



Boden und Altlasten - Nachrichten aus Hessen

Ausgabe 2025



Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen

Wiesbaden, 2025

Impressum

Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen – Ausgabe 2025

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

Titelbild: links oben: HLNUG
rechts oben: DeSoto Studios
links unten: HLNUG
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

Social Media:
LinkedIn: linkedin.com/company/hlnug
Instagram: [@hlnug_hessen](https://www.instagram.com/@hlnug_hessen)
YouTube: [@HLNUG_Hessen](https://www.youtube.com/@HLNUG_Hessen)

www.hlnug.de

Inhalt

Impressum.....	2
Vorwort	4
Boden des Jahres 2025 – Die Rendzina	5
Boden on Tour – Die Bodenwanderausstellung des HLNUG	9
Untersuchungen von Standorten der hessischen Boden-Dauerbeobachtung auf Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS).....	19
Neubebauung trotz Grundwasserkontamination?	34
Neues Excel-Tool zur Prüfung des PAK-Musters.....	39
Zahlen und Fakten 2025	43
Neuerscheinungen	47
Interessantes und Wissenswertes	55

Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser, ich freue mich, Ihnen die fünfte Ausgabe unserer Reihe „**Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen**“ präsentieren zu können. Wieder gibt es vielerlei Interessantes zu berichten, sowohl zum Thema Altlasten als auch zum Thema Bodenschutz.

Im ersten Beitrag wird der aktuelle **Boden des Jahres** vorgestellt. Für 2025 fiel die Wahl auf die Rendzina. Dieser Boden kommt auf Kalk- und Dolomitgestein vor und ist in Hessen vor allem in den nördlichen und östlichen Landesteilen zu finden. Rendzinen sind oftmals Standorte für schützenswerte Biotope, die seltenen Arten einen Lebensraum bieten.

Der Boden on Tour – unter diesem Motto wird die **Bodenwanderausstellung des HLNUG** vorgestellt. Verschiedene Ausstellungsmaterialien wie Fühlkisten oder 3D-Bodenquader bringen der Öffentlichkeit das Schutzgut Boden näher. Die Exponate werden 2026 mit einer Poster-Serie zum „Boden des Jahres 2026“ ergänzt, für den das Land Hessen ab dem 05. Dezember, dem Tag des Bodens, die Schirmherrschaft übernimmt.

Ein wichtiges Thema bleibt die Schadstoffgruppe der **per- und polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS)**. Im diesjährigen Heft werden die Untersuchungsergebnisse hessischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen auf PFAS vorgestellt und bewertet.

Neubebauung trotz Grundwasserkontamination? Diese Problematik wird im vierten Artikel des Heftes beleuchtet, welcher eine Arbeitshilfe vorstellt, die Anfang des Jahres 2025 veröffentlicht wurde. Sie ist eine wertvolle Hilfe um bei leichtflüchtigen

Schadstoffen im Grundwasser eine mögliche Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden auszuschließen.

Ein weiteres Themenfeld der Altlastenbearbeitung stellt die Stoffgruppe der Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) dar. PAK entstehen durch unvollständige Verbrennung organischer Stoffe wie z. B. Kohle, Öl oder Holz und sind oft krebsereggend. Sie sind schwer abbaubar und reichern sich daher in der Umwelt an. In diesem Artikel wird ein neues **Excel-Tool** vorgestellt, mit dem überprüft werden kann, ob ein für Altlastenstandorte typisches **PAK-Muster** vorliegt und damit die Prüfwerte der Bodenschutzverordnung angewendet werden dürfen.

Im letzten Artikel werden Entwicklungen bei der Altlastenbearbeitung dargestellt, die aus dem Datenpool der **Altflächendatei** abgeleitet werden können. Auch nach mehr als 30 Jahren der Altflächen erfassung besteht weiterhin Handlungsbedarf. Es zeigt sich jedoch auch, dass bei der systematischen Altlastensanierung in Hessen bereits sehr viel erreicht wurde.

In der Rubrik „Interessantes und Wissenswertes“ finden Sie spannende Informationen zu weiteren aktuellen Projekten sowie Fortbildungsveranstaltungen des Dezernates G3. Die Vorstellung interessanter hessischer und bundesweiter Publikationen aus dem Bereich Boden und Altlasten vervollständigen den diesjährigen Band.

Ich wünsche Ihnen eine informative und anregende Lektüre und bedanke mich herzlich bei allen, die zum Gelingen dieser Ausgabe beigetragen haben.

Thomas Schmid

Prof. Dr. Thomas Schmid
Präsident des Hessischen Landesamtes für Naturschutz,
Umwelt und Geologie

Boden des Jahres 2025 - Die Rendzina

LENA JEDMOWSKI*

1 Einleitung

Die Rendzina wurde für das Jahr 2025 als Boden des Jahres ausgewählt. Am Beispiel dieses Bodentyps wird auf die besondere Bedeutung und die Schutzbedürftigkeit von Böden aufmerksam gemacht. Bei der Rendzina als flachgründigem Boden steht weniger die menschliche Nutzung und Nutzbarkeit,

sondern mehr die Wertschätzung der ökologischen Bedeutung des Bodens im Vordergrund. Außerdem zeigt die Rendzina eindrucksvoll, dass das Vorkommen von Böden an spezifische Standortbedingungen, in diesem Fall das Untergrundgestein, gebunden ist.

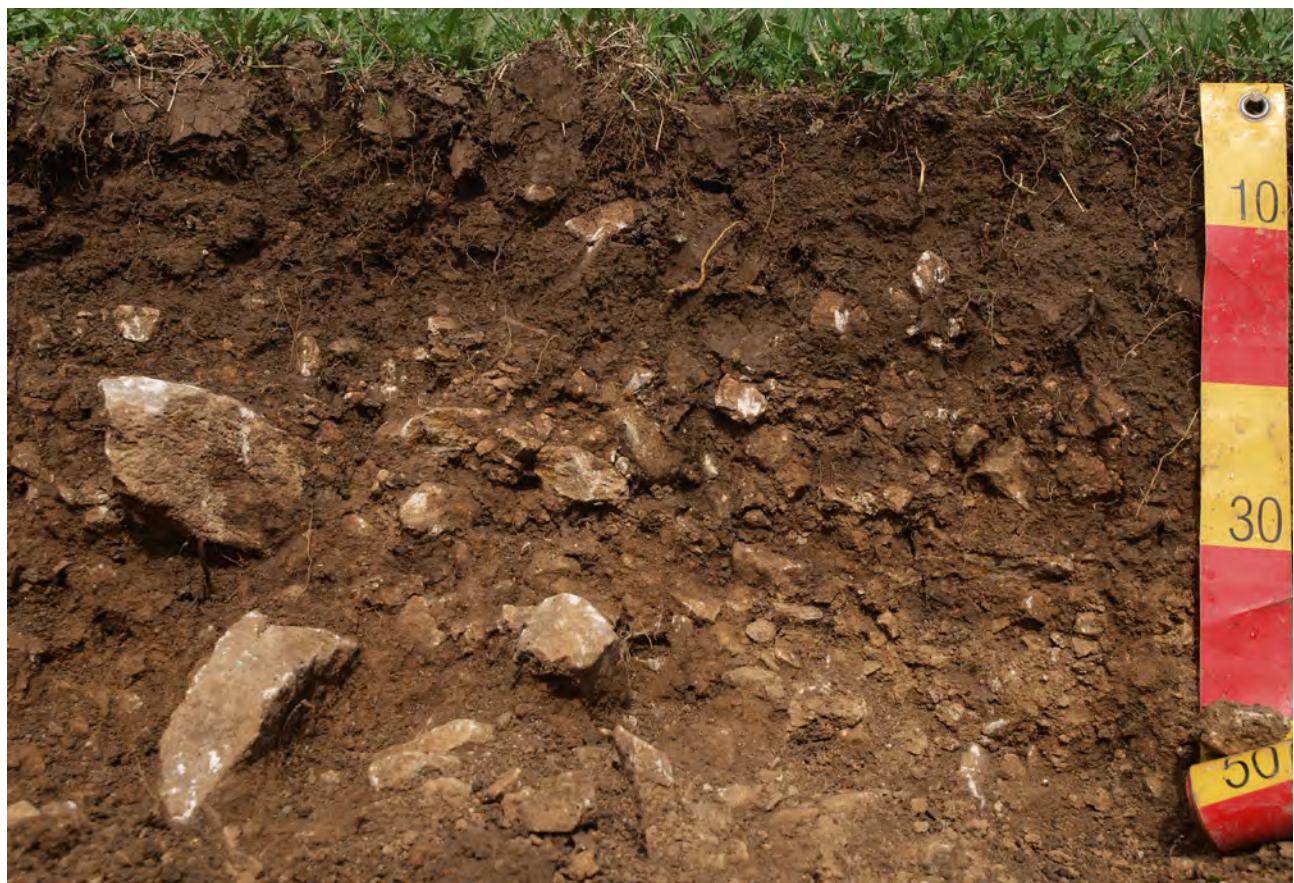


Abb. 1: Rendzina aus Kalkstein (Muschelkalk) © HLNUG

2 Vorkommen und Entstehung

Rendzinen kommen bundesweit vor, sind aber an Kalk- oder Dolomitgesteine als Ausgangsgesteine gebunden. In Hessen sind Rendzinen vor allem in Nord- und Osthessen verbreitet, wo Gesteine des

Muschelkalks und des Zechsteins anstehen. Außerdem kommen sie auf devonischen Massenkalken entlang der Lahn im westlichen Hessen vor.

