bestimmungsgrenze (1 µg/kg TM) zurückzuführen. In den empfindlicheren Analysen im Eluat konnten PFAS mit Ausnahme eines Standortes durchgehend nachgewiesen werden. Generell bilden Eluatgehalte den kurzfristig mit Wasser mobilisierbaren Anteil an PFAS in einer Bodenprobe ab, der aufgrund nicht extrahierter Rückstände kleiner ist als der tatsächliche Feststoffgehalt. Insofern können Gehalte im Eluat als Mindestgehalte im Feststoff interpretiert werden [23]. Da aber im Rahmen der Eluatanalysen die angewandte Probenvorbereitung und Messung wie erläutert potenzielle Auswirkungen auf die Höhe der detektierten Gehalte haben kann, sollten die Ergebnisse der Eluatuntersuchungen ebenfalls eher als Mindestbefunde angesehen werden.

Die im Mittel höchsten PFAS-Gehalte hessischer Auenböden wurden in den untersuchten Standorten am Schwarzbach im hessischen Ried gemessen. Dieser Befund ist nicht überraschend, da der Schwarzbach aufgrund seines hohen Abwasseranteils eines der am höchsten mit Schadstoffen belasteten Gewässer in ganz Hessen ist. Die Belastungen werden vor allem auf Einleitungen kommunaler und industrieller

Kläranlagen zurückgeführt [26]. Dass auch PFAS als Schadstoffgruppe am und im Schwarzbach eine Rolle spielen, zeigten verschiedene Untersuchungen: So wurden bei der Analyse von Klärschlämmen und Abläufen einer industriellen Kläranlage am Schwarzbach sowie Wasser-Untersuchungen an der Messstelle Trebur/Astheim hessenweit maximale PFAS-Gehalte gemessen [26]. Auch die Grundwassermessstelle „Trebur“, die sehr nah am Schwarzbach liegt, besaß hohe PFAS-Konzentrationen. Da der Schwarzbach in Teilbereichen in das Grundwasser infiltriert, könnten die Belastungen aus dem Fließgewässer in das Grundwasser eingetragen worden sein [27]. Durchschnittlich höhere Belastungen zeigen erwartungsgemäß auch die am Rhein untersuchten Standorte, wie es für andere POP, insbesondere für PCDD/F, bereits bekannt ist [28]. Abgesehen von Schwarzbach und Rhein ergaben die PFAS-Untersuchungen im Rahmen des Auenprojektes noch vereinzelte, eher punktuell erhöhte Belastungen, wie beispielsweise an Fulda und Lahn. Um genauere Aussagen treffen zu können, ob es sich hier eher um lokale oder doch flächenhafte Belastungen handelt, müssten die Untersuchungen dort verdichtet werden.

Durch die Weiterentwicklung der Methodik können zwischenzeitlich für Feststoffanalysen niedrigere Bestimmungsgrenzen erreicht werden, als sie im Rahmen des Auenprojektes möglich waren. Für Eluatanalysen wurden aktuelle Empfehlungen zu einzelnen Verfahrensschritten veröffentlicht [23], die zur besseren bundesweiten Vergleichbarkeit von PFAS-Untersuchungen zukünftig eingehalten werden sollten.

Literatur

- [1] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2021): Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance. – Series on Risk Management No. 61, 43 S.; Paris. [https://www.oecd-ilibrary.org/reconciling-terminology-of-the-universe-of-per-and-polyfluoroalkyl-substances_e458e796-en.pdf; Stand: 25.07.2024]
- [2] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2022): Fact cards of major groups of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). – Series on Risk Management No. 68, 104 S.; Paris. [https://substitution-perfluores.ineris.fr/sites/substitution-perfluores/files/documents/fact_cards_of_major_groups_of_per-_and_polyfluoroalkyl_substances_pfass_ocde_2022.pdf; Stand: 29.05.2024]
- [3] BMUV – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022): Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials. [https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Bodenschutz/pfas_leitfaden_bf.pdf; Stand: 29.05.2024]
- [4] GLÜGE, J., SCHERINGER, M., COUSINS, I.T., DEWITT, J.C., GOLDENMAN, G., HERZKE, D., LOHMANN, R., NG, C.A., TRIER, X. & WANG, Z. (2020): An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). – *Environ. Sci.: Processes Impacts* 22: 2345–2373. [<https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2020/em/d0em00291g>; Stand: 29.05.2024]
- [5] UBA – Umweltbundesamt (2020): PFAS – Gekommen, um zu bleiben. – Schwerpunkt; Magazin des Umweltbundesamtes 1/2020, 47 S.; Dessau-Roßlau.
- [6] MUIR, D., BOSSI, R., CARLSSON, P., EVANS, M., DE SILVA, A., HALSALL, C., RAUERT, C., HERZKE, D., HUNG, H., LETCHER, R., RIGÉT, F. & ROOS, A. (2019): Levels and trends of poly- and perfluoroalkyl substances in the Arctic environment – An update. – *Emerging Contaminants*, Volume 5: 240–271. [doi: 10.1016/j.emcon.2019.06.002]
- [7] BRUNN, H., ARNOLD, G., KÖRNER, W., RIPPEN, G., STEINHÄUSER, K.G. & VALENTIN, I. (2023): PFAS: foreverchemicals – persistent, bioaccumulative and mobile. Reviewing the status and the need for their phase out and remediation of contaminated sites. – *Environmental Sciences Europe* 35, 20. [<https://doi.org/10.1186/s12302-023-00721-8>].
- [8] EVICH, M.G., DAVIS, M.J.B., MCCORD, J.P., ACREY, B., AWKERMAN J.A., KNAPPE, D.R.U., LINDSTROM, A.B., SPETH, T.F., TEBES-STEVENS, C., STRYNAR, M., WANG, Z., WEBER, E.J., HENDERSON, W.M. & WASHINGTON, J.W. (2022): Per- and polyfluoroalkyl substances in the environment. – *Science* 375, eabg9065. [<https://doi.org/10.1126/science.abg9065>]
- [9] EFSA – European Food Safety Authority (2020): Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. – *EFSA Journal* 20, 18(9):6223, 391 S. [<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>]
- [10] ECHA – European Chemicals Agency (2023): Annex XV Restriction Report – Proposal for a Restriction – Per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs). – Version Number 2, 22.03.2023; Helsinki. [<https://echa.europa.eu/documents/10162/f605d4b5-7c17-7414-8823-b49b9fd43aea>; Stand: 29.05.2024]
- [11] LÜGGER, K., KLEIN, B., SCHUHMACHER, N. & STEINICKE, C. (2023): Bodenzustand hessischer Bach- und Flussauen – Belastungen der Auenböden der Diemel. – Jahresbericht 2022 des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie: 119–129; Wiesbaden.
- [12] BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).
- [13] DIN 38414-14 (2011): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung – Schlamm und Sedimente (Gruppe S) – Teil 14: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) (S 14).
- [14] DIN 38407-42 (2011): Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion (F 42).
- [15] DIN 19529 (2023): Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen bei einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.
- [16] DIN EN 12457-40 (2003): Charakterisierung von Abfällen – Auslaugung – Übereinstimmungsuntersuchung für die Auslaugung von körnigen Abfällen und Schlämmen – Teil 4: Einstufiges Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/Feststoffverhältnis von 10 l/kg für Materialien mit einer Korngröße unter 10 mm (ohne oder mit Korngrößenreduzierung).
- [17] OECD – Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2015): Working towards a global emission inventory of PFASs: Focus on PFCAs – Status Quo and the way forward. – OECD Environment, Health and Safety Publications Series on Risk Management No. 30; Paris.

- [18] BRUSSEAU, M.L., ANDERSON, R.H., & GUO, B. (2020): PFAS concentrations in soils: background levels versus contaminated sites. *Sci. Total Environ.* 740, 140017. [<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140017>].
- [19] LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2024): Hintergrundgehalte und -werte von PFAS in Böden ländlicher Gebiete in Nordrhein-Westfalen. – LANUV-Fachbericht 150, 66 S.; Recklinghausen.
- [20] LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (2021): Sachstandsbericht: PFAS - in Böden von Bodendauerbeobachtungsflächen. Ergebnisse aus drei Untersuchungsphasen. – Karlsruhe. [<https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10215>]; Stand: 29.05.2024]
- [21] LLUR – Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (2022): Fachbericht zu den Bodenmaterialuntersuchungen auf Gehalte an per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in Schleswig-Holstein 2020. – Flintbek. [https://www.schleswig-holstein.de/DE/fachinhalte/B/boden/Downloads/fachberichtPFAS.pdf?__blob=publicationFile&v=2]; Stand: 29.05.2024]
- [22] DEINZER, G. & HANGEN, E. (2024): Hintergrundwerte für per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Oberböden Bayerns. – Vortrag im Rahmen der Fachtagung „PFAS 2024 – Ubiquitäre Belastung und neue Regulierungsansätze“ am 09./10. April 2024 am LfU Augsburg. [https://www.lfu.bayern.de/analytik_stoffe/pfc/fachtagungen/doc/pfas24/02_pfas_24_deinzer_hangen.pdf]; Stand: 29.05.2024]
- [23] FBU – Fachbeirat Bodenuntersuchungen (2024): Empfehlungen des FBU zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/fbu_2024_bestimmung_pfas_im_boden_20240426.pdf]; Stand: 29.05.2024].
- [24] LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC).
- [25] LANGE, F.T., SCHEURER, C., BIERRETH, C., BORHO, W.; SEEGER, A.-K.; DREHER, P.; NÖLTNER, T. (2022): Air-drying of soil samples. A crucial step in the determination of leachable concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances. – *Chemosphere*, Volume 269, 128745. [<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128745>]
- [26] HLOG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2010): Perfluorierte Chemikalien (PFC) in Hessen – Untersuchungsprogramm des HLOG. – Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/PFC/HLOG_pfc-bericht_web.pdf]; Stand: 29.05.2024]
- [27] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2018): Grundwasserbeschaffenheitsbericht 2017. – Grundwasser in Hessen, Heft 3; Wiesbaden.
- [28] HLOG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2014): Persistente organische Schadstoffe in landwirtschaftlich genutzten Böden Hessens. – Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft 11; Wiesbaden.