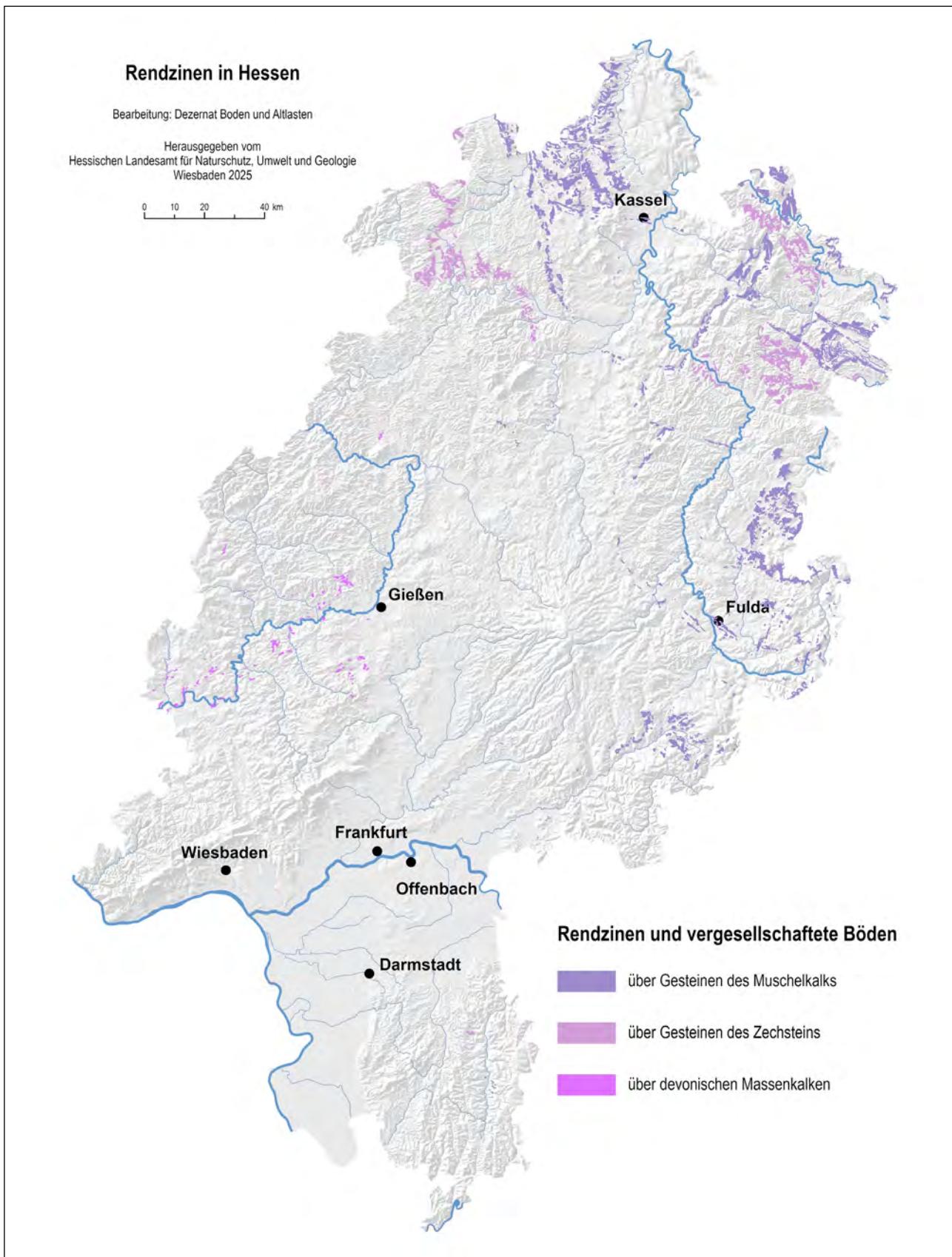


Abb. 2: Verbreitung von Rendzinen in Hessen © HLNUG

3 Eigenschaften und Funktionen

Diese dünne Haut bietet zwar einen hohen Nährstoffgehalt, ist aber im Gegenzug sehr trockenheitsanfällig. Sie kann nur geringe Mengen an Wasser speichern und trocknet bei ausbleibendem Niederschlag sehr schnell aus. Außerdem haben Rendzinen meist einen hohen Steingehalt. Unterhalb des obersten Horizontes folgt direkt das nicht oder nur wenig verwitterte Festgestein. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich die Bezeichnung „Rendzina“ vom polnischen Begriff für das kratzende Geräusch des Pfluges auf dem Gestein beim Bearbeiten dieser Böden ableitet. Somit eignen sich Rendzinen häufig nicht als Ackerstandorte und werden eher als Weide-, Grünland- oder Waldstandorte genutzt.

Auch die Filterwirkung für das versickernde Wasser ist in der dünnen Bodenschicht vergleichsweise gering. Dies führt in Kombination mit verkarstetem, also von Klüften durchzogenem Kalkgestein im

Untergrund, zu einem geringen Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung. Auch dies spricht für eine extensive Nutzung dieser Standorte, im Gegensatz zu einer intensiven Ackernutzung mit häufigen mechanischen Eingriffen in den Boden, Düngemittelgaben oder Gebrauch von Pflanzenschutzmitteln.

Die geringe Wasserspeicherung bildet jedoch auch eine Stärke der Rendzinen. Sie sind Standorte für schützenswerte Biotope wie Wacholderheiden und Kalkmagerrasen, die seltenen Arten wie Enzianen und Orchideen Lebensraum bieten. In Hessen findet man diese beispielhaft im Naturschutzgebiet Kripp- und Hielöcher (Berkatal, Werra-Meißner-Kreis), einem Karstgebiet am Rand des Meißners. Die Landschaft wird traditionell mit Schafen beweidet, was der Verbuschung entgegenwirkt und zu ihrem Erhalt notwendig ist.



Abb. 3: Rendzina aus Kalkstein (Muschelkalk) © HLNUG



Abb. 4: Naturschutzgebiet Kripp- und Hielöcher mit Wacholderheide, einer typischen Vegetation auf den kalkhaltigen Rendzinen © HLNUG

4 Gefährdung

Rendzinen bestehen typischerweise aus einer wenige Dezimeter mächtigen Bodenschicht und kommen meist in Hang- oder Kuppenlage vor. Hier kann Erosion, beispielsweise durch Starkregenereignisse, schnell zu einem erheblichen und unwiederbringlichen Verlust von Bodenmaterial führen. Davor schützt am besten ein ausreichender Bewuchs und eine angepasste Nutzung. Die besonderen Biotope sind ebenfalls auf eine angepasste Nutzung angewie-

sen. Hier muss insbesondere eine Verbuschung durch extensive Beweidung vermieden werden.

Neben häufigeren Starkregenereignissen nehmen durch den Klimawandel auch Trockenperioden stetig zu. Diese stellen ein hohes Gefährdungspotenzial für Rendzinen dar, die ohnehin anfällig für Trockenstress sind. Eine landwirtschaftliche Nutzung wird dadurch zusätzlich erschwert.

Weiterführende Informationen und Materialien zur Aktion „Boden des Jahres“ und zum „Boden des Jahres 2025 - Die Rendzina“ 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 zum Boden des Jahres 2025 „Die Rendzina“ in der Schweiz:

Boden des Jahres <https://www.boden-des-jahres.ch/de/2025/rendzina>

Flyer und Poster zur deutschlandweiten Aktion

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flyer-boden-des-jahres-2025-rendzina>

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/poster-boden-des-jahres-2025-rendzina>

Podcast zum Boden des Jahres 2025:

Soilcast vom 05.12.2024: SC119 A/C-Böden – Sonderfolge zum Boden des Jahres 2025

<https://soilcast.de/lehrbuchwissen/sc119-a-c-boeden/>

Boden on Tour - Die Bodenwanderausstellung des HLNUG

SYBILLE STERN, KATRIN LÜGGER*

Immer noch erfährt der Boden in unserer Gesellschaft zu wenig Aufmerksamkeit und Wertschätzung – keine unserer natürlichen Ressourcen wird so wenig beachtet, wie er. Dabei ist er unsere Lebensgrundlage: Wir siedeln auf ihm, er sorgt für das Essen auf unseren Tellern, speichert und reinigt unser Wasser und schützt unser Klima. Trotzdem wird der Boden gerne übersehen und – schlimmer noch – überbaut, verdichtet oder mit Schadstoffen verunreinigt. Alleine in Deutschland gehen beispielsweise im Mittel täglich 52 Hektar (das entspricht 73 Fußballfeldern) durch Versiegelung verloren¹.

Um der Öffentlichkeit die Lebensgrundlage Boden näher zu bringen, wurde die Bodenwanderausstellung des HLNUG entwickelt. Ihre Ursprünge liegen

im Jahr 2014, als sie für die Landesgartenschau in Gießen erstellt wurde. Im Laufe der Jahre wurde sie um verschiedene Exponate erweitert. Heute besteht sie aus einer Sammlung von Postern und Plakaten in Form von Bannerdisplays sowie Lackprofilen, 3D-Bodenquadern, Bodenhockern und Fühlkisten, die wichtige Aspekte der Bodenkunde und des Bodenschutzes anschaulich präsentieren. Die Ausstellung thematisiert einen Querschnitt von der Bodenentstehung über die Bodenbestandteile und das Bodenleben bis hin zur Charakterisierung der bodenbedingten Landnutzung und der Bodendiversität in der Landschaft. Weiterhin werden Bodenschutzaspekte aufgezeigt und mit eindrucksvollen Bodenprofilen auch das Potenzial des Bodens für den Weinanbau erläutert.

Ausstellungsmaterial Grundlagenwissen zum Thema Boden

Insgesamt sechs Poster vermitteln Grundlagenwissen zum Themenbereich Boden und erörtern zentrale Fragestellungen wie: Was ist Boden? Wie ent-

stehen Böden? Welchen Raum für Leben bietet der Boden (Abb. 1)? Es ist schwer zu glauben, aber in einer Handvoll Erde tummeln sich mehr Bodenorganismen als es Menschen auf der Welt gibt. Ausführlich beschreibt das Poster „Bodenleben und Humus“, wie diese verschiedenen Bodenlebewesen dafür sorgen, dass abgestorbenes Pflanzenmaterial in nährstoffreichen Humus umgewandelt wird.



Abb. 1: Poster zur Definition von Boden, der Entstehung von Böden und dem Bodenleben

Außerdem kann zum Themengebiet eine 1,00 m x 1,40 m große, an der Wand zu befestigende Plexiglasscheibe ausgeliehen werden, auf der sehr anschaulich die Größe und immense Anzahl der unterschiedlichen Bodenorganismen dargestellt werden (Abb. 2).

1 Statistisches Bundesamt 2024 (gleitender Vierjahresdurchschnitt 2019–2022)

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

Weitere drei Poster erläutern, aus welchen Bestandteilen Böden bestehen und welchen Einfluss die Größe der mineralischen Bodenpartikel auf die Eigenschaften von Böden haben (Abb. 3): Können sie die Pflanzen ausreichend mit Wasser und Nährstoffen versorgen? Können sie Schadstoffe binden, um ihre Verlagerung ins Grundwasser zu verhindern? Wie hoch ist die Ertragsfähigkeit der Böden? Auf den Aspekt „Der Boden als Wasserspeicher“ wird in einem separaten Poster ausführlicher eingegangen. Neben den mineralischen Bodenpartikeln werden hier die Größe und Eigenschaften verschiedener Poren (Grob-, Mittel- und Feinporen) erläutert und der Wasser- und Lufthaushalt von Ton-, Schluff- und Sandböden jeweils anhand eines anschaulichen Profilbildes dargestellt.

Sehr anschaulich kann man die Wasserdurchlässigkeit verschiedener Böden mit dem ebenfalls ausleihbaren Versickerungsgestell zeigen (Abb. 4). Wird ein Eimer mit sandigem und ein Eimer mit lehmigem bis tonigem Bodenmaterial gefüllt und dann mit Wasser begossen, kann das unterschiedliche Wasserspeichervermögen sehr gut demonstriert werden. Zusätzlich können die Eimer auch bepflanzt werden, was das Experiment noch praxisnäher macht. Darüber hinaus kann durch die Auswahl des entsprechenden Bewuchses verdeutlicht werden, welche Pflanzen auf welchen Böden gut gedeihen.

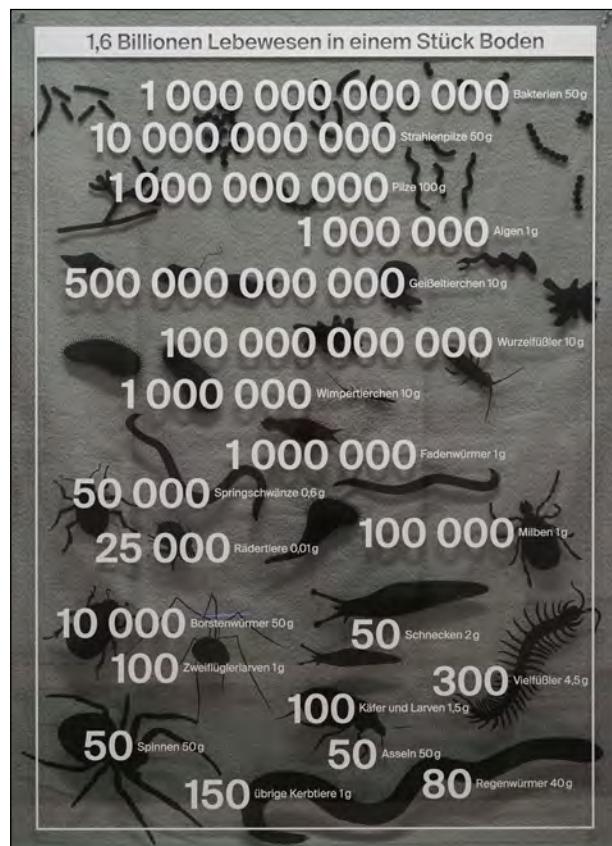


Abb. 2: Plexiglasscheibe zur Veranschaulichung der Anzahl und Vielfalt des Bodenlebens © HLNUG



Abb. 3: Poster zu den Bestandteilen, den Eigenschaften und dem Wasserspeichervermögen von Böden

Viele glauben, dass Böden einheitlich braun und relativ gleichförmig aussehen. Um diesem Eindruck entgegenzuwirken, wird auf dem Poster „Bodenvielfalt“ ein Ausschnitt der Bodenkarte des HLNUG dargestellt (Abb. 5). Er zeigt das bunte und stark differenzierte Bild verschiedener Böden in der Umgebung von Leeheim im Hessischen Ried. Sie unterscheiden sich in Bezug auf die Entstehung ihres Ausgangsmaterials, ihre Eigenschaften, den Einfluss des Wassers bei

ihrer Entwicklung sowie die bodenbildenden Prozesse, die zu ihren heutigen Ausprägungen geführt haben. Die Bodenkarten des HLNUG sind wichtige Grundlagen für den Bodenschutz, die Raumplanung, den Naturschutz, die Wassernutzung, die Hydrogeologie sowie die Land- und Forstwirtschaft. Ein weite-

res Poster thematisiert die unterschiedliche Nutzung von Böden als Acker, Grünland oder Wald in Abhängigkeit von ihren Eigenschaften sowie ihrer topographischen Lage und den am Standort herrschenden klimatischen Bedingungen.