Die aktualisierte LABO-Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose

VOLKER ZEISBERGER*

1 Einleitung

Mit der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) von 1999 wurde das Instrument der „Sickerwasserprognose“ eingeführt. Die Fragestellung bei einer Sickerwasserprognose betrifft den Wirkungspfad Boden-Grundwasser und lautet: Geht von Bodenverunreinigungen, die sich in der ungesättigten Zone befinden, eine Gefährdung für das Grundwasser aus, indem Schadstoffe durch Niederschlagswasser gelöst werden und mit dem Sickerwasser in das Grundwasser gelangen? Hierzu wurden im Auftrag der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) zwei Arbeitshilfen erstellt:

- Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen (2003) [1]
- Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen (2008) [2].

Mit der Novellierung der BBodSchV [3], die im August 2023 in Kraft getreten ist, ergeben sich einige Änderungen für die Durchführung und Beurteilung von Sickerwasserprognosen. Daher sah der Ständige Ausschuss 3 „Altlasten“ (ALA) der LABO eine hohe Priorität darin, die beiden o. g. Arbeitshilfen zu aktualisieren und zusammenzufassen. In einer Arbeitsgruppe unter Beteiligung des HLNUG wurde Anfang 2024 ein Entwurf erstellt [4] und den ALA-Mitgliedern zur Stellungnahme zugesandt. Mit der Veröf-

fentlichung der LABO-Arbeitshilfe ist im Herbst 2024 zu rechnen.

Folgende wesentliche Änderungen haben sich durch die Novellierung der BBodSchV ergeben:

- Für anorganische Schadstoffe werden zusätzlich zu den Prüfwerten für den „Ort der Beurteilung“ auch Prüfwerte für den „Ort der Probenahme“ veröffentlicht (siehe Kapitel 2.1).
- Als Elutionsverfahren werden entweder das Säulenverfahren nach DIN 19528 [5] oder das Schüttelverfahren nach DIN 19529 [6] vorgeschrieben. Beide Verfahren weisen ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 : 1 auf und gelten als gleichwertig (siehe Kapitel 2.2).
- Ergänzend zur Sickerwasserprognose kann optional eine sogenannte Einmischungsprognose durchgeführt werden (siehe Kapitel 2.3).

Die genannten Änderungen betreffen die „Sickerwasserprognose auf der Grundlage von Materialuntersuchungen durch Elution mit Wasser in Verbindung mit einer Transportprognose“, siehe § 14 Abs. 1 BBodSchV, also die typische Sickerwasserprognose. Für die weiteren Varianten der Sickerwasserprognose (Rückrechnung aus Grundwasseruntersuchungen, Sickerwasserprognose mittels In-situ-Untersuchungen) ergeben sich keine wesentlichen Änderungen.

2 Neue Inhalte in der aktualisierten LABO-Arbeitshilfe

2.1 Prüfwerte für den Ort der Probenahme

Für anorganische Schadstoffe nennt die aktualisierte BBodSchV nicht nur Prüfwerte für den „Ort der Beurteilung“, sondern nun auch Prüfwerte für den „Ort der Probenahme“ (Tab. 1). Die Notwendigkeit dieser Ergänzung ergab sich aus folgendem Grund: Bei einigen anorganischen Stoffen zeigten auch unbelastete Böden eine Überschreitung der Prüfwerte

für den „Ort der Beurteilung“, wenn die 2 : 1-Elutionsverfahren und die neuen Prüfwerte angewendet wurden. Dieses Phänomen trat insbesondere bei humusreichen Böden auf, da organische Bodenbestandteile die Mobilisierung einiger anorganischer Schadstoffe fördert. Die Prüfwerte für den „Ort der Probenahme“ haben in erster Linie die Funktion,

dass bei deren Unterschreitung der Altlastenverdacht hinsichtlich des Wirkungspfades Boden-Grundwasser

ausgeräumt ist, eine Sickerwasserprognose kann also entfallen.

Tab. 1: Prüfwerte für den „Ort der Probenahme“ (bei einem gesamten organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) in der Bodenprobe < 0,5 % und > 0,5 %) und Prüfwerte für den „Ort der Beurteilung“ für anorganische Stoffe

Stoff	Ort der Probenahme TOC-Gehalt < 0,5 % [µg/L]	Ort der Probenahme TOC-Gehalt ≥ 0,5 % [µg/L]	Ort der Beurteilung [µg/L]
Arsen	15	25	10
Blei	45	85	10
Bor	1 000	1 000	1 000
Cadmium	4	7,5	3
Chrom, gesamt	50	50	50
Chrom (VI)	8	8	8
Kobalt	50	125	10
Kupfer	50	80	50
Molybdän	70	70	35
Nickel	40	60	20
Quecksilber	1	1	1
Selen	10	10	10
Zink	600	600	600
Cyanide, gesamt	50	50	50
Cyanide, leicht freisetzbar	10	10	10
Fluorid	1 500	1 500	1 500

2.2 Elutionsverfahren

Elutionsverfahren werden im Rahmen der BBodSchV angewandt, um die unter natürlichen Standortverhältnissen stattfindende Mobilisierung von Schadstoffen zumindest näherungsweise abzubilden. Der in der BBodSchV von 1999 als Standardverfahren genannte Bodensättigungsextrakt hat sich in der Praxis jedoch nicht bewährt. Das damals ebenfalls aufgeführte S4-Verfahren, das ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10 : 1 aufweist, ist aus heutiger Sicht i. d. R. ungeeignet, um eine realitätsnahe Schadstoffkonzentrationen abschätzen zu können.

2.3 Einmischungsprognose

Für einige anorganische Stoffe hatte die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) im Jahr 2016 Geringfügigkeitsschwellen (GFS) abgeleitet,

Als geeignete Verfahren, die einerseits praktikabel sind und andererseits eine näherungsweise Einschätzung der Mobilisierbarkeit ermöglichen, werden in der novellierten BBodSchV zwei Verfahren genannt, die beide ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 : 1 aufweisen:

- 2 : 1-Säulenverfahren nach DIN 19528
- 2 : 1-Schüttelverfahren nach DIN 19529

Beide Verfahren werden in der BBodSchV gleichberechtigt genannt und sind daher als gleichwertig anzusehen. Beide DIN-Normen wurden 2023 aktualisiert [5, 6].

die deutlich niedriger waren als die 2004 abgeleiteten GFS [7]. Da die Prüfwerte der BBodSchV sich an den GFS orientieren, sind in der Folge die Prüf-

werte für einige anorganische Stoffe in der novellierten BBodSchV deutlich geringer als noch 1999. Der Verordnungsgeber wollte jedoch eine deutliche Verschärfung des Altlastenrechts für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser vermeiden.

Ein pragmatischer und von der LAWA mitgetragener Weg war es, die Vermischung/Verdünnung von Sicker- und Grundwasser im obersten Meter des Grundwassers bei der Beurteilung berücksichtigen

zu können. Es besteht nun die Option, die Prüfwerte der BBodSchV nicht nur für die Schadstoffkonzentration am Ort der Beurteilung heranzuziehen, sondern auch nach einer (modellhaft angenommenen vollständigen) Vermischung im obersten Meter des Grundwassers (vgl. Abb. 1). Obwohl für die meisten organischen Schadstoffe keine Verschärfung der GFS erfolgte, gilt die Option der Einmischungsprognose auch für diese Stoffe.

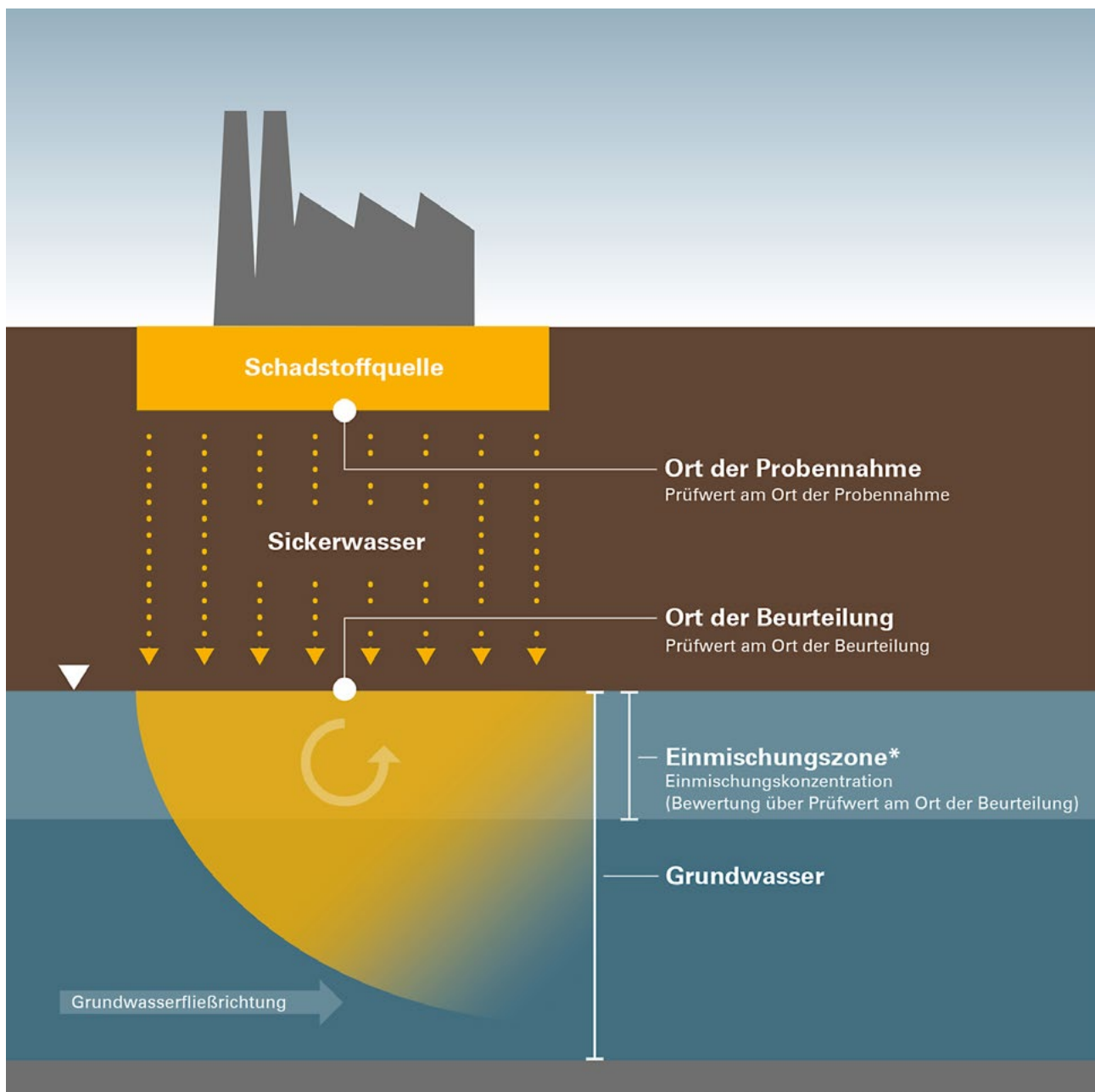


Abb. 1: Schematische Darstellung der Einmischungsprognose [4]. * Nach § 14 Abs. 5 BBodSchV wird per Konvention eine pauschale Einmischungstiefe von einem Meter unterhalb der Grundwasseroberfläche angenommen.

Für den Vollzug der BBodSchV ist zu erwarten, dass die Einmischungsprognose eher bei Detailuntersuchungen als bei orientierenden Untersuchungen angewendet wird. Denn Voraussetzung für die Anwendung der Einmischungsprognose ist, dass die Fließgeschwindigkeit im Grundwasser bekannt ist; dieses Wissen liegt bei orientierenden Untersuchun-

gen eher selten vor. Weiterhin ist zu erwarten, dass die Einmischungsprognose eher bei kleinen Altlasten/Punktquellen zu einer Entlastung des Pflichtigen führt. Bei großflächigen Belastungen bzw. geringen Grundwasserfließgeschwindigkeiten sind die Auswirkungen der Einmischungsprognose vergleichsweise gering [8].

3 Ausblick

Das analytische Prognose-Tool ALTEX-1D war bislang Bestandteil der LABO-Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen [2]. Da sich ALTEX-1D einerseits bewährt hat, andererseits das Sicherheitskonzept der EXCEL-basierten Anwendung veraltet ist, wird ALTEX-1D zurzeit überarbeitet und soll webbasiert zur Verfügung gestellt werden. Mit der Veröffentlichung der webbasierten Version ist im Jahr 2025 zu rechnen.

Im Hinblick auf orientierende Untersuchungen ist das HLNUG-Handbuch „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser – Sickerwasserprognose“ [9] konkreter und damit vollzugsfreundlicher als die LABO-Arbeitshilfen. Daher wird eine hessische Behördenarbeitsgruppe das Handbuch Altlasten aktualisieren, sobald die LABO-Arbeitshilfe verabschiedet ist.

Literatur

- [1] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei orientierenden Untersuchungen. [https://www.labo-deutschland.de/documents/SiWaPrognose-120903_91f.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [2] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2008): Arbeitshilfe Sickerwasserprognose bei Detailuntersuchungen. [https://www.labo-deutschland.de/documents/Ah_Du_1208_732_8fa.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [3] BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).
- [4] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2024): Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose (Entwurf 14.05.2024).
- [5] DIN 19528 (2023): Elution von Feststoffen - Perkulationsverfahren zur gemeinsamen Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen.
- [6] DIN 19529 (2023): Elution von Feststoffen - Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von anorganischen und organischen Stoffen bei einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.
- [7] LAWa – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, aktualisierte und überarbeitete Fassung. [https://www.lawa.de/documents/geringfueigigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [8] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2022): Neues von der Sickerwasserprognose – Die Einmischprognose. – Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen, Ausgabe 2022: 30–32; Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Boeden_Altlasten_Newsletter_2022_web_final.pdf; Stand: 27.05.2024].
- [9] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2002): Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden-Grundwasser – Sickerwasserprognose – Handbuch Altlasten Band 3, Teil 3; Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/hba33_web.pdf; Stand: 27.05.2024].

Zahlen und Fakten 2023 - gekürzte Fassung

NICO DIEHL, ANDREA BOHNE, ANDREA SCHNABEL*

1 Einleitung

Von Altablagerungen und Altstandorten, wie stillgelegten Gewerbe- und Industrieflächen, können heute noch erhebliche Gefahren für die Umwelt ausgehen, wenn dort in der Vergangenheit gefährliche Stoffe produziert, verwendet oder abgelagert wurden. Durch Unkenntnis oder Nachlässigkeit konnten Stoffe in die Umgebung gelangen und zu Boden- und Grundwasserverunreinigungen führen. Typische Altablagerungen sind die zahlreichen Müllkippen, auf denen Haushalts- und Industrieabfälle ungesichert abgelagert wurden. Typische Altlastenstandorte sind die Gelände von ehemaligen Gaswerken, Farbenfabriken, Tankstellen oder chemischen Reinigungen. Zusammengefasst werden Altablagerungen und Altstandorte auch als Altflächen bezeichnet.

Seit mehr als 30 Jahren widmet sich die Altlastenbearbeitung in Hessen der Aufgabe, die Altflächen zu erfassen und ihre Gefahren für die Umwelt zu erkennen und zu beseitigen. Die Ergebnisse dieser erfolgreichen Bemühungen spiegeln sich in den Zahlen der Altflächendatei (Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle, kurz FIS AG) wider.

Mit FIS AG verfügt die hessische Landesverwaltung über ein zentrales Informationssystem, in welchem die Daten zu Altflächen und Schadensfällen erfasst und verwaltet werden. Das Informationssystem wird vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) zusammen mit den Bodenschutzbehörden geführt. Es unterstützt die Arbeit der Bodenschutzbehörden und stellt Informationen über Altflächen für Planungen des Landes oder der Kommunen zur Verfügung. Bürgerinnen und Bürger können bei den Regierungspräsidien (obere Bodenschutzbehörden) Auskünfte zu einzelnen Grundstücken erhalten.

Mit FIS AG liegt seit 1998 eine umfangreiche Datenbasis vor, die es erlaubt, regelmäßig in der Publikation „Zahlen und Fakten“ wichtige Entwicklungen auf dem Gebiet der Altlastenbearbeitung darzustellen und Trends aufzuzeigen. Eine detailliertere Darstellung der Datenbasis wird mit der Ausgabe „Zahlen und Fakten 2024“ im Laufe des aktuellen Jahres veröffentlicht werden. Die vorliegende gekürzte Ausgabe von Zahlen und Fakten hingegen zeigt die Situation in Hessen mit dem Stand vom 3. Juli 2023.

2 Stand der Altlasten- und Schadensfallbearbeitung

Nach § 12 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) kann die Erfassung von Altlasten und altlastverdächtigen Flächen von den Ländern geregelt werden. Von dieser Möglichkeit haben die Bundesländer ausnahmslos Gebrauch gemacht. Deshalb und auch bedingt durch die historische Entwicklung gibt es zwischen den Bundesländern – trotz eines ähnlichen fachlichen Vorgehens – Unterschiede in der Katasterführung und Bearbeitungsmethodik.

Dennoch veröffentlichen die Bundesländer seit 2005 jährlich sogenannte Kennzahlen der Altlastenstatistik

in einem gemeinsamen Bericht (<https://www.labo-deutschland.de/Jahresberichte.html>). Hierzu melden alle Bundesländer, darunter auch Hessen, jedes Jahr im Juli Daten zu Altablagerungen und Altstandorten. Die Daten werden u. a. auf der folgenden Internetseite veröffentlicht: <https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Daten-Informationssysteme.html>.

Innerhalb der bundesweiten Altlastenstatistik wird auf Seiten der Länder verlinkt, für Hessen zum HLNUG: <https://www.hlnug.de/?id=17034>.

Bis 2020 waren die Angaben der Länder nicht direkt vergleichbar, da die Flächenerfassung und die Ableitung der Daten in den Bundesländern sehr unterschiedlich erfolgten. 2020 verständigten sich die Länder auf einheitlich definierte und berechnete Kennzahlen in 4 von 5 Kategorien. Bei der Erfassung von Altflächen bestehen jedoch auch weiterhin unterschiedliche Herangehensweisen (und somit

schwer vergleichbare Zahlenangaben), da Regelungen zur Erfassung landesrechtlich erfolgen. Neben den bundesweit einheitlich definierten Zahlenkategorien werden in der hessischen Altflächendatei zusätzlich die Schadensfallarten „sonstige schädliche Bodenveränderungen“ (ssBV) und „Grundwasserschadensfälle“ (GWSF) geführt.