Abb. 4: Versickerungsgestell zur Demonstration des unterschiedlichen Wasserspeichervermögens verschiedener Böden © HLNUG

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Bodenvielfalt

Der Ausschnitt einer Bodenkarte bei Lohr am Main zeigt das bunte und stark differenzierte Bild verschiedener Böden aus Flusssedimenten. Dies verdeutlicht die Vielfalt der Böden, welche die oberste Schicht unserer Landschaften bilden.

Die Bodenunterschiede unterscheiden sich in der Entstehung des Ausgangsmaterials (z.B. von Pflanzen oder Wind abgelagert), den Eigenschaften (z.B. sandig, tonig, wenig karbonathaltig), dem Wasserregime (z.B. Grundwasserbeeinflusst, stauwasserbeeinflusst) sowie den bodenbildenden Prozessen (z.B. Verbraunung, Tonverlagerung).

Die Bodenkarten dienen als wichtige Grundlage der Belange der Raumplanung, des Naturschutzes, des Bodenschutzes, der Wassernutzung, der Hydrogeologie sowie der Land- und Forstwirtschaft.

HESSEN

Böden in der Landschaft

Lage, Klima und Eigenschaften der Böden bestimmen deren vornehmliche Nutzung.

Waldnutzung wegen Felsgrundlagen, steiniger und trockener Böden

Grünlandnutzung wegen zunehmender Hangneigung und hohem Steinanteil im Boden

Ackerbauliche Nutzung wegen flachem Relief (dann Bodenabtrag durch Niederschlagsabfluss bei Vegetationsfreiheit) und mittlerer bis tiefliegenden Böden mit geringem Steinanteil im Oberdelen

Abb. 5: Poster zur Vielfalt der Böden sowie ihrer Nutzung

Poster zum Gartenboden

Sehr nah ist einem der Boden, wenn man zu Hause einen Garten hat. Deshalb lassen sich bodenbezogene Themen mit diesem Zugang besonders gut vermitteln. Im Jahr 2017 wurde der Gartenboden unter anderem deshalb zum Boden des Jahres gewählt. Die beiden Poster zum Thema widmen sich den Eigenschaften und dem Bodenleben des sogenannten „Hortisols“ (Abb. 6).

Alle Poster stehen als rollbare Bannerdisplays (Format 1 m x 2 m) mit entsprechenden Ständern zur Verfügung, die frei im Raum aufgestellt werden können. Der Aufbau ist schnell und unkompliziert. Die Ausleihe erfolgt in handlichen und robusten Transportverpackungen.



Abb. 6: Poster zum Gartenboden, dem Boden des Jahres 2017

Plakatserie Bodenschutz

Die Plakatserie Bodenschutz umfasst insgesamt fünf zusammengehörige Poster. Neben den Funktionen von Böden als Lebensgrundlage und Wirtschaftsfaktor thematisieren sie ihre Gefährdung durch Versiegelung, Verdichtung, Erosion und Schadstoffbelastung sowie Ansätze zu ihrem Schutz. Werden die Plakate

in der richtigen Reihenfolge nebeneinander platziert, zeichnen sie im unteren Bereich eine Weltkugel nach (Abb. 7). Die einzelnen Plakate stehen wie die Poster als leicht aufstellbare Bannerdisplays zur Verfügung (Abb. 8).



Abb. 7: Plakatserie des HLNUG zu verschiedenen Themen aus dem Bereich Bodenschutz



Abb. 8: Präsentation der Bannerdisplays der Plakatserie Bodenschutz im Rahmen einer Ausstellung im Umweltbildungszentrum „Schatzinsel Kühkopf“ im Jahr 2015
© HLNUG

Boden und Wein – Poster und Kastenprofile

Ein Thema, das viele Menschen interessiert, ist der Einfluss des Bodens auf den Wein. So wurde der Weinbergsboden (Rigosol) im Jahr 2014 auch zum „Boden des Jahres“ gewählt. Die Ausstellung stellt zu dieser faszinierenden Verbindung zwei Poster zur Verfügung (Abb. 9): Das erste zeigt Profile von typischen Weinbergsböden im Rheingau und gibt Informationen zu ihrer Bearbeitung und den daraus folgenden Eigenschaften, im zweiten geht es um das sogenannte „Terroir“ eines Weines, also der Einheit von Boden, Topografie und Klima sowie der Arbeit der Winzerin oder des Winzers, die den Charakter eines Weines prägen. Erläutert wird der Einfluss des

Bodens anhand zweier Beispiele aus dem Weinbaugebiet Hessische Bergstraße.

Die Informationen im Themenfeld Boden und Weinbau werden durch sieben hochwertige und stabile Kastenprofile ergänzt, die nach Untersuchungen von zahlreichen Weinbergsböden im Rahmen des Projektes „Terroir Hessen“ in Zusammenarbeit mit der Forschungsanstalt Geisenheim für besonders charakteristische Standorte hergestellt wurden. Die Bodenprofile sind in optisch ansprechenden Eichenkästen eingelassen und können zugeklappt werden, so dass sie sehr gut transportabel sind. Zur Präsentation der

Kastenprofile auf Augenhöhe gibt es vier dazugehörige stabile Unterschränke (Abb. 10). Deshalb können maximal vier Kastenprofile ausgeliehen werden. Die Kastenprofile besitzen aber auch eine Halterung zur Aufhängung an der Wand, wenn eine entsprechend solide Verankerung gewährleistet werden kann.

Die sieben Profile sind repräsentativ für verschiedene Ausgangssubstrate der Weinbergsböden (Quarzit, Granodiorit, Phyllit, Flugsand, Sandlöss, Sandstein, Schiefer). In den im Kastendeckel angebrachten Erläuterungen werden neben Informationen zum jeweiligen Bodenaufbau und seinen Eigenschaften auch Hinweise zur Aromatik und Weintypizität gegeben und somit die Brücke zur weinbaulichen Relevanz des Bodens geschlagen (Abb. 11).



Abb. 9: Poster zum Themenfeld „Boden und Wein“



Abb. 10: Präsentation von Kastenprofilen verschiedener Weinbergsböden mit passenden Unterschränken während der Ausstellung im Foyer des HLNUG zum Internationalen Jahr des Bodens 2015 © HLNUG

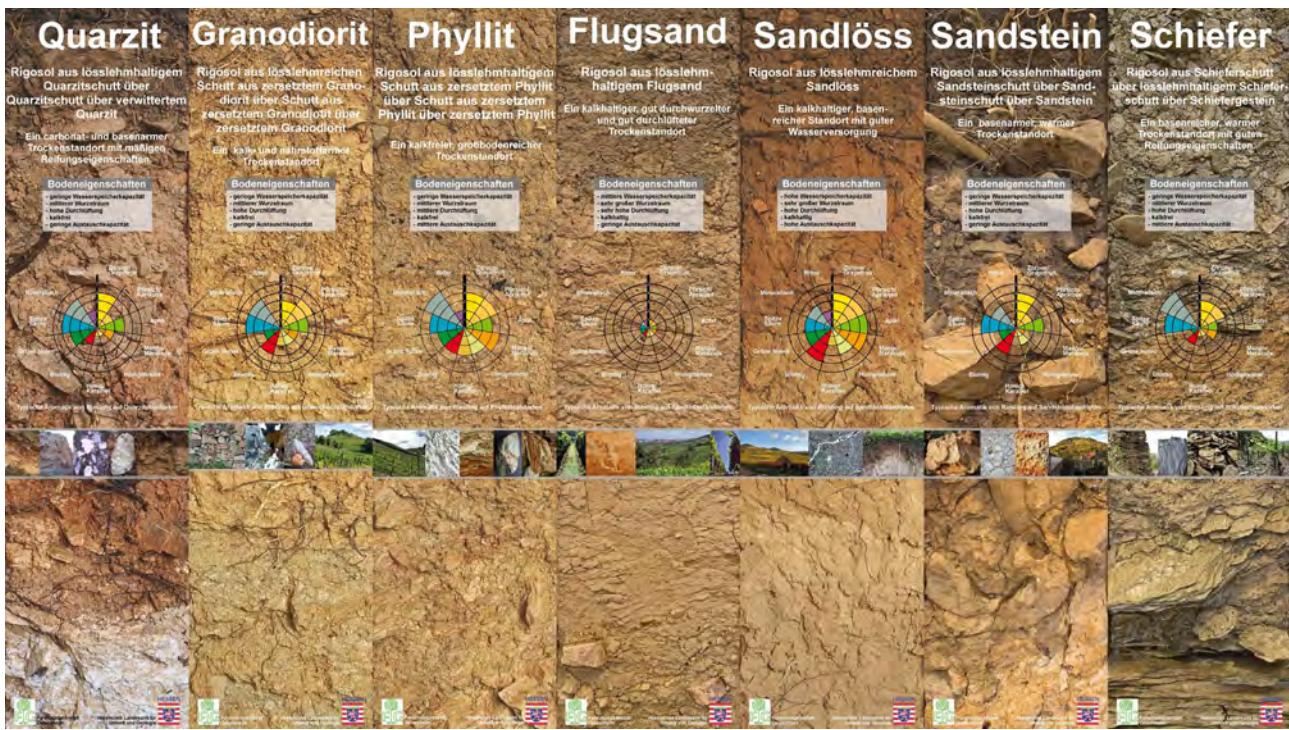


Abb. 11: Erläuterungen zu den ausleihbaren Kastenprofilen (im Deckel der Kästen befestigt)

3D-Bodenquader

Besonders anschaulich und dekorativ sind die 3D-Bodenquader, deren Herstellung das HLNUG 2016 beauftragt hat und die seitdem ein Highlight der Ausstellung darstellen. Sie stehen auf passenden schwarzen Sockeln, die zusammen mit den Quadern verliehen werden. Da sie von allen vier Seiten betrachtet werden können, ist es möglich, sie auch in der Mitte von Räumen zu platzieren. Weil sie sehr empfindlich sind, muss allerdings gewährleistet sein, dass sie nicht berührt werden können.