2.1 Stand der Bearbeitung von Altflächen

Die fünf Kennzahlenkategorien der bundesweiten Altlastenstatistik und die von Hessen gemeldeten Zahlen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Zum Stichtag 3. Juli 2023 waren insgesamt 105 069 Einträge zu den Kennzahlen der bundesweiten Altlastenstatistik in der hessischen Altflächendatei enthalten. Diese immense Zahl erklärt, warum die Altlastenbearbeitung nur schrittweise möglich ist.

Von den 105 069 erfassten Einzelfällen waren zum Stichtag 878 als Altlast eingestuft. In 2 464 Fällen

bestand der Verdacht auf Boden- oder Grundwasser-Verunreinigungen. In weiteren 5 206 Fällen hat sich der Verdacht nicht bestätigt. In 1 220 Fällen konnte in den vergangenen 30 Jahren saniert werden. In 95 301 Fällen und damit den weitaus meisten wurden bisher nur erste Grunddaten aufgenommen. Das heißt, diese wurden in FIS AG zwar als potenziell altlastverdächtige Flächen erfasst, jedoch noch nicht vertieft überprüft.

Tab. 1: Stand der Altlastenbearbeitung zum 3. Juli 2023

	Kategorie der bundesweiten Altlastenstatistik	Von Hessen gemeldete Kennzahlen
1	Potenziell altlastverdächtige Flächen	95 301 ¹
2	Gefahrenverdacht abzuklären	2 464
3	Gefahrenverdacht ausgeräumt	5 206
4	Altlasten	878
5	Sanierung abgeschlossen	1 220
	Summe	105 069

¹ Erfassung nicht bundesweit vergleichbar

2.2 Stand der Bearbeitung von Grundwasserschadensfällen und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen

Neben den in Tabelle 1 aufgeführten Kennzahlen zu Altlasten werden in FIS AG auch Informationen zu den Schadensfallarten Grundwasserschadensfälle (GWSF) und sonstige schädliche Bodenveränderungen (ssBV) erfasst. Die Auswertung dieser Datensätze zeigt, dass bei diesen Schadensfällen die abgeschlossenen Sanierungen einen weitaus größeren Anteil

einnehmen als bei den Kennzahlen der bundesweiten Altlastenstatistik (vgl. Tab. 2). Eine Erklärung ist, dass auch aktuelle Schadensfälle – es handelt sich zum Beispiel um Brandereignisse – aufgrund ihres großen Gefahrenpotenzials hohe Priorität besitzen können.

Tab. 2: Stand der Bearbeitung bei Grundwasserschadensfällen (GWSF) und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen (ssBV) zum 3. Juli 2023

	Anzahl der in FIS AG geführten Grundwasserschadensfälle (GWSF) und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen (ssBV)
Erfassung	68
Gefahrenverdacht abzuklären	779
Gefahrenverdacht ausgeräumt	252
Festgestellter Schadensfall	234
Sanierung abgeschlossen	1 673
Summe	3 006

3 Kommunale Beteiligung an der Erfassung von Altlastenverdachtsflächen

Gemäß § 8 Absatz 4 HAltBodSchG sind die Gemeinden in Hessen verpflichtet, sich an der Erfassung von schadstoffbedingten Verdachtsflächen durch Auswertung ihrer kommunalen Gewerberegister und an der Fortschreibung bereits erhobener Daten zu beteiligen. Darüber hinaus müssen sie dem HLNUG die ihnen vorliegenden Erkenntnisse melden. Hierzu steht den Städten und Gemeinden das Datenübertragungssystem DATUS online zur Verfügung. Das HLNUG gibt seinerseits halbjährlich den für Altlastenverfahren zuständigen Behörden (Landkreise und Regierungspräsidien) einen zusammenfassenden Überblick über die in FIS AG gemeldeten Datensätze der Kommunen zu Altflächen und zu den Schadensarten GWSF und ssBV.

Tabelle 3 listet die zum 3. Juli 2023 in FIS AG geführten Datensätze nach Landkreisen und kreisfreien Städten auf. Demnach liegen in den Industrieschwerpunkten im Rhein-Main-Gebiet gehäuft Daten vor. Die absolut meisten Datensätze befinden sich im Gebiet der Stadt Frankfurt. In den eher ländlich geprägten Regionen ist dagegen die Dichte der Daten wesentlich geringer. Die wenigsten Daten sind im Vogelsberg- und Odenwaldkreis gemeldet. Auch wenn noch nicht alle Gemeinden Daten liefert

haben, kann diese Verteilung primär mit der intensiveren Nutzung der Böden in insbesondere industriell geprägten Ballungsgebieten erklärt werden.

Eine Übersicht über den Stand der Datenerfassung und -bereitstellung kann Tabelle 4 entnommen werden. Die Anzahl der in FIS AG vorhandenen Flächen zeigt, dass auch für Kommunen, die bisher noch keine Daten geliefert haben, Datensätze vorliegen. Diese stammen z. T. aus flächendeckenden Erfassungen, die zwischen 1990 und 1993 von vielen hessischen Städten und Gemeinden durchgeführt wurden. Die Anzahl der über DATUS online gesendeten Daten sowie die Beteiligung der Kommunen an der Bereitstellung nimmt stetig zu. Bis zum 3. Juli 2023 hatten sich aber immer noch 6 % der 421 hessischen Gemeinden überhaupt nicht an einem Datenaustausch mit der Altflächendatei beteiligt. Die einwohnerstarken Ballungszentren und größeren Städte haben jedoch Daten geliefert, sodass anzunehmen ist, dass gleichwohl bereits ein Großteil der Flächen erfasst ist. Ziel ist, dass alle Kommunen ihre Gewerberegister systematisch auswerten, regelmäßig die potenziell altlastverdächtigen Flächen melden und die von ihnen gemeldeten Daten bei neuen Erkenntnissen auch aktualisieren.

Tab. 3: Anzahl der FIS AG Datensätze je Landkreis bzw. kreisfreier Stadt zum 3. Juli 2023

Landkreis bzw. kreisfreie Stadt	Nummer	Anzahl der vorhandenen Datensätze zu Altflächen, GWSF und ssBV
Kreisfreie Stadt Darmstadt	411	3 806
Kreisfreie Stadt Frankfurt am Main	412	19 898
Kreisfreie Stadt Offenbach am Main	413	3 830
Landeshauptstadt Wiesbaden	414	7 408
Landkreis Bergstraße	431	6 215
Landkreis Darmstadt-Dieburg	432	4 290
Landkreis Groß-Gerau	433	3 331
Hochtaunuskreis	434	3 391
Main-Kinzig-Kreis	435	6 959
Main-Taunus-Kreis	436	3 155
Odenwaldkreis	437	793
Landkreis Offenbach	438	7 911
Rheingau-Taunus-Kreis	439	3 332
Wetteraukreis	440	4 002
Landkreis Gießen	531	2 433
Lahn-Dill-Kreis	532	4 375
Landkreis Limburg-Weilburg	533	2 631
Landkreis Marburg-Biedenkopf	534	4 565
Vogelsbergkreis	535	745
Kreisfreie Stadt Kassel	611	3 474
Landkreis Fulda	631	2 161
Landkreis Hersfeld-Rotenburg	632	1 427
Landkreis Kassel	633	2 253
Schwalm-Eder-Kreis	634	1 985
Landkreis Waldeck-Frankenberg	635	2 307
Werra-Meißner-Kreis	636	1 436

Tab. 4: Beteiligung an der Erfassung mittels DATUS (Stand 3. Juli 2023)

Beteiligung an der Erfassung und Fortschreibung mittels des Datenübertragungssystems DATUS	Anteil an der Gemeindezahl (n=421)	Anzahl der Kommunen nach Priorität (n=421)
Beteiligung dringend erforderlich (DATUS noch nicht angefordert)	6 %	28
Beteiligung erforderlich / z. T. in Bearbeitung	46 %	193
Letzte Datenlieferung vom 1. Januar 2019 bis 31. Dezember 2020	12 %	50
Aktuelle und regelmäßige Datenlieferung	36 %	150

4 Fazit

Noch sind nicht alle Städte und Gemeinden ihrer Verpflichtung nach § 8 Absatz 4 HAltBodSchG zur regelmäßigen Erfassung ausreichend nachgekommen. Diese sind dringend aufgerufen, durch Auswertung ihrer Gewereregister potenzielle Altstandorte zu erheben und damit letztlich auch ihre eigene Planungsgrundlage, z. B. für die Bauleitplanung, zu verbessern. Die Fälle, die in Bearbeitung sind, bleiben von Jahr zu Jahr in etwa auf einem zahlenmäßig gleichbleibenden Niveau.

Die zusammengestellten Informationen zeigen, dass in den letzten 30 Jahren u. a. bei der systematischen Altlastensanierung in Hessen viel erreicht wurde. Allerdings weisen sie auch darauf hin, dass stetiger Handlungsbedarf besteht. Die Erfassung von Altflächen, ihre Bewertung und ggf. auch ihre Sicherung und Sanierung bleiben wichtige Daueraufgaben der hessischen Umweltpolitik.

Neuerscheinungen

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Jahresbericht 2023

Der Jahresbericht des HLNUG zeigt sich für das Jahr 2023 in neuem, reich bebilderten Gewand. Er gibt einen Überblick über die vielfältigen Aufgaben der HLNUG-Fachbereiche Wasser, Naturschutz, Luft, Lärm, Klimawandel und Anpassung, Strahlenschutz sowie Geologie und Boden.