Insgesamt gibt es vier Bodenquader (Abb. 12): Bei zwei Quadern handelt es sich um Ackerböden aus Erbenheim in der Nähe von Wiesbaden. Sie dienen der Veranschaulichung des Themas „Bodenverdichtung“. Während der erste Ackerboden ein lockeres Bodengefüge besitzt, wurde der zweite durch die Befahrung mit schweren Maschinen verdichtet. Bei einem weiteren Quader handelt es sich um einen Ausschnitt aus einer mehr als drei Meter mächtigen Lössdecke, welches von einem dunklen Band aus

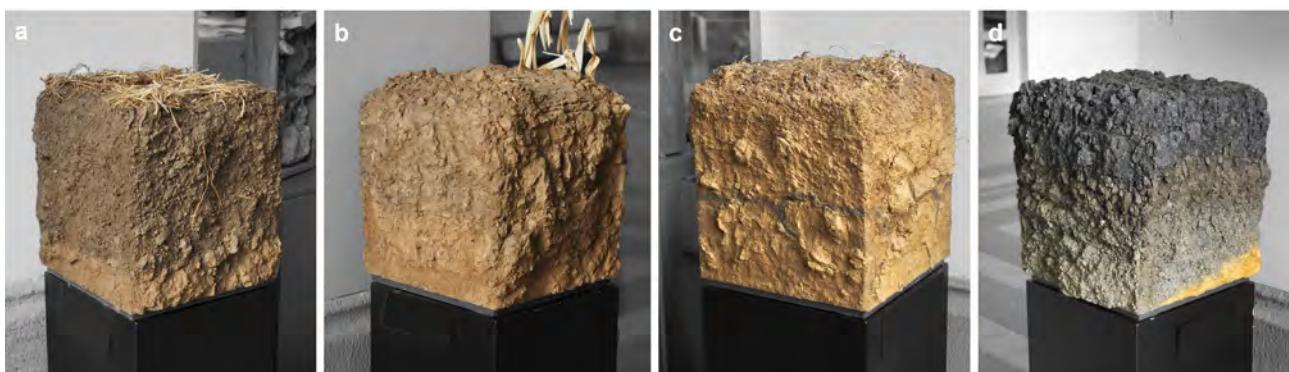


Abb. 12: Leihobjekte 3D-Bodenquader: **a** Ackerboden ohne Verdichtung, **b** Ackerboden mit Verdichtung, **c** Lössboden mit Tuffband, **d** Ton-Humusboden aus der Ober rheinebene © HLNUG

vulkanischer Asche durchzogen wird. Dabei handelt es sich um den Eltviller Tuff, der in vielen Lössprofilen als Zeitmarker dient. Der Boden des vierten Quaders stammt aus der Oberrheinebene bei Trebur. Er zeigt sehr eindrucksvoll verschiedene zeitliche Sediment- und Bodenbildungsprozesse und ist somit ein komplexes Archiv der Boden und Landschaftsentwicklung. Es handelt sich um einen dunklen Ton-

Humusboden, der im oberen Bereich durch starke Schrumpf- und Quelleigenschaften ein Säulengefüge aufweist, wodurch humoses Material in tiefere Bereiche eingemischt wurde. Im unteren Bereich des Quaders ist als helle Schicht das sogenannte Rheinweiß zu erkennen, eine Kalkbank, die am Oberrhein großflächig zu finden ist und eine tiefgreifende Durchwurzelung verhindert.

Weitere Lackprofile und Fühlkisten

Neben den Bodenquadern und Kastenprofilen kann die Ausstellung mit weiteren Lackprofilen ergänzt werden. Das HLNUG besitzt hessenweit entnommene, gut erhaltene Lackprofile, die teilweise bereits über 40 Jahre alt sind (Abb. 13). Oft stammen sie von Böden, die eine wissenschaftliche und didaktische

Bedeutung in der Bodenkunde besitzen, teilweise steht auch die ästhetische Wirkung im Vordergrund. Alle vorhandenen Lackprofile sind, nach Naturräumen geordnet, auf der Homepage des HLNUG gelistet und abgebildet².



Abb. 13: Die Auswahl an Lackprofilen des HLNUG zeigt die Vielfalt der hessischen Böden © HLNUG

2 <https://www.hlnug.de/themen/boden/erleben/infomaterial-und-publikationen/lack-und-kastenprofile>

Die Lackprofile besitzen ein einheitliches Format von 22 cm x 140 cm und können aufgehängt werden. An den Profilen vermerkt werden die jeweiligen Bodenformen sowie die Ansprache der Schichten und Horizonte. Herstellungsbedingt sind die Lackprofile sehr empfindlich und dürfen keinesfalls im Freien präsentiert werden. Außerdem sollten auch sie nicht berührt werden.

Um dem Drang, Boden anzufassen, nachgeben zu können, stehen aber im Rahmen der Bodenwanderausstellung „Fühlkisten“ zum Ausleihen zur Verfügung: Hier können verschiedene Bodenbestandteile mit allen Sinnen erfasst werden (Abb. 14).



Abb. 14: Boden zum Anfassen – Fühlkisten mit den verschiedenen Bodenarten © HLNUG

Bodenhocker

Wie vielfältig Böden sind, zeigen auch die fünf Bodenhocker des HLNUG, auf denen Bilder verschiedener hessischer Böden dargestellt werden (Abb. 15). Da die Hocker robust sind, sind sie eine gute Alter-

native zu echten Lackprofilen in den Fällen, in denen die Räumlichkeiten für Lackprofile nicht geeignet sind. Außerdem können sie als Sitzgelegenheiten in einer Ausstellung platziert werden.



Abb. 15: Anschauungsmaterial und Sitzgelegenheit in Einem – die Bodenhocker des HLNUG © HLNUG

Bisherige Präsentationen der Bodenwanderausstellung

Die Bodenwanderausstellung des HLNUG wurde in der Vergangenheit von unterschiedlichen Institutionen angefragt und ausgeliehen. Besonders in den letzten Jahren erfreut sie sich wachsender Beliebtheit: So wurde sie im Jahr 2024 insgesamt sechs Mal ausgeliehen, von der Bergstrasse bis nach Zierenberg, beispielsweise für eine Bodenausstellung im Naturpark Habichtswald oder eine „Elemente-Wanderrung“ zu den Themen Wasser, Erde, Feuer, Luft, veranstaltet vom Naturschutzbund an der Bergstraße. Auch 2025 sind bereits sechs Ausleihen durchgeführt worden bzw. geplant. Die bisher weiteste Reise bis in den Süden Deutschlands trat die Ausstellung im Mai 2025 an: In Grenzach-Wyhlen wurde sie im Rahmen einer Bodenausstellung des Fördervereins Emilianum e. V. präsentiert. Im Sommer wurden einige Exponate auf dem Hessentag in Bad Vilbel am Informationsstand der Landfrauen im Rahmen der Sonderausstellung "Der Natur auf der Spur" gezeigt, bei der sich alles um das Thema „Unser Boden – Der Schatz der Wetterau“ drehte (Abb. 16). Außerdem wurde ein Teil der Ausstellung dem Staatstheater Wiesbaden ausgeliehen, wo sie anlässlich der Uraufführung des Stückes „Feldfuge. Ein musikalischer Bodenbericht“ zu sehen war (Abb. 17). Es ist geplant, die Ausstellungsmaterialien des HLNUG ab dem 5. Dezember 2025 mit einer Poster-Serie zum „Boden des Jahres“ zu ergänzen, für den das Land Hessen im Jahr 2026 die Schirmherrschaft übernommen hat.



Abb. 16: Bodenhocker im Einsatz auf dem Hessentag in Bad Vilbel © HLNUG



Abb. 17: Präsentation von Bannerdisplay und Bodenquadern am Staatstheater Wiesbaden © HLNUG

Haben wir Ihr Interesse geweckt?

Die komplette Ausstellung oder einzelne Objekte können beim HLNUG unentgeltlich ausgeliehen werden. Es gelten die folgenden Ausleihbedingungen:

- Ausleihzeit nach Abstimmung und Verfügbarkeit
- Abholung und Rückgabe am HLNUG in Wiesbaden, Rheingaustraße 186, nach Vereinbarung
- Für die Ausleihe ist ein Leihvertrag auszufüllen. Dieser ist einzusehen unter:
<https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/boden-infos/Lackprofile/Leihvertrag.pdf>

Auf Anfrage können auch die Druckdateien der Poster abgegeben werden, beispielsweise wenn die Exponate im gewünschten Zeitraum bereits ausgeliehen sein sollten.

Ansprechpartnerin ist Frau Sybille Stern: Tel.: 0611/6939-786 • E-Mail: Sybille.Stern@hlnug.hessen.de

Untersuchungen von Standorten der hessischen Boden-Dauerbeobachtung auf Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

KATRIN LÜGGER, DR. CHRISTIAN HELLER*

1 Einleitung

Als zentrales Element der Umweltbeobachtung und Instrument des vorsorgenden Bodenschutzes hat die Boden-Dauerbeobachtung das Ziel, den aktuellen Bodenzustand zu beschreiben, mögliche Veränderungen langfristig zu überwachen und Prognosen für zukünftige Entwicklungen abzuleiten [1]. Zu diesem Zweck wurden in Hessen bereits 1992 die ersten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) durch das damalige Hessische Landesamt für Bodenforschung (HLfB) eingerichtet [2]. Heute betreibt das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) hessenweit 68 BDF auf repräsentativen land- und forstwirtschaftlich genutzten Standorten, auf denen in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt Bodenproben entnommen und auf eine Vielzahl an bodenchemischen und -physikalischen Parametern untersucht werden [3]. Die meisten der ausgewählten Standorte stellen bewusst keine Kontaminationsschwerpunkte dar, sondern dienen der Untersuchung der allgemein verbreiteten Hintergrundbelastung. Einige BDF liegen jedoch innerhalb von Überschwemmungsbereichen größerer Flüsse – auf diesen Flächen ist durch den zusätzlichen Eintrag potenziell belasteter Hochwassersedimente eine höhere Schadstoffbelastung zu erwarten.

Aufgrund der zunehmenden Relevanz von Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) auch in der Umweltbeobachtung wurde im Jahr 2022 das reguläre Untersuchungsspektrum der Boden-Dauerbeobachtung um PFAS erweitert. PFAS – in den Medien auch oft als „Ewigkeitschemikalien“ betitelt – sind eine Sammelbezeichnung für langlebige, ausschließlich anthropogen hergestellte organische Verbindungen, die nach aktuellem Kenntnisstand mehr als 10 000 Einzelsubstanzen umfassen [4]. Sie werden seit Jahrzehnten aufgrund ihrer hohen thermischen und chemischen Stabilität sowie ihrer wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften in vielen industriellen Prozessen verwendet und sind in zahlreichen Verbraucherprodukten enthalten. PFAS gelangen auf unterschiedlichen Eintragspfaden in die Umwelt und lassen sich dort – insbesondere aufgrund ihrer äußerst hohen Persistenz – mittlerweile ubiquitär nachweisen. Dabei stellen Böden einerseits eine wichtige Senke dar, können andererseits jedoch auch als Quelle fungieren, beispielsweise durch eine Auswaschung ins Grundwasser oder eine Aufnahme durch Pflanzen [5].

2 Methodik

2.1 Probennahme

Eine BDF besteht in Hessen in der Regel aus einer Kernfläche von 30 m x 30 m. Bei der Einrichtung wurde außerhalb dieser Kernfläche einmalig eine Profilgrube aufgegraben, in der eine Entnahme von Bodenproben bis in größere Tiefen durchgeführt werden konnte. Auf der Fläche selbst werden nach einem einheitlichen Schema wiederholt repräsentative Flächenmischproben bis in eine Bodentiefe von mindestens 30 cm gewonnen (Abb. 1, Abb. 2). Auf

BDF unter Waldnutzung werden zusätzlich Proben der organischen Humusaflagen entnommen, die den Mineralboden überlagern. Zu Beginn des Monitoringprogrammes wurden die regelmäßigen Wiederholungsbeprobungen auf allen BDF in einem 5-Jahres-Rhythmus durchgeführt. Inzwischen wurde der Untersuchungsturnus auf den meisten Flächen auf 10 Jahre verlängert.

Abbildung 1 zeigt schematisch das BDF-Probenahmekonzept: Im Regelfall werden über die Diagonalen der Kernfläche 18 Einzelproben entnommen. Bei einer Wiederholungsbeprobung erfolgt jeweils eine Drehung der Diagonalen um eine bestimmte Gradzahl, damit nicht bereits gestörte Bereiche der Fläche beprobt werden. Die Einzelproben werden pro Entnahmetiefe zu drei Mischproben vereinigt, die im Labor separat auf Standardparameter sowie anorganische Stoffe untersucht werden. Dagegen werden die Messungen auf organische Stoffe – inklusive der PFAS-Analysen – aus Kapazitätsgründen nur an einer einzigen Flächenmischprobe pro Entnahmetiefe durchgeführt, die aus allen 18 Einzelproben gebildet wird. Dabei werden die Proben nicht in festen Tiefenstufen, sondern horizontalspezifisch entnommen, d. h. die Entnahmetiefen werden entsprechend der bodenkundlichen Horizontansprache gewählt. Neben dem Probenmaterial, welches direkt analysiert wird, werden zusätzlich Rückstellproben in der Bodenprobenbank des HLNUG archiviert und stehen gegebenenfalls für retrospektive Untersuchungen bereit [6].

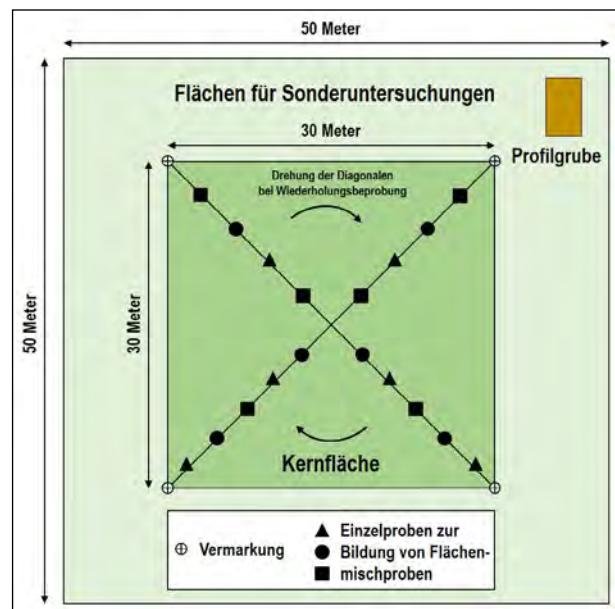


Abb. 1: Schematisches Probennahmekonzept auf hessischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF)



Abb. 2: Auf einer Boden-Dauerbeobachtungsfläche (BDF) im Wald entnommene Flächenmischproben (a = Laubauflage, b = Oberboden, c = Unterboden)

2.2 Probenvorbereitung und PFAS-Analytik

Auch vor der Integration in das reguläre Untersuchungsspektrum der Boden-Dauerbeobachtung im Jahr 2022 wurden an einigen BDF-Proben PFAS-Untersuchungen durchgeführt. Diese fanden in unterschiedlichen Laboren und mit teilweise anderen Methoden statt und werden zunächst kurz erläutert.

Bereits 2013 wurden fünf Proben von drei BDF im Rhein-Main-Gebiet exemplarisch auf PFAS im Feststoff analysiert – in allen Proben konnten Vertreter

der Stoffgruppe nachgewiesen werden. Die Messungen wurden damals vom Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie IME mittels einer nicht genormten Hausmethode durchgeführt, die auch im Rahmen des PFAS-Monitoringprogrammes zur Anwendung kam, welches von 2006 bis 2020 auf belasteten Ackerflächen in Nordhessen durchgeführt wurde [7]. Damals standen noch keine genormten Methoden für die PFAS-Analytik zur Verfügung. 2017 wurden dann insgesamt

42 BDF-Rückstellproben der Bodenprobenbank vom Labor Eurofins im Feststoff und erstmals auch im Eluat nach zwischenzeitlich herausgegebenen DIN-Normen auf PFAS analysiert [8, 9]; in den Jahren 2018–2021 folgten weitere Untersuchungen von insgesamt 30 Humusauflage- und Oberboden-Proben aktueller Probennahmen im selben Labor. Seit 2022 übernahm das Labor des TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) in Karlsruhe die turnusmäßigen Wiederholungsuntersuchungen der BDF-Proben, da dort niedrigere Bestimmungsgrenzen in der Feststoff-Analytik erreicht wurden. Bis heute hat das TZW insgesamt 41 hessische BDF auf PFAS untersucht – dabei handelt es sich um 10 Wald-BDF, 13 Grünland-BDF und 16 Acker-BDF sowie 2 BDF unter weinbaulicher Nutzung.

Im Rückblick zeigte sich, dass die in unterschiedlichen Laboren durchgeföhrten PFAS-Analysen aus verschiedenen Gründen nur bedingt miteinander vergleichbar sind: Bezüglich der Feststoffanalysen ist zum einen die unterschiedliche Höhe der von den Laboren erreichten Bestimmungsgrenze zu nennen,

die um einen Faktor 10 differiert. Im „Leitfaden zur PFAS-Bewertung“ [10] und in den „Empfehlungen des FBU zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden“ [11] wird ausgeführt, dass zur Ermittlung der Hintergrundbelastung im Boden eine Bestimmungsgrenze von $\leq 0,1 \mu\text{g}/\text{kg TS}$ (Trockensubstanz) erforderlich ist. Diese wird nur in den aktuellen Untersuchungen des TZW erreicht. Zum anderen gibt es zwischen den Feststoff-Analysen Abweichungen bezüglich der Extraktion. So wurde bei den ersten PFAS-Analysen noch Tetrabutylammoniumhydrogensulfat (TBA) als Extraktionsmittel verwendet, während später gemäß Norm [8] Methanol eingesetzt wurde. Im Hinblick auf die Eluatanalytik stellten LANGE et al. [12] fest, dass insbesondere bei der Untersuchung geringbelasteter Böden der Trocknungszustand einen großen Einfluss auf die Höhe der gemessenen PFAS-Konzentrationen haben kann. So ergaben Vergleichsmessungen von feldfeucht und getrocknet eluierten Proben deutlich höhere PFAS-Konzentrationen in den vorher getrockneten Proben. Diese Ergebnisse wurden bei Paralleluntersuchung von 9 hessischen BDF-Proben

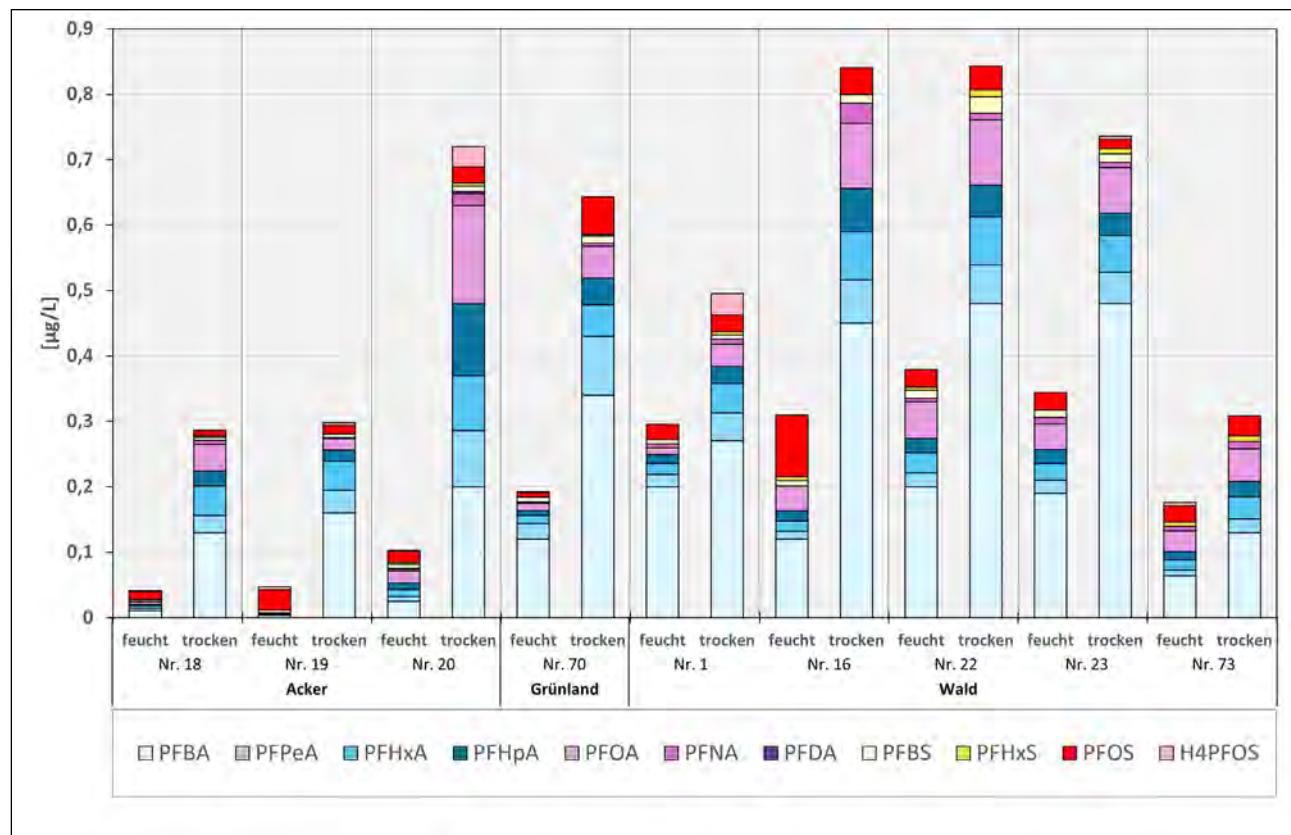


Abb. 3: Vergleich der PFAS-Konzentrationen im Eluat, ermittelt aus feldfeuchten und bei 40 °C getrockneten BDF-Oberbodenproben, differenziert nach Nutzung

bestätigt, bei denen die im Eluat gemessenen PFAS-Summen in den vor Elution bei 40 °C getrockneten Proben um einen Faktor zwei bis sieben höher lagen als in den feldfeucht eluierten Proben (Abb. 3). Während für die damals im Labor Eurofins durchgeführten Eluatanalysen normgemäß [13, 14] feldfeuchte Proben verwendet wurden, wurden die Proben für die aktuellen Messungen am TZW zuvor bei 40 °C getrocknet, um eine bessere Vergleichbarkeit bei unterschiedlichen Feuchtegehalten der Proben zu erreichen. Diese Vorgehensweise entspricht den Empfehlungen des PFAS-Leitfadens sowie des Fachbeirats Bodenuntersuchungen (FBU) [10, 11].

Aufgrund der erläuterten methodischen Unterschiede und der daraus folgenden fraglichen Vergleichbarkeit der bisher im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung durchgeführten PFAS-Untersuchungen werden im Folgenden nur die aktuellsten Ergebnisse der seit 2022 bei den turnusgemäßen Beprobungen entnommenen und methodisch einheitlich auf PFAS untersuchten BDF-Proben dargestellt. Diese Proben wurden vom TZW auf insgesamt 23 Einzelverbindungen im Feststoff und Eluat analysiert. Neben 11 perfluorierten Carbonsäuren (PFCA) und 6 perfluorierten Sulfonsäuren (PFSA) wurden 6 Vorläufersubstanzen bzw. Ersatzstoffe gemessen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Einzelstoffe, ihre Kurznamen und Kettenlängen.

3 Ergebnisse

An allen bisher untersuchten 41 BDF-Standorten konnte sowohl im Feststoff als auch im Eluat mindestens ein PFAS-Einzelstoff oberhalb der Bestimmungsgrenze nachgewiesen werden.

Im Feststoff wurden in allen Oberboden-Proben PFBA, PFOA und PFOS gemessen, in mehr als der Hälfte außerdem die Carbonsäuren PFHxA, PFHpA, PFNA und PFDA. In einigen Fällen konnten auch PFPeA und PFUnDA nachgewiesen werden, nur vereinzelt die sehr langkettigen Carbonsäuren PFDoDA, PFTrDA und PFTeDa, die Sulfonsäuren PFBS und PFHxS sowie PFOSA und H4PFOS. Sieben der insgesamt 23 untersuchten Einzelstoffe (PFPeS, PFHpS, PFDS, HPFHxA, H4PFDS, H2PFDA, H4PFUnA) waren in keiner Probe nachweisbar (Tab. 1).

Zunächst wurde das Probenmaterial auf < 10 mm gesiebt und bei 40 °C getrocknet. Die PFAS-Analyse im Feststoff wurde nach DIN 38414-14 [8] durchgeführt. Vor der Extraktion mit Methanol wurde das Probenmaterial auf < 250 µm gemahlen, der Extrakt wurde mittels der Kopplung aus Hochleistungsfüssigchromatographie und Elektrospray-Tandem-Massenspektrometrie (HPLC-ESI-MS/MS) gemessen. Die Bestimmungsgrenze für alle PFAS-Einzelparameter lag bei 0,1 µg/kg TM und konnte durchgehend eingehalten werden.