Die Abteilung Geologie und Boden berichtet u. a. über das Thema Bodenerosion in der Landwirtschaft. Ungefähr 1 Million Tonnen Bodenmaterial gehen in Hessen jedes Jahr durch Bodenerosion verloren – ein Problem, was in Zeiten des Klimawandels durch häufigere und heftigere Starkregenereignisse zunehmend relevanter wird. Ein wichtiges Instrument des Boden- bzw. Erosionsschutzes sind Anordnungen zur Gefahrenabwehr von Bodenerosion. In diesem Zusammenhang kommt dem HLNUG eine wichtige Aufgabe als beratende Fachbehörde zur Bekämpfung von Bodenerosion zu. Weiterhin gibt es einen Beitrag zur 1 060 m tiefen, geothermische Forschungsbohrung am Frankfurter Rebstockbad, die vom HLNUG wissenschaftlich begleitet wurde. Sie erbrachte neue Erkenntnisse über den tiefen Untergrund Frankfurts und bestätigte eine geothermische Anomalie, die eine wichtige Rolle bei der zukünftigen Wärmeversorgung Frankfurts spielen könnte.

Der Jahresbericht 2023 enthält außerdem Artikel zu Pestiziden in Fließgewässern, zu Nährstoffeinträgen

aus landwirtschaftlichen Drainagen in Grund- und Oberflächengewässer, zur Messung von Ultrafeinstaubemissionen aus Kaminöfen oder zum neuen Online-Meldesystem für Sichtungen und Hinweise zum Thema Wölfe.



Neben den vorgestellten und weiteren fachlichen Einblicken informiert er auch über besondere Ereignisse, Neuigkeiten und Publikationen und bietet einen kleinen Blick hinter die Kulissen des HLNUG.

Der Jahresbericht 2023 kann als Druckexemplar kostenlos im Vertrieb des HLNUG bestellt (vertrieb@hlnug.hessen.de) oder unter folgender Adresse abgerufen werden:

https://www.hlnug.de/fileadmin/shop/publikationen/umwelt/allgemeine/Schriften_Umwelt_777_Jahresbericht_2023_WEB.pdf

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Geogefahren in Hessen - Gravitative Massenbewegungen und Erdbeben

Geogefahren – wie Rutschungen, Felsstürze, Erdfälle, Senkungsmulden oder Erdbeben – stellen geologisch bedingte Naturgefahren dar, die zu Schäden an Infrastruktur und Gebäuden sowie zur Bedrohung von Menschenleben führen können. Die Art und Verteilung von Geogefahren steht in Korrelation zu geologischen, klimatischen und morphologischen Faktoren sowie der Nutzung gefährdeter Gebiete durch den Menschen.

In der Veröffentlichung „Geogefahren in Hessen – Gravitative Massenbewegungen und Erdbeben“ werden vorliegende Informationen über Massenbewegungen und Erdbeben in der Fläche zusammen- und anhand exemplarischer Fallbeispiele anschaulich dargestellt. Grundlage bildete die Auswertung von Kartenwerken, ingenieurgeologischen Spezialkartierungen, Archivmaterial, Literatur, Geländeaufnahmen und die fernerkundliche Auswertung mit

Hilfe digitaler Geländemodelle sowie Luft- und Satellitendaten. Auf Grundlage dieser hochaufgelösten Daten konnten systematisch Massenbewegungen in der Fläche kartiert, gebietsspezifisch und exemplarisch im Gelände überprüft sowie ingenieurgeologisch beschrieben werden. Diese Informationen bilden die Grundlage für weitere ingenieurgeologische und geophysikalische Untersuchungen von Massenbewegungen, z. B. dem Langzeitmonitoring exponierter Rutschungen.

Als Sonderform zum Thema Massenbewegung wird das Thema Bodenerosion durch Wasser behandelt. Maßgebliche Einflussfaktoren sowie Erosionsformen werden erläutert sowie die Abschätzung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Hessen mit Hilfe von Erosionsmodellen erklärt. Anhand eines Fallbeispiels werden mögliche Erosionsschutzmaßnahmen, wie beispielsweise eine ganzjährige Bedeckung oder die Anlage von Erosionsschutzstreifen, aufgezeigt.

Neben Massenbewegungen stellen Erdbeben eine der häufigsten in Hessen auftretenden Geogefah-

ren dar. Es wird die Erdbebensituation und die damit verbundene Gefahrenlage in Hessen, als auch grundlegende Informationen zur Überwachung von Erdbeben in Hessen durch die Fachstelle des Landes Hessen für Erdbeben, den Hessischen Erdbebedienst, beschrieben.



Die Veröffentlichung kann für 39,00 Euro über die Vertriebsstelle oder über den Produktshop des HLNUG erworben werden:

vertrieb@hlnug.hessen.de

<https://www.hlnug.de/publikationen/produktshop/schriften>

Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz - ein Bildatlas



Wer den Boden als eine unserer wichtigsten Lebensgrundlagen in seiner Vielfalt kennenlernen möchte, ist bei diesem über 700-seitigen Bildband richtig. Insgesamt 200 Bodenprofile werden mit zahlreichen Bildern, detaillierten Beschreibungen, Analysedaten und Verbreitungskarten vorgestellt.

Aus Hessen sind zehn Standorte mit sehr unterschiedlichen Böden vertreten. Systematisch werden die Böden nicht nur nach der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5) eingeordnet, sondern auch nach der internationalen „World Reference Base for Soil Resources“ (WRB). Dazu gibt es umfangreiche Beschreibungen der verschiedenen Bodenregionen, aus denen die vorgestellten Profile

stammen. Weitere Kapitel zu bodenkundlichen Grundlagen sowie zur Gefährdung und zum Schutz der Böden vervollständigen den Inhalt des Buches.

An der Erstellung des Buches waren mehr als 40 Autorinnen und Autoren sowie sieben Herausgeber beteiligt, die ihr umfangreiches Experten- und Regionalwissen eingebracht haben. Auch zwei ehemalige Mitarbeiter des Dezernates Boden und Altlasten des HLNUG sind unter den Autoren zu finden. Das Buch richtet sich sowohl an ein Fachpublikum, an Lehrende und Studierende, aber auch an naturkundlich Interessierte, die die Vielfalt unserer Böden, ihre Schönheit und ihr Vorkommen kennenlernen möchten.

Der Bildatlas „Böden Deutschlands, Österreichs und der Schweiz“ ist beim Springer-Verlag erschienen und über den Buchhandel zum Preis von 69,95 Euro käuflich (ISBN 978-3-8274-2283-5). Er ist weiterhin als e-Book erhältlich (54,99 Euro, ISBN 978-3-8274-2284-2).

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Vollzugshilfe zu §§ 6–8 BBodSchV - Anforderungen an das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden

In der novellierten Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) wird in den §§ 6–8 das Auf- und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden neu geregelt. Eine wichtige Änderung ist, dass das Auf- und Einbringen um den Bereich „unterhalb und außerhalb einer durchwurzelbaren Bodenschicht“ erweitert wurde.

Damit die neuen bodenschutzrechtlichen Anforderungen einheitlich umgesetzt werden, hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) eine umfangreiche Vollzugshilfe zur Thematik herausgegeben, die die bisherige LABO-Vollzugshilfe zu § 12 BBodSchV (alte Fassung) ersetzt. Nach Abstimmungen mit den Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaften Abfall (LAGA) und Wasser (LAWA) sowie dem Bund-Länder-Ausschuss Bergbau (LAB) wurde der Vollzugshilfe auf der 64. LABO-Sitzung zugestimmt und auch die Umweltministerkonferenz (UMK) hat diese zur Kenntnis genommen sowie der Veröffentlichung zugestimmt. In Hessen wurde die aktuelle Fassung (Stand 10.08.2023) vom Hessischen Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU) mit Erlass vom 08.04.2024 für einen einheitlichen und praktikablen Vollzug zur Anwendung empfohlen.

Die Vollzugshilfe untergliedert sich in drei Teile. Nach einer Einführung beinhaltet sie ein Ablaufschema für die Einzelfallprüfung der Zulässigkeit entsprechender Maßnahmen. Im dritten Teil der Vollzugshilfe sind textliche Ausführungen und Erläuterungen zu den wesentlichen Regelungen und Anforderungen der §§ 6–8 BBodSchV zu finden, die mit dem Ablaufschema verlinkt sind und es mit fachlichen Erläuterungen unterlegen.

Die neue Vollzugshilfe steht auf der Webseite der LABO zum Download zur Verfügung:

https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-Vollzugshilfe_%C2%A7%C2%A7_6-8_BBodSchV_10-08-2023.pdf



Ständiger Ausschuss „Recht“ (BORA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Übersicht über ordnungsrechtliche Instrumente zum vorsorgenden Bodenschutz

Da der vorsorgende Bodenschutz trotz vorhandener Handlungshilfen und positiver Erfahrungswerte in der Praxis häufig unzureichend berücksichtigt wird, hat eine Kleingruppe des ständigen Ausschusses „Recht“ der LABO, in der auch ein hessischer Vertreter mitgearbeitet hat, im letzten Jahr eine Übersicht über ordnungsrechtliche Instrumente zum vorsorgenden Bodenschutz herausgegeben. Dieses Papier soll den Vollzugsbehörden verschiedene Möglichkeiten aufzeigen, wie die Belange des vorsorgenden Bodenschutzes unabhängig von den laufenden Arbeiten zur Novellierung des Bodenschutzrechtes auch bereits nach geltendem Recht über anderweitiges Fachrecht in behördliche Entscheidungsprozesse

eingebraucht werden können. Denn neben dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) kann Bodenschutz über viele andere Gesetze durchgesetzt werden. Dies gilt insbesondere auch



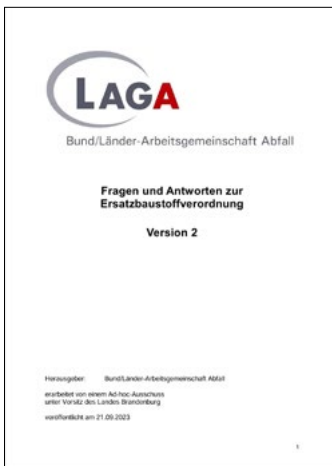
für bodenbezogene Gefahren, die präventiv abzuwenden sind.