Die PFAS-Analyse im Eluat wurde nach DIN 38407-42 [9] durchgeführt. Bei den Mineralboden-Proben erfolgte die Herstellung der wässrigen Eluate nach dem Schüttelverfahren in Anlehnung an DIN 19529 [13] mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1. Die Eluate der Humusauflage-Proben hingegen wurden in Anlehnung an DIN EN 12457-4 [14] mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10:1 hergestellt, da ansonsten aufgrund der starken Wasserbindung keine wässrige Eluatphase abtrennbar war. Die Messung erfolgte – ohne eine weitere Filtration der Eluate – wie bei den Feststoff-Extrakten nach Zufügung von Methanol mittels HPLC-ESI-MS/MS. Die Bestimmungsgrenzen für die PFAS-Einzelparameter lag einheitlich bei 0,001 µg/L.

In den wässrigen Eluaten der Oberboden-Proben waren die Nachweisraten auch aufgrund der um den Faktor 100 niedrigeren Bestimmungsgrenze höher als im Feststoff. In allen Proben konnten die Carbonsäuren von PFBA bis PFOA sowie die Sulfonsäuren PFBS und PFOS gemessen werden, bis auf ein bzw. zwei Ausnahmen ebenfalls PFNA und PFHxS. In mehr als der Hälfte der Proben wurde außerdem PFDA nachgewiesen. In einigen Fällen konnte im Gegensatz zu den Feststoffanalysen auch PFPeS und PFHpS bestimmt werden. Die langkettigen Carbonsäuren PFUnA, PFDoDA und PFTrDA, die langkettige Sulfonsäure PFDS sowie PFOSA und H4PFOS waren hingegen nur in Einzelfällen nachweisbar (Tab. 1).

Die Nachweisraten der Einzelstoffe für die untersuchten Humusaflage-Proben der BDF-Standorte im Wald ähneln generell denen der mineralischen Oberböden (Daten nicht dargestellt); im Falle der Feststoff-

analysen waren sie für die langkettigen Carbonsäuren PFUnDA bis PFTeDA höher. Nur in drei Proben der kaum zersetzen Laubaflage konnten im Feststoff keinerlei PFAS nachgewiesen werden.

Tab. 1: Untersuchte 23 PFAS-Einzelstoffe mit Einstufung ihrer Kettenlänge sowie ihre prozentualen Nachweisraten in den untersuchten Oberböden in Feststoff (Bestimmungsgrenze 0,1 µg/kg TS) und Eluat (Wasser/Feststoffverhältnis 2:1, Bestimmungsgrenze 0,001 µg/L)

Gruppe	Kettenlänge*	Einzelstoffe	Kurzname	Nachweisraten Feststoffanalytik [%]	Nachweisraten, Eluatanalytik [%]
Perfluorierte Carbonsäuren (PFCA)	kurzkettig	Perfluorbutansäure	PFBA	100	100
		Perfluorpentansäure	PPPeA	44	100
		Perfluorhexansäure	PFHxA	83	100
		Perfluorheptansäure	PFHpA	68	100
	langkettig	Perfluoroktansäure	PFOA	100	100
		Perfluorononansäure	PFNA	73	98
		Perfluordekansäure	PFDA	68	63
		Perfluorundekansäure	PFUnDA	22	5
		Perfluordodekansäure	PFDoDA	2	8
		Perfluortridekansäure	PFTrDA	5	3
		Perfluortetradekansäure	PFTeDA	5	0
Perfl. Sulfonsäuren (PFSA)	kurzkettig	Perfluorbutansulfonsäure	PFBS	7	100
		Perfluorpentansulfonsäure	PPPeS	0	20
		Perfluorhexansulfonsäure	PFHxS	10	95
	langkettig	Perfluorheptansulfonsäure	PFHpS	0	25
		Perfluoroktansulfonsäure	PFOS	100	100
		Perfluordekansulfonsäure	PFDS	0	3
Vorläufer/ Ersatzstoffe	langkettig	7H-Dodekanfluorheptansäure	HPFHpA	0	0
		Perfluoroctansulfonamid	PFOSA	5	5
		1H,1H,2H,2H-Perfluoroctansulfonsäure	H4PFOS (6:2 FTSA)	5	5
		1H,1H,2H,2H-Perfluordecansulfonsäure	H4PFDS (8:2 FTSA)	0	0
		2H,2H-Perfluordekansäure	H2PFDA	0	0
		2H,2H,3H,3H-Perfluorundekansäure	H4PFUnA	0	0

* Einstufung nach OECD [15]

3.1 PFAS-Messungen im Feststoff

Für die folgenden Auswertungen werden alle gemessenen 23 Einzelstoffe aufsummiert. Bei der Berechnung der PFAS-Summen und den statistischen Auswertungen sowie den graphischen Darstellungen wurden Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze mit dem Wert „Null“ berücksichtigt.

Abb. 4 zeigt die PFAS-Gehalte der Oberböden und Humusaflagen hessischer BDF im Feststoff, differenziert nach der Landnutzung. Die beiden BDF

unter weinbaulicher Nutzung wurden dabei zusammen mit den Acker-BDF ausgewertet. Insgesamt wurden in den bisher untersuchten Oberböden im Feststoff PFAS-Gehalte zwischen 0,62 und 15,01 µg/kg TS gemessen. Im Vergleich der Nutzungen zeigen die untersuchten Acker-BDF mit einem durchschnittlichen Wert von knapp über 1 µg/kg TS die geringsten PFAS-Gehalte, gefolgt von den BDF unter Grünland mit einem mittleren Gehalt von 2,12 µg/kg TS (jeweils Median). Knapp dreimal so hohe

mittlere Gehalte (Median 6,12 µg/kg TS) wurden in den Oberböden der BDF im Wald gemessen, während die Gehalte in den Humusauflagen (mächtigkeitsgewichtete Mittelwerte aus L, Of und Oh) in einem ähnlichen Bereich wie die Grünland-Oberböden liegen.

Auf der Karte in Abb. 5 wird die Lage der BDF-Standorte in Hessen, unterschieden nach ihrer Nutzung dargestellt. Die Ergebnisse der PFAS-Feststoffanalysen der Oberböden werden jeweils mittels eines Kreisdiagrammes abgebildet, welches die Höhe des jeweiligen PFAS-Gehaltes sowie die prozentualen Anteile der Einzelstoffe wiedergibt. Der mit Abstand höchste PFAS-Gehalt mit knapp über 15 µg/kg TS wurde im Oberboden der Grün-

land-BDF in Biebesheim am Rhein gemessen (s. auch Ausreißer in Abb. 4), die bei Hochwasserereignissen regelmäßig überflutet wird. Ebenfalls vergleichsweise hohe PFAS-Gehalte zwischen 7–10 µg/kg TS zeigen die Analysen der Waldstandorte am Münterberg bei Bad Soden-Salmünster im Main-Kinzig-Kreis, die beiden benachbarten BDF in Schotten im Vogelsbergkreis sowie der Niedermoor-Standort Rohrlache bei Gernsheim im Landkreis Groß-Gerau. Der geringste PFAS-Gehalt aller Oberböden wurde mit 0,62 µg/kg TS dagegen in der Acker-BDF Hainchen 1 im Wetteraukreis festgestellt.

Hinsichtlich des Spektrums der im Feststoff gemessenen PFAS-Einzelstoffe sind die Anteile von PFOS, PFOA und PFBA, die in allen Proben nachgewiesen

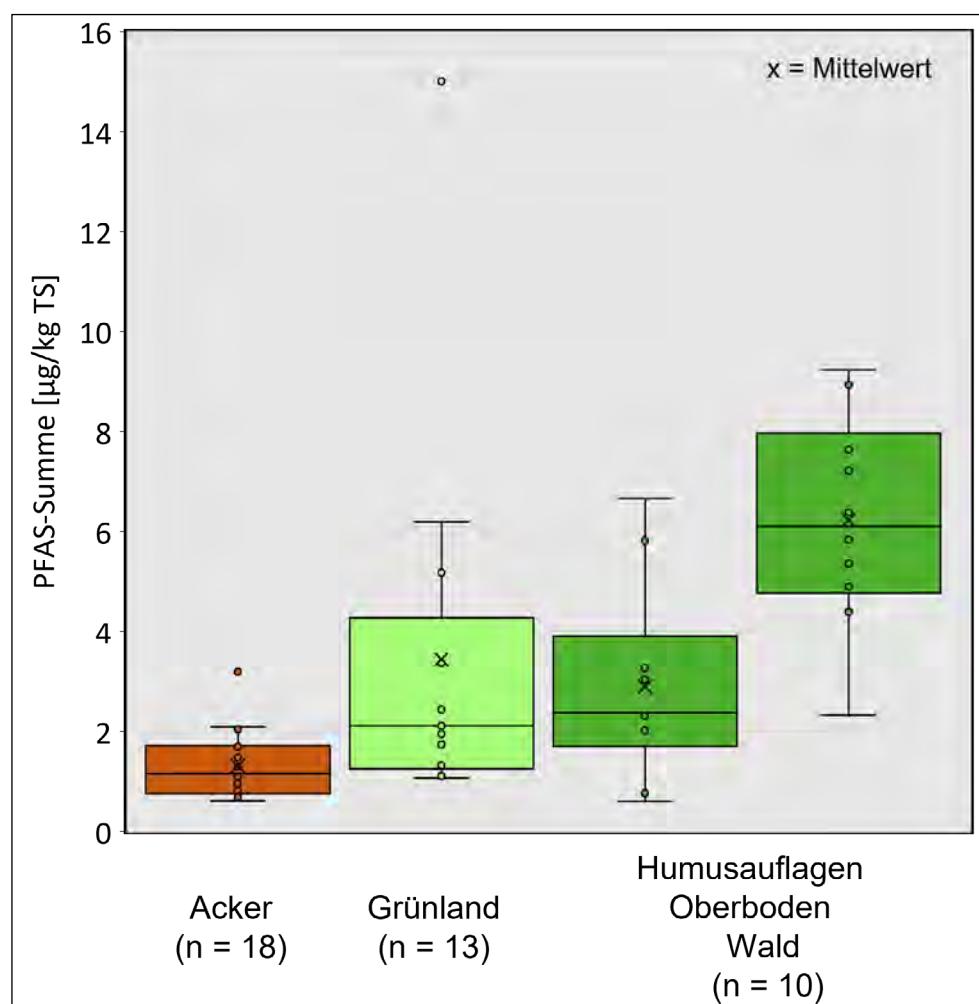


Abb. 4: Box-Whisker-Plot der PFAS-Feststoffgehalte in den Oberböden und Humusauflagen hessischer BDF, differenziert nach den Nutzungen Acker (inkl. zwei Weinbergsstandorte), Grünland und Wald

werden konnten (siehe auch Tab. 1), durchschnittlich am größten. Dabei hat das langkettige PFOS meist den höchsten Anteil. In den insgesamt geringer belasteten Ackerstandorten in Nord- und Mittelhessen ist aber teilweise auch das ebenfalls langkettige PFOA der dominierende Einzelstoff. An vielen BDF konnten darüber hinaus mit PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA und PFUnA weitere Carbonsäuren gemessen werden, deren Anteil aber durchschnittlich unter 10 % betrug. An einigen Standorten mit höheren Gehalten waren in geringen Anteilen auch die Sulfonsäuren PFBS und PFHxS bestimmbar. Weitere Einzelstoffe, wie die langkettigen Carbonsäuren PFDoA, PFTrA und PFTeA sowie der PFOS-Ersatzstoff H4PFOS und PFOSA, waren jeweils nur an ein bis zwei Standorten nachzuweisen.

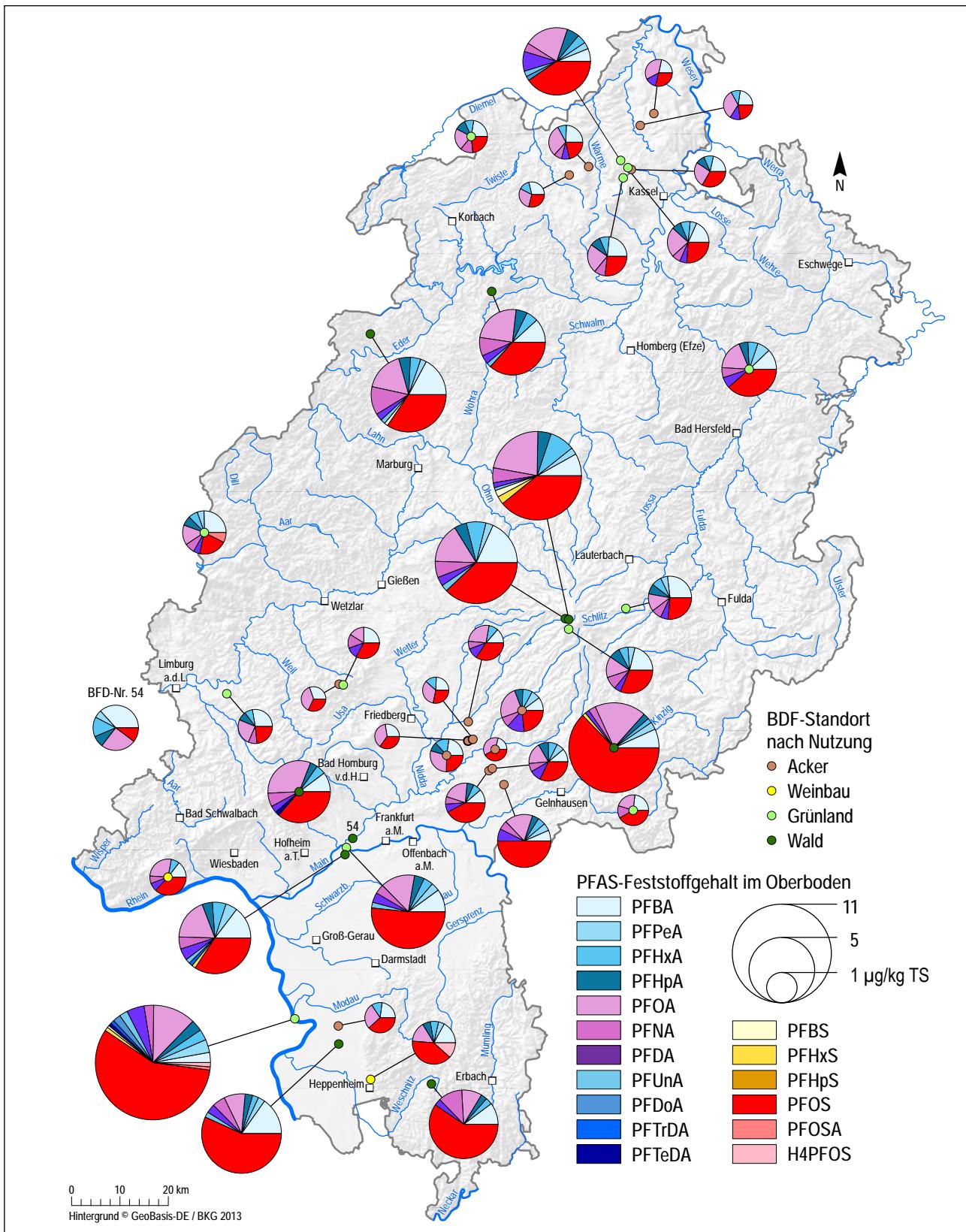


Abb. 5: PFAS-Feststoffgehalte in den Oberböden hessischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), jeweils Darstellung der Höhe der PFAS-Summe sowie der Anteile der Einzelstoffe; aus Platzgründen wurde das Diagramm der BDF Nr. 54 (Frankfurt-Nied) ohne Führungslinie links außerhalb der Karte platziert.

3.2 PFAS-Messungen im Eluat

Abb. 6 zeigt die PFAS-Konzentrationen im wässrigen Eluat der Oberböden und Humusaufslagen hessischer BDF, differenziert nach der Landnutzung. Auch bei den Auswertungen dieser Analysen wurden Messungen unterhalb der Bestimmungsgrenze mit dem Wert „Null“ berücksichtigt. Ausgeschlossen wurde für diese Darstellung bei den Waldstandorten die Probe des obersten organischen Horizontes der bereits genannten Niedermoor-BDF Rohrlache, bei der aufgrund des sehr hohen Gehalts an organischem Kohlenstoff die Elution entsprechend der Vorgehensweise bei den Humusaufslagen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10:1 durchgeführt werden musste.

Die PFAS-Konzentrationen im Eluat blieben für alle untersuchten Oberboden-Proben unterhalb 1 µg/L, die Spannweite betrug 0,0579 bis 0,9763 µg/L. In der erwähnten, methodisch abweichend behandelten Niedermoorprobe wurde ein nochmal deutlich geringerer Wert von 0,0071 µg/L gemessen. Genauso wie bei den Feststoffanalysen wurden in den Eluaten der Acker-BDF mit einem Median von 0,2026 µg/L durchschnittlich die niedrigsten Werte gemessen, gefolgt von den Grünland-BDF mit 0,327 µg/L. Die Konzentrationen in den Eluaten der Wald-Oberböden waren mit einem mittleren Wert von 0,5688 µg/L erwartungsgemäß deutlich höher. Im Vergleich dazu lagen die in den Eluaten der Humusaufslagen gemessenen Konzentrationen (mächtigkeitsgewichtete Mittelwerte aus L, Of und Oh) mit einem Median von 0,0412 mehr als einen Faktor 10 niedriger. Bedingt wird das – wie in Kapitel 2.2 erläutert – durch die abweichende Methodik bei der Elution: Während die Mineralboden-Proben mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1 eluiert wurden, musste für die Humusauflage-Proben ein Wasser/Feststoff-Verhältnis von 10:1 verwendet werden, um eine ausreichende Menge Eluat zu erhalten. Im Leitfaden zur PFAS-Bewertung [10] wird ausgeführt, dass wissen-

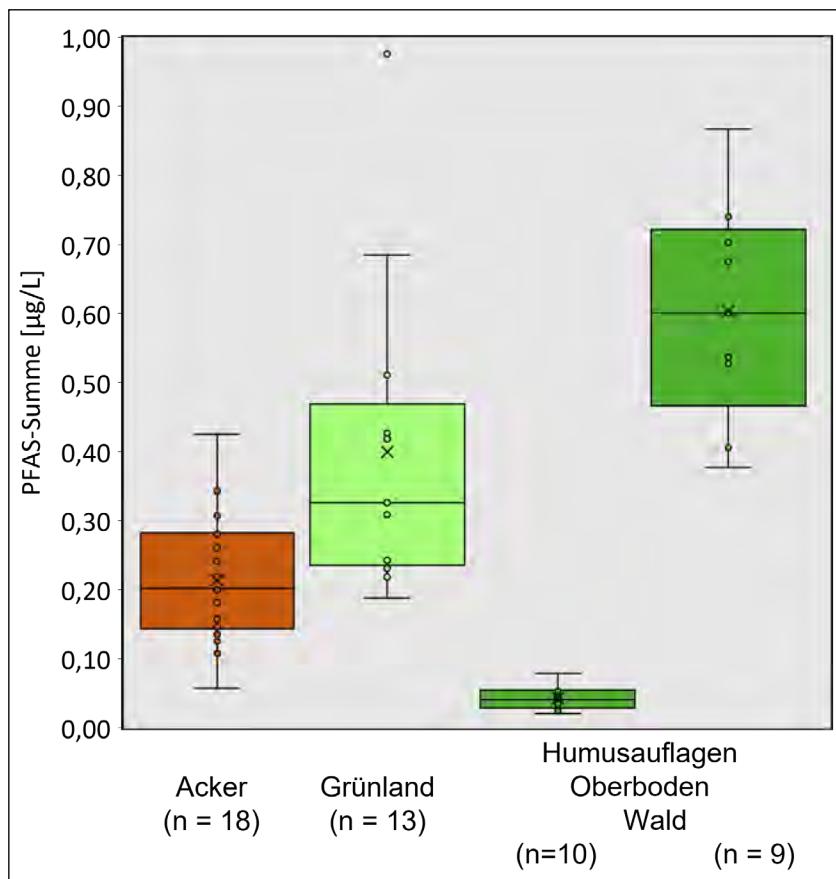


Abb. 6: Box-Whisker-Plot der PFAS-Konzentrationen im Eluat der Oberböden und Humusaufslagen hessischer BDF, differenziert nach den Nutzungen Acker (inkl. zwei Weinbergsstandorte), Grünland und Wald; Herstellung der wässrigen Eluate mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1 für die Oberböden und 10:1 für die Humusauflagen

schaftlich gestützte Umrechnungsfaktoren zwischen den beiden Elutionsverfahren nicht vorliegen, hilfsweise aber eine Multiplikation mit dem Faktor 5 vorgenommen werden könne. Von einer solchen nur näherungsweisen Umrechnung wird im Weiteren aber abgesehen.

Die Karte in Abb. 7 zeigt analog zu den Ergebnissen der Feststoffanalysen die standortbezogenen Ergebnisse der Eluatanalysen mittels Kreisdiagrammen, die die jeweiligen prozentualen Anteile der PFAS-Einzelverbindungen sowie die Höhe ihrer Summe wiedergeben. Übereinstimmend mit den Ergebnissen der Feststoffanalysen wurde die höchste Konzentration mit 0,9763 µg/L im Eluat des Oberbodens der Grünland-BDF bei Biebesheim am Rhein gemessen (s. auch Ausreißer in Abb. 6). Im Vergleich erhöhte Konzentrationen mit PFAS-Summen zwischen

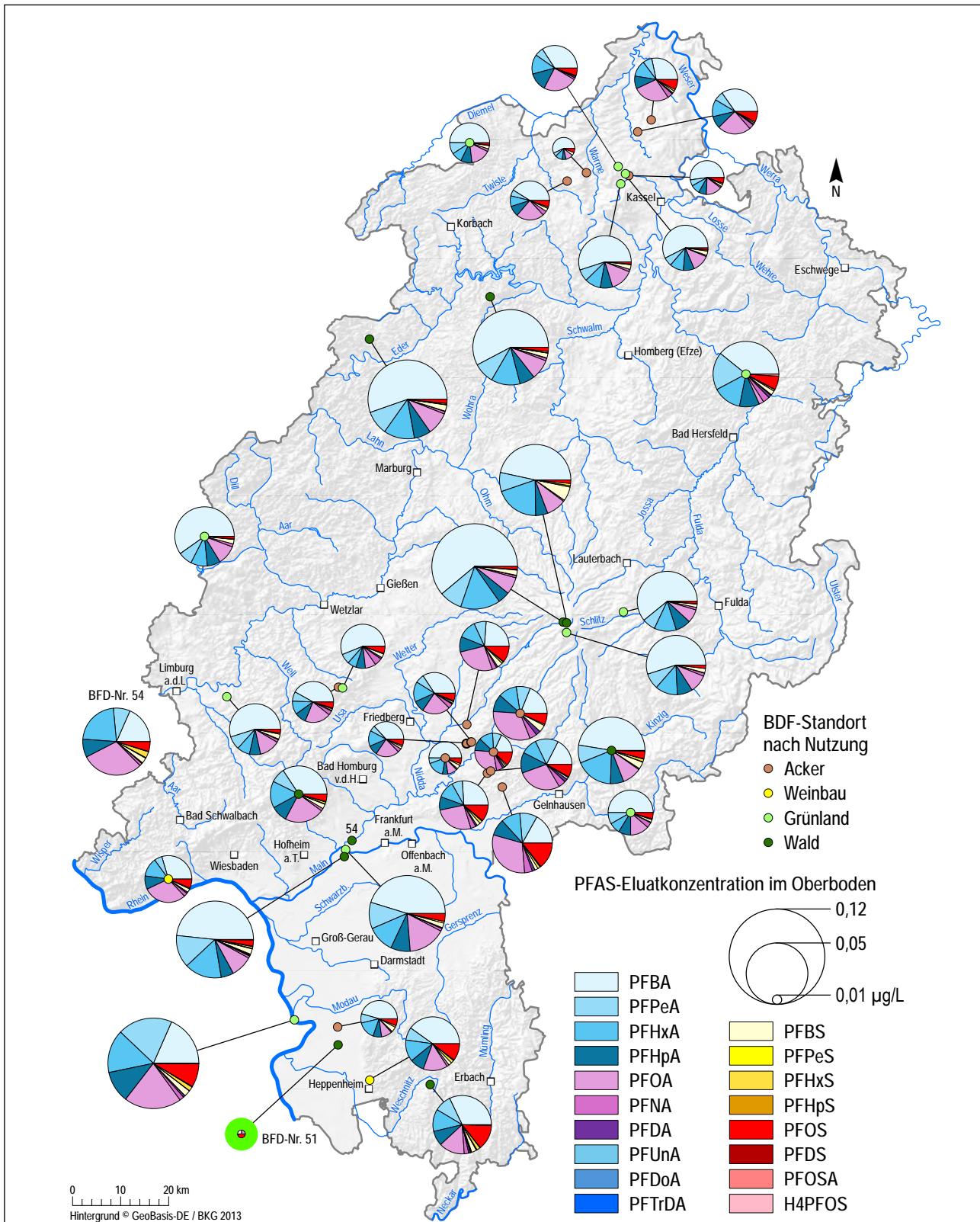


Abb. 7: PFAS-Konzentrationen in den Eluaten der Oberböden hessischer Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF), Darstellung der Höhe der PFAS-Summe sowie der Anteile der Einzelstoffe; Erstellung der Eluate mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2:1; nur die organische Probe des Niedermoorstandortes BDF Nr. 51 (grüne Markierung) abweichend mit 10:1; aus Platzgründen wurde das Diagramm der BDF Nr. 54 (Frankfurt-Nied) ohne Führungslinie links außerhalb der Karte platziert.