Die LABO hat dem Übersichtspapier auf ihrer 64. Sitzung zugestimmt; auch die Umweltministerkonferenz (UMK) hat es zur Kenntnis genommen und der Veröffentlichung zugestimmt. Die Übersicht

kann auf der Webseite der LABO unter folgender Adresse abgerufen werden:

https://www.labo-deutschland.de/documents/Uebersicht_ueber_ordnungsrechtl-_Instrumente_zum_vors-_Bodenschutz_15-06-2023.pdf

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA): Fragen und Antworten zur Ersatzbaustoffverordnung - Version 2



Seit August 2023 ist die neue Ersatzbaustoffverordnung (ErsatzbaustoffV) in Kraft. Nach Zustimmung der Umweltministerkonferenz (UMK) hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) eine Informationsbrochure mit „Fragen und Antworten zur

Ersatzbaustoffverordnung“ veröffentlicht, die über die wichtigsten Regelungen informiert und den Vollzug bei der Auslegung der Regelungen unterstützen soll.

Der Fragen-und-Antworten-Katalog ist strukturiert nach den einzelnen Paragraphen der Verordnung und befasst sich mit allen Regelungsabschnitten der ErsatzbaustoffV. Er beantwortet unter anderem Fragen zum Anwendungsbereich, zu den Anforderun-

gen an die Güteüberwachung sowie zur Probenahme, -aufbereitung, -analytik und die Bewertung der Untersuchungsergebnisse. Auch Anzeigepflichten und die Dokumentation im neu eingeführten Ersatzbaustoffkataster werden thematisiert. Daneben beinhalten die Informationen ein umfangreiches Glossar sowie ein Prüfschema zum Anwendungsbereich von Ersatzbaustoffverordnung und Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung.

Die 71 Seiten umfassenden „Fragen und Antworten“ stehen auf der Internetseite der LAGA zur Verfügung:

https://www.laga-online.de/documents/fragen-und-antworten-zur-ersatzbaustoffverordnung-version-2_1695283839.pdf

Die LAGA plant, die „Fragen und Antworten zur Ersatzbaustoffverordnung“ im Sinne einer Vollzugshilfe weiter fortzuschreiben, um neue Fragestellungen zu ergänzen oder Hinweise gegebenenfalls anzupassen. Eine Veröffentlichung der Version 3 erfolgt voraussichtlich Ende 2024.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU): Methodensammlung Feststoffuntersuchung Version 3.0

Die chemische und physikalische Untersuchung von Boden und Grundwasser ist elementarer Bestandteil bei der Altlastenbearbeitung. Da aufgrund von Altlastenuntersuchungen Entscheidungen mit hoher ökologischer und ökonomischer Tragweite getroffen werden, müssen die Untersuchungen hohen Qualitätsanforderungen genügen. Hierfür sind – neben den Anforderungen an die beauftragten Untersu-

chungsstellen – Analysenverfahren erforderlich, mit denen sich die betreffenden Stoffe in den jeweiligen Umweltkompartimenten zuverlässig bestimmen lassen.

Für eine Vielzahl an Parametern sind in der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) entsprechende Verfahren aufgeführt, die zur Unter-

suchung heranzuziehen sind. Andere, gleichwertige Verfahren dürfen u. a. dann angewendet werden, wenn die Gleichwertigkeit durch den FBU festgestellt wurde. Der beim Umweltbundesamt angesiedelte FBU besteht aus Experten von Bundes- und Landeseinrichtungen sowie privaten Untersuchungs- und Forschungsdienstleistern und wurde im Jahr 2000 durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (heute: BMUV) einberufen.

Eine Hilfestellung bei der Auswahl von Analyseverfahren kann die vom FBU und dem Forum Abfalluntersuchung, einem Fachgremium der LAGA, veröffentlichte Methodensammlung Feststoffuntersuchung (Methosa) geben. Diese enthält im Hauptteil eine Auflistung von Untersuchungsverfahren aus boden- und abfallrechtlichen Regelungen sowie weiteren, aktuellen Verfahren, die als gleichwertig bzw. fortschrittlich angesehen werden, aber (noch) nicht in den jeweiligen Regelwerken genannt sind. Zu jedem gelisteten Verfahren sind Bewertungen durch die beiden Fachgremien sowie Rechtsbezüge und weitere wichtige Informationen zum Anwendungsbereich enthalten.

Zur Auswahl von Untersuchungsverfahren richtet sich die Methosa vornehmlich an Vollzugsbehörden sowie Auftraggeber, Gutachter und Untersuchungsstellen. Zudem spricht sie auch den jeweiligen Verordnungsgeber an, der dadurch sowohl veraltete als auch neue, fortschrittliche Verfahren identifizieren und bei der zukünftigen Erstellung oder Änderung

von Regelwerken berücksichtigen kann.

Durch die Empfehlung von Verfahren in der Methosa stellt der FBU die Gleichwertigkeit im Sinne des § 24 Absatz 11 der BBodSchV fest. Diese Feststellung wird auch im Bundesanzeiger veröffentlicht.



Die Weiter- und Neuentwicklung von Normverfahren sowie die Dynamik in der Regelsetzung machen eine regelmäßige Aktualisierung der Methosa erforderlich. Die „AG Methodenfortschreibung und Harmonisierung“ aus FBU und LAGA-Forum Abfalluntersuchung, in der auch das HLNUG vertreten ist, hat die überarbeitete und aktualisierte Version 3.0 der Methosa Ende 2023 fertiggestellt. Die Methosa ist auf den Seiten des FBU und der LAGA veröffentlicht:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/methosa_3-0_20231013.pdf

https://www.laga-online.de/documents/anlage-2-methosa-30_1715156681.pdf

Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienst und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Bodenkundliche Kartieranleitung (6. Auflage)

Die Bodenkundliche Kartieranleitung ist der gebräuchlichste und anerkannte Standard zur Beschreibung und Kartierung von Böden. Daneben bildet sie vielfach die Grundlage der bodenkundlichen Fachinformationssysteme. Sie wird herausgegeben von den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland (SGD) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Die erste Auflage erschien 1965 als Anleitung zur Herstellung der Bodenkarte im Maßstab 1 : 25 000. In den folgenden Auflagen wurde der Umfang ständig erweitert und neue wissenschaftliche

Erkenntnisse berücksichtigt. Nach der 5. Auflage aus dem Jahr 2005 erscheint nun mit der 6. Auflage eine komplett überarbeitete und erweiterte Ausgabe.

Die Kartieranleitung erscheint erstmalig in zwei Bänden. Der Band 1 umfasst die Grundlagen, Kennwerte und Methoden. Der Band 2 dient der Geländeaufnahme und enthält die Schlüssellisten zur Bodenaufnahme sowie die Boden-, Humusformen- und Substratsystematik. Gegenüber der 5. Auflage sind zwei inhaltliche Aspekte besonders hervorzuheben. Es werden neue

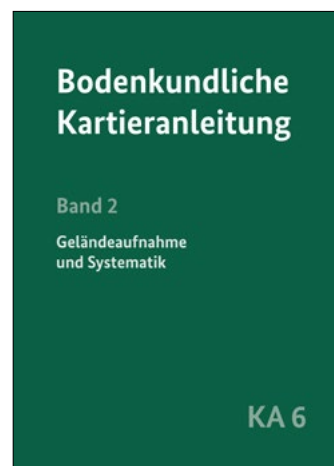


Kennwerte der Wasserbindung berücksichtigt. Diese werden in Hessen bereits bei den Bodenflächendaten im Maßstab 1 : 50 000 (BFD50) zur Ableitung der Bodenfunktionen verwendet. Die Bodensystematik hat eine grundlegende Reform erfahren. Bei den mineralischen Böden

sind z. B. die Klassen der Andosole und Rheosole mit drei Bodentypen neu hinzugekommen. Die organischen Böden werden in einer Abteilung zusammengefasst und wurden wesentlich überarbeitet und ergänzt. Statt festgelegter Horizontabfolgen werden nun diagnostische

Horizonte zur Bestimmung der Bodentypen verwendet.

Möge die neue Kartieranleitung weiterhin vielen Bodenkundlern, Geografen, Geologen und anderen Interessierten ein geeignetes Instrument für die Praxis sein.



Die Bodenkundliche Kartieranleitung ist im Verlag Schweizerbart erschienen und über den Buchhandel zu einem Preis von 24 € erhältlich (ISBN 978-3-510-96869-5).

Sonja Medwedski: Die Stimme des Bodens - Alles über unseren sonst so stillen Nachbarn (Hörbuch, gelesen von Bodo Henkel)



Vor zwei Jahren erschien „Die Stimme des Bodens“ im Buchformat – nun ist sie auch als Hörbuch erhältlich. Mit ihrer Produktion möchte die Autorin und Bodenkundlerin Sonja Medwedski das

Imageproblem des Bodens bekämpfen und Aufklärungsarbeit leisten, damit dem Boden endlich die Wertschätzung zukommt, die er aufgrund seiner vielfältigen Funktionen für unsere Gesellschaft eigentlich verdient. Dabei soll der fachliche Inhalt aber nicht schwerverdaulich wissenschaftlich vermittelt werden, sondern auf eine „locker-leichte Art“. Das gelingt durch einen Perspektivwechsel, indem der Boden selber zu Wort kommt und im Plauderton spannende Einblicke in seine unterirdische Welt liefert und aus seinem Alltag mit dem Menschen erzählt.

So erfahren wir eingangs einiges über seine Bestandteile, seine Entstehungsgeschichte und seine zahlreichen „Familienmitglieder“, die verschiedenen Bodentypen und ihre Horizonte. Außerdem vermittelt uns der Boden, welche wichtige Rolle er als

Speicher für Wasser, Humus und Nährstoffe, aber auch menschlich eingebrachte Schadstoffe spielt, inwiefern er uns beim Klima- und Hochwasserschutz unterstützt und vor allem, wie wichtig er für unsere Ernährung ist. Im Anschluss kommen in vielen amüsanten Anekdoten der Gartenboden, der Ackerboden, der Waldboden und der Moorboden, aber auch der Stadtboden, der Festivalboden und der Friedhofsboden zu Wort.

Sonja Medwedski ist ein humorvolles, unterhaltsames und trotzdem informatives (Hör-)Buch gelungen, in dem der Synchronsprecher Bodo Henkel dem Boden eine wunderbar „erdige“ Stimme verleiht. Wer fachlich doch tiefer einsteigen will, für den werden zu jedem thematischen Kapitel zumindest im Buch auch weiterführende Literaturhinweise gegeben.

Das Hörbuch „Die Stimme des Bodens“ ist auf allen bekannten Online-Portalen verfügbar: Spotify, YouTube, Thalia, Audible, iTunes; Spieldauer: 6:36 Stunden.

Das gedruckte Buch ist 2022 im Wissenschaftsverlag Springer erschienen und über den Buchhandel zum Preis von 22,99 € erhältlich (ISBN-10 3662655128).

Interessantes und Wissenswertes

HLNUG-Altlastenseminar am 25. und 26. Juni 2024 in Marburg

Am 25. und 26. Juni 2024 fand das Altlastenseminar des HLNUG „Altlasten und Schadensfälle - neue Entwicklungen“ im Technologie- und Tagungszentrum in Marburg statt, welches gemeinsam mit dem Bildungsseminar Rauschholzhausen ausgerichtet wurde.

In Fachvorträgen von Referenten aus Wirtschaft und öffentlicher Hand wurden den ca. 100 Teilnehmenden Einblicke in neue Entwicklungen zu den Themenkomplexen Innovative Erkundungs- und Sanierungstechniken, Analytik, Arbeitshilfen und weiteren aktuellen Themen mit Bezug zu Altlasten und Bodenschutz vermittelt.

Der Seminarband mit den Vorträgen des Altlastenseminars ist auf der Homepage des HLNUG unter folgender Adresse abrufbar:

https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/annual/Seminarband_Altlastenseminar_2024.pdf

Herzlichen Dank an alle Referenten, Tagungsteilnehmenden und an das Organisationsteam.



Abb. 1: Das Altlastenseminar fand dieses Jahr in Marburg statt
© HLNUG

Fortbildung im Umweltsektor am 29. Oktober 2024 in Marburg: Bodenerosion durch Wasser - Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis

Am 29. Oktober 2024 findet die Fortbildungsveranstaltung „Bodenerosion durch Wasser – Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis“ in der Waggonhalle in Marburg statt, die mit Unterstützung des Bildungsseminars Rauschholzhausen ausgerichtet wird.

Die Veranstaltung richtet sich in erster Linie an Bodenschutzbehörden, die für den Vollzug des BBodSchG und insbesondere der Gefahrenabwehr von Bodenerosion in Hessen zuständig sind.

Im Rahmen von Fachvorträgen werden neue, vollzugsrelevante Erkenntnisse der Bewertung von Bodenerosion durch Wasser vorgestellt. Darüber hinaus werden Möglichkeiten und Hilfsmittel zum Erosionsschutz aufgezeigt. Letztlich soll die Veranstaltung auch eine Plattform zum gemeinsamen Austausch

von Erfahrungen und Fragen im Zusammenhang mit Verfahren der Gefahrenabwehr von Bodenerosion in Hessen bieten.

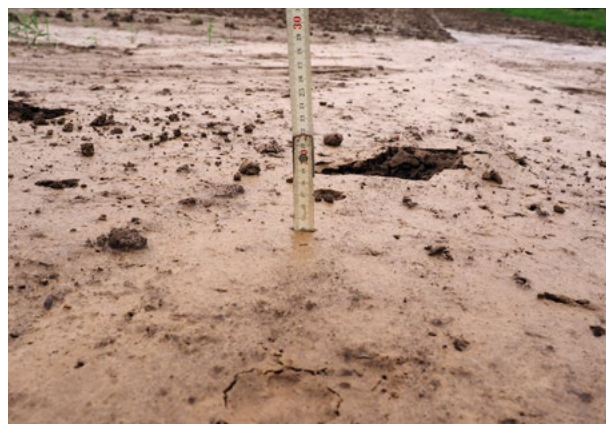


Abb. 2: Abgelagertes Bodenmaterial nach einem Erosionsereignis
© HLNUG

Frühjahrstreffen des Hessischen Forums Landwirtschaft und Boden am 21. März 2024 in Bad Hersfeld

Beim diesjährigen Frühjahrstreffen des Hessischen Forums Landwirtschaft und Boden (HFLB) am Landwirtschaftszentrum Eichhof in Bad Hersfeld stand das Themenfeld Bodenerosion durch Wasser im Fokus. Experten und Behördenvertreter aus den Bereichen Landwirtschaft und Bodenschutz sowie Praktiker aus dem landwirtschaftlichen Bereich nahmen an dieser vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) organisierten Veranstaltungsreihe teil.

Zunächst führte das HLNUG in die Erosionsthematik ein und erläuterte die grundlegende Methodik zur Abschätzung und Bewertung der Erosionsgefährdung mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG). Der LLH berichtete anschließend über aktuelle Feldbeobachtungen zur Bodenstruktur von Praxis schlägen in Abhängigkeit der jeweiligen Bewirtschaftung und deren Effekte auf erosionsbedingte Bodenabträge. Danach wurden aus wis-

senschaftlicher Sicht Einblicke in Neuerungen zur Erosionsabschätzung mittels der ABAG gegeben. Außerdem wurde „ABAG-Interaktiv“ als ein Online-Tool zur individuellen Berechnung von Bodenabträgen auf Grundlage der ABAG vorgestellt. Im Anschluss gab es Gelegenheit für Fragen und zur ausführlichen Diskussion der vorgestellten Inhalte.



Abb. 3: Mitglieder des Hessischen Forums Landwirtschaft und Boden (HFLB) © LLH

Auswertungen von Daten der Intensiv-Messstelle Frankfurt Flughafen in Kooperation mit der Technischen Universität Darmstadt

Die Boden-Dauerbeobachtung ist ein Langzeit-Programm zur Untersuchung des Bodenzustands und seiner weiteren Entwicklung und stellt damit ein zentrales Element der Umweltbeobachtung dar. Im Rahmen der hessischen Boden-Dauerbeobachtung betreibt das HLNUG an einem Waldstandort im direkten Umfeld des Frankfurter Flughafens eine Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche (<https://www.hlnug.de/themen/boden/erhebung/boden-dauerbeobachtung/intensiv-boden-dauerbeobachtung-flughafen-frankfurt-am-main>).

Neben 5-jährig wiederkehrenden Bodenuntersuchungen werden dort kontinuierlich Stoffeinträge aus der Atmosphäre und Stoffausträge mit dem Sickerwasser gemessen, um Stoffbilanzen zu erstellen. Dazu besteht seit 2023 eine neue Forschungskooperation mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt. Im Rahmen einer Masterarbeit sollen langjährig erhobene Zeitreihen zur Deposition und Stoffdynamik von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) und Polychlorierten Biphenylen (PCB) unter-

sucht werden. Außerdem fließen vor Ort ermittelte bodenhydrologische Parameter (Bodenfeuchte, Grundwasserdynamik und Gebietsniederschlag) zur Modellbildung in ein Dissertationsprojekt ein, das sich mit der Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags bei Starkregenerereignissen befasst.



Abb. 4: Blick auf die hessische Intensiv-Messstelle Frankfurt Flughafen © LUBW

Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) - Themenschwerpunkt 2024 „Boden“

Die Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) hat zum Ziel, Lernende aller Altersgruppen in die Lage zu versetzen, Wissen, Fähigkeiten und Einstellungen für ein nachhaltigeres Leben zu entwickeln, Konsum- und Produktionsmuster zu verändern, sich eine gesündere Lebensweise anzueignen und zum Wandel unserer Gesellschaft beizutragen. Sie ist ein zentraler Schwerpunkt der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie. So hat das Hessische Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt im Jahr 2020 mit 15 außerschulischen, regional bedeutsamen Umweltbildungs- und Nachhaltigkeitszentren den BNE-Pakt geschlossen, um BNE-Angebote zu verstetigen und weiterzuentwickeln, die landesweite Vernetzung zu stärken und die Qualitätsentwicklung außerschulischer Lernorte wie regionale Natur- und Umweltbildungszentren voranzutreiben. Darüber hinaus fließen die Fördermittel über die einzelnen Zentren auch zu den Partnern der regionalen BNE-Netzwerke in Hessen. Zu den beteiligten Akteuren gehören beispielsweise das Naturpädagogische Zentrum der Fasanerie Wiesbaden, das AZN - Naturerlebnishaus Heideberg e. V. im Vogelsberg oder Umweltlernen in Frankfurt e. V.



Abb. 5: Themenschwerpunkt „Boden“ im diesjährigen BNE-Pakt in Hessen © HMLU

Im Jahr 2024 behandelt der BNE-Pakt den Themenschwerpunkt „Boden“. Verschiedene Bildungsakteure werden deshalb dieses Jahr weit über 100 Bildungsangebote mit einer Vielzahl inhaltlicher und methodischer Zugänge zu diesem Themenfeld anbieten: In der Werkstattreihe „Boden“ untersuchen Grundschulkin- der in Wiesbaden die spezifischen Beschaffenheiten von Böden und die darin lebenden Organismen und entwickeln damit ein Bewusstsein für den Erhalt gesunder Böden für Biodiversität und Nahrungsmittelsicherheit. Auf einer geologischen Wanderung auf dem Erzweg Nord lernen Jugendliche und Erwachsene wie Vulkanismus, Eiszeit, Erosion und Eisenerzbergbau den Vogelsberg formten. In Frankfurt finden mehrere Workshops zu den Ursachen und Auswirkungen von Bodenverbrauch und Flächenversiegelung durch Bebauung sowie möglicher Alternativen statt. In einem Pilotprojekt werden darüber hinaus Fortbildungen für ehrenamtliche Entsiegelungspaten in einzelnen Stadtquartieren durchgeführt.

Für die BNE zuständig im Bereich des „non-formalen“ Lernens ist das Hessische Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt, Weinbau, Forsten, Jagd und Heimat (HMLU). Die Bildungsprojekte verbinden die vielfältigen Themen des Ministeriums, wie z. B. Abfall, Biodiversität, Böden, Klimaschutz, Landwirtschaft, Ernährung und Verbraucherschutz, und vermitteln sie zielgruppengerecht an Kinder, Jugendliche und Erwachsene. Um pädagogische Angebote landesweit umzusetzen, arbeitet das Ministerium in Netzwerken mit Vereinen, Verbänden, Wirtschaft oder Wissenschaft zusammen.

Weitere Informationen zur BNE in Hessen finden Sie auf folgenden Webseiten:

<https://umwelt.hessen.de/bildungsangebote/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung>

<https://www.hessen-nachhaltig.de/bildung-fuer-nachhaltige-entwicklung.html>

Dem Boden eine Stimme geben - das Projekt „Sounding Soil“

Es quietscht, kratzt, schmatzt und brummt – das Schweizer Forschungs-, Sensibilisierungs- und Kunstprojekt "Sounding Soil" macht hörbar, wie viel Leben sich im Boden unter unseren Füßen befindet. Dazu haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein Gerät entwickelt, mit dem die Geräusche im Boden tausendfach verstärkt werden, so dass Laute wahrgenommen werden können, die das menschliche Ohr normalerweise nicht hören kann. Mit dem Kooperationsprojekt der Stiftung Biovision, der Zürcher Hochschule der Künste, der ETH Zürich sowie weiterer Forschungsinstitutionen soll die Aktivität und Vielfalt des Lebens im Ökosystem Boden erlebbar und erforschbar gemacht werden – mit dem Ziel, das öffentliche Bewusstsein für den Boden und seine Biodiversität zu sensibilisieren und zu stärken.

Auch mit Hilfe eines „Citizen Science“-Projektes, in dessen Rahmen die Aufnahmegeräte mit Mikrofon leihweise zur Verfügung gestellt wurden, konnten bis heute sehr viele unterschiedliche Böden untersucht werden. So gibt es inzwischen Tonaufnahmen von Weiden, Äckern, Wäldern, Rebbergen, Obstgärten, Schrebergärten, Blumenwiesen, Komposthaufen und Golffrasen aus der ganzen Schweiz, die auf einer interaktiven „Soundmap“ verzeichnet sind und die Klangwelt der Schweizer Böden zu Hause hörbar

machen. Im Rahmen des Projektes können außerdem mobile Hörstationen, bestehend aus Holzkisten mit Kopfhörern, mit denen aufgezeichnete Bodengeräusche von fünf unterschiedlichen Standorten erlebbar sind, ausgeliehen werden.

Bisherige Forschungsergebnisse des Projektes bestätigen einen Zusammenhang zwischen der Vielfalt der Bodentöne und dem Artenreichtum der Bodenfauna, wenn auch die Geräusche überwiegend noch nicht einzelnen Bodenlebewesen zugeordnet werden können. Dabei kann die Landnutzung deutliche Auswirkungen auf die Bodengeräuschkulisse haben – verschieden bewirtschaftete Böden hören sich unterschiedlich an. Die meisten Geräusche entstehen vermutlich durch die Bewegung der Bodentiere durch die Bodenmatrix oder beim Fressen. Es scheint aber auch Kommunikationsgeräusche zu geben.

Weitere Informationen zu „Sounding Soil“, die interaktive „Soundmap“ der Schweiz mit Hörbeispielen sowie Unterrichtsmaterialien zum Thema Boden für Lehrpersonen werden auf den Webseiten des Projektes zur Verfügung gestellt:

<https://www.soundingsoil.ch/>



Abb. 6: Sensoren für die Aufnahme der Bodengeräusche © M. Maeder

Soilcast - der tiefgründige Podcast

Der Soilcast ist der erste und bisher einzige Podcast im deutschsprachigen Raum, der sich vor dem Hintergrund der Wissenschaftskommunikation umfassend mit dem Thema Boden beschäftigt. Host von Soilcast ist Christoph Genzel, weiterhin sind zwischenzeitlich sechs Co-Hosts im interdisziplinären Team, die allesamt Mitglieder der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (DBG) sind.

Inzwischen umfasst der Podcast bereits über 100 Folgen. Durchschnittlich wird wöchentlich mindestens eine neue Folge herausgegeben. Dabei beinhaltet der Podcast drei Formate: Zum einen wird in „Lehrbuchfolgen“, die sich an Lernende und Interessierte richten, bodenkundliches Wissen vermittelt – beispielsweise gibt es Folgen zu den The-

men „Bodenarten und Bodentypen“, „Humus“ oder „Bodenverdichtung“. Die meisten Folgen umfasst das Format der sogenannten „SoilTalks“, ein Dialogformat, in denen jeweils zwei Mitglieder des Teams in der Regel eine wissenschaftliche Studie detailliert besprechen. In dieser Reihe gibt es aber z. B. auch Folgen zu bodenkundlichen Berufsfeldern. Als drittes Format werden Interviews mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen Bereichen der Bodenkunde oder aus der Praxis veröffentlicht.

Zu finden ist der Soilcast unter www.soilcast.de und Spotify, weiterhin ist er auf verschiedenen Social-Media-Plattformen wie Facebook, Instagram, LinkedIn oder Bluesky vertreten.



Abb. 7: Der Soilcast präsentiert bodenkundliches Grundwissen und aktuelle Boden-Themen © L. Kühl

SAVE LAND. UNITED FOR LAND - Ausstellung in der Bundeskunsthalle Bonn vom 6. Dezember 2024 bis 9. Juni 2025

Land ist eine entscheidende Grundlage für das Leben auf unserem Planeten. Der Boden ist das lebenserhaltende Bindeglied zwischen Erdklima und biologischer Diversität und bietet eine Vielzahl von verschiedenen Ökosystemen, die es wiederherzustellen und zu bewahren gilt. Als Grundlage landwirtschaftlicher und industrieller Nutzung ist der Boden und das Land jedoch von einer verheerenden Übernutzung bedroht: Bereits die Hälfte der Menschheit ist von den negativen Auswirkungen der Landdegradation betroffen. Deshalb muss Land, in all seinen Bedeutungen für unser Leben, wieder ins Zentrum unseres Handels gelangen, um den

wirtschaftlichen und sozialen Raubbau an den Landressourcen einzudämmen.

Anlässlich des 30-jährigen Bestehens des Übereinkommens der Vereinten Nationen zur Bekämpfung der Wüstenbildung (United Nations Convention to Combat Desertification – UNCCD) thematisiert die interdisziplinäre Ausstellung „Save Land. United for Land“, die ab Dezember 2024 in der Bundeskunsthalle in Bonn stattfindet, diese Problematik. Die UNCCD-G20 Global Land Initiative plant, bis 2030 weltweit eine Milliarde Hektar Land zu renaturieren. Um das öffentliche Bewusstsein für das wich-

tige Thema zu sensibilisieren und die ökologischen Probleme und Potenziale der vom Menschen beeinflussten Umwelt begreiflich zu machen, werden Exponate aus Kunst, Naturwissenschaft und Kulturgeschichte zu sehen sein. Dabei verwendet die Ausstellung neueste Medientechnologie – so können die Besucherinnen und Besucher das Thema „Land“ unter anderem in einem Panoramakino und interaktiv gestalteten Umwelten erleben und erkunden.

Nähere Information zur Ausstellung sind erhältlich unter:

<https://www.bundeskunsthalle.de/ausstellungen>



Abb. 8: Die Ausstellung SAVE LAND. UNITED FOR LAND findet in der Bundeskunsthalle Bonn statt



Hessisches Landesamt für
Naturschutz, Umwelt und Geologie
Für eine lebenswerte Zukunft

www.hlnug.de