0,6–0,9 µg/L zeigen wiederum die Oberböden der Waldstandorte in Schotten, außerdem die Wald-BDF im Naturwaldreservat Hasenblick in der Nähe von Battenberg (Eder) und im Nationalpark Kellerwald-Edersee, beide im Landkreis Waldeck-Frankenberg, sowie in Frankfurt-Schwanheim. Auch zwei weitere Grünlandstandorte in Überschwemmungsbereichen – die Flächen in der Mainaue in Frankfurt-Schwanheim sowie in der Fuldaaue in der Nähe von Rotenburg – liegen in dieser Größenordnung. Die geringste PFAS-Konzentration im Eluat wurde hingegen am bereits erwähnten Niedermoorstandort Rohrlache (BDF Nr. 51) gemessen, was allerdings wie bereits erläutert methodisch bedingt ist. Abgesehen von diesem Spezialfall war der Ackerstandort in der Gemarkung Zierenberg im Landkreis Kassel der einzige Standort, der eine PFAS-Konzentration < 0,1 µg/L aufwies.

Da bei Eluatanalysen nur die wasserlöslichen Anteile der PFAS gemessen werden, unterscheidet sich ihr

Stoffspektrum deutlich von dem der Feststoffe. Generell besitzen kurzkettige PFAS eine höhere Wasserlöslichkeit die mit zunehmender Kettenlänge abnimmt, wobei Carbonsäuren im Vergleich zu Sulfonsäuren derselben Kettenlänge mobiler sind [16]. Erwartungsgemäß dominiert deshalb in den Messungen der Anteil des kurzkettigen PFBA, gefolgt von den weiteren Carbonsäuren bis PFOA, die in allen Proben nachgewiesen werden konnten (siehe auch Tab. 1). Die längerkettigen Carbonsäuren PFNA und PFDA sowie die Sulfonsäuren PFBS, PFHxS und auch das in den Feststoffanalysen dominante PFOS sind zwar in vielen bis allen Proben messbar, aber in deutlich geringeren Konzentrationen, so dass ihr jeweiliger Anteil an der PFAS-Summe im Mittel kleiner als 5 % ist. Weitere Einzelstoffe, wie die langkettigen Carbonsäuren PFUnA, PFDoA und PFTrA, die Sulfonsäuren PFPes, PFHpS und PFDS sowie der PFOS-Ersatzstoff H4PFOS und PFOSA, konnten nur an wenigen Standorten in geringer Konzentration nachgewiesen werden.

3.3 Diskussion und Bewertung

Die in den Böden hessischer BDF bisher gemessenen PFAS-Gehalte erscheinen plausibel. Die sowohl im Feststoff als auch im Eluat höheren Werte in den Oberböden der Waldflächen im Vergleich zu den landwirtschaftlich genutzten Standorten können durch den Auskämmeffekt der Baumvegetation begründet werden, der einen höheren atmosphärischen Stoffeintrag bedingt. Weiterhin dürften die variierenden Entnahmetiefen (zwischen 2 und 10 cm, horizontbezogene Probennahme), die hohen Humusgehalte sowie die geringen Trockenrohdichten in den Waldoberböden eine Rolle spielen.

Beim Vergleich der Acker- und Grünland-BDF wurden in den Oberböden der Ackerflächen im Mittel geringere PFAS-Gehalte gemessen als auf den Grünlandstandorten. Bedingt wird dies durch die Unterschiede in der Bodenbearbeitung und die daraus folgenden unterschiedlichen Entnahmetiefen bei der horizontbezogenen Probennahme (i. d. R. Acker 0–30 cm, Grünland 0–10 cm): Durch die pflügende Bodenbearbeitung wird der Boden bei Ackernutzung innerhalb der oberen 30 cm vermischt, was zu einer Verdünnung der atmosphärischen Immissionen führt, während sich die Einträge im Grünland, welches nicht bearbeitet wird, in den oberen Zentimetern anreichern können.

Analog zu anderen persistenten organischen Schadstoffen und einigen Schwermetallen bilden die Grünland-BDF in rezenten Auenbereichen – und hier zuvorderst die BDF Biebesheim in der Rheinaue – auch für PFAS einen Belastungsschwerpunkt innerhalb der hessischen Boden-Dauerbeobachtung. Zusätzlich zu den atmosphärischen Depositionen werden diese Flächen während der mehr oder minder regelmäßig auftretenden Hochwasserereignisse durch fluviale Stoffeinträge beaufschlagt. Dies zeigte z. B. eine zusätzliche Analyse von Hochflutsedimenten, die auf der BDF in Biebesheim im Juni 2024 abgelagert wurden. Zwar waren die PFAS-Gehalte in den Sedimenten sowohl im Feststoff als auch im Eluat deutlich niedriger als die gemessenen Gehalte in den Oberböden (ca. ein Fünftel im Feststoff, ein Zehntel im Eluat), trotzdem waren viele Einzelstoffe nachweisbar. Dominant war dabei weiterhin der PFOS-Eintrag (Daten nicht gezeigt).

Im Vergleich zu bisherigen PFAS-Untersuchungen in Hessen konnten in den aktuellen Analysen vor allem im Hinblick auf die empfindlicheren Feststoffmessungen eine bessere Datengrundlage geschaffen werden. So wurden bei einer in den Jahren 2015–2022 durchgeführten hessenweiten Untersuchung von

Auenböden aufgrund der damals um einen Faktor 10 höheren Bestimmungsgrenze nur in gut der Hälfte der knapp 100 Flächen PFAS im Feststoff bestimmt [17].

Auch andere Bundesländer haben im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung Untersuchungen auf PFAS durchgeführt: Baden-Württemberg hat bereits 2016 Rückstellproben und in den folgenden Jahren auch aktuell entnommene Proben untersucht [18]. 2020 wurden PFAS in landwirtschaftlich genutzten BDF-Standorten Schleswig-Holsteins gemessen [19]. In Rheinland-Pfalz wurde das BDF-Untersuchungsspektrum wie in Hessen seit 2022 um PFAS-Analysen erweitert [20]. In manchen Bundesländern, wie Nordrhein-Westfalen oder Bayern, wurden bzw. werden zur Ableitung länderspezifischer Hintergrundwerte darüber hinaus spezielle PFAS-Messprogramme mit umfangreichen Probennahmen durchgeführt [21, 22, 23]. Die bisherigen Ergebnisse hessischer BDF zeigen teilweise gute Vergleichbarkeiten mit diesen Untersuchungen, teils gibt es aber auch Unterschiede: So konnten in Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein im Feststoff nur in wenigen Proben PFAS oberhalb der Bestimmungsgrenze gemessen werden, da diese damals für den Bereich der Hintergrundbelastung zu hoch lag. Beim Vergleich der Eluatanalysen liegen vor allem die bisher gemessenen PFAS-Konzentrationen in den Wald-Oberböden in Hessen durchschnittlich höher als in Baden-Württemberg. Bei den Ergebnissen aus Schles-

wig-Holstein fällt auf, dass die Werte für Acker und Grünland im Mittel gleich sind, während in Hessen die Konzentrationen im Grünland durchschnittlich höher sind. Die PFAS-Untersuchungen der Forst-BDF von Hessen und Rheinland-Pfalz lassen sich hingegen trotz einiger methodischer Unterschiede überwiegend gut miteinander vergleichen, auffällig sind allerdings die im Mittel deutlich niedrigeren Feststoffgehalte in den hessischen Humusauflagen [20]. Sehr gut stimmen die bisherigen Ergebnisse mit den Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen überein, da die Proben im gleichen Labor nach den gleichen Verfahren gemessen wurden [21, 22].

Zur Evaluierung der hessischen Messungen können zukünftig auch die Ergebnisse des vom Umweltbundesamt (UBA) durchgeföhrten Forschungsprojektes zur Ableitung bundesweiter PFAS-Hintergrundwerte in landwirtschaftlich genutzten Oberböden herangezogen werden. Im Rahmen dieses, auch vom HLNUG unterstützten Messprogrammes wurden insgesamt 27 Acker- und Grünlandstandorte in Hessen beprobt. Bei 17 dieser Standorte handelte es sich um Flächen der Boden-Dauerbeobachtung, so dass in diesen Fällen die Ergebnisse verglichen werden können. Erste Auswertungen zum Projekt stellte das UBA auf der internationalen Tagung „PFAS in soil – forever pollution, forever concern?“ im Frühjahr dieses Jahres in Berlin vor [24].

Tab. 2: PFAS-Prüfwerte der BBodSchV [25] für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser am Ort der Probennahme und im Sickerwasser am Ort der Beurteilung sowie Gesundheitliche Orientierungswerte (GOW)

Einzelstoff	Prüfwert [$\mu\text{g}/\text{L}$]	GOW [$\mu\text{g}/\text{L}$]
PFBA	10	
PPPeA		3
PFHxA	6	
PFHpA		0,3
PFOA	0,1	
PFNA	0,06	
PFDA		0,1
PFBS	6	
PFHxS	0,1	
PFHpS		0,3
PFOS	0,1	
PFOSA		0,1
H4PFOS (6:2 FTSA)		0,1

Für die Bewertung von PFAS-Feststoffgehalten gibt es bisher keinerlei gesetzlichen Beurteilungsmaßstäbe. In der 2023 in Kraft getretenen, novellierten Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [25] wurden aber für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser Prüfwerte für insgesamt sieben PFAS-Einzelstoffe im Eluat eingeführt, die den von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Boden (LABO) festgelegten Geringfügigkeitsschwellenwerten (GFS) für Grundwasser entsprechen [26]. Bei Überschreitung der Prüfwerte besteht der Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung und erfordert ggf. eine einzelfallbezogene Prüfung. Im Leitfaden zur PFAS-Bewertung [10] wird empfohlen, darüber hinaus für weitere Einzelstoffe die Gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW) heranzuziehen. Tabelle 2 listet die entsprechenden Werte. Die GFS und GOW sollen vorerst auch zur Beurteilung der Verwertbarkeit von Bodenmaterial Anwendung finden – werden die entsprechenden Konzentrationen im Eluat eingehalten, kann ein uneingeschränkter offener Einbau des Bodenmaterials erfolgen.

In den bisherigen BDF-Untersuchungen wird der Prüfwert für PFOA von 0,1 µg/L in insgesamt sieben BDF-Standorten im Oberboden und/oder in den darunter folgenden Proben überschritten. Es handelt sich dabei um zwei Wald-BDF – Frankfurt-Nied im Bereich der Nidda-Aue und Königsstein im Hochtaunuskreis, drei Grünland-BDF in der Fulda-, Main- und Rheinaue sowie zwei Acker-BDF, gelegen im Main-Kinzig-Kreis und im Wetteraukreis. Auf einer der Acker-BDF ist eine Beaufschlagung mit Klärschlamm bekannt, der potenziell eine weitere Eintragsquelle zusätzlich zur diffusen atmosphärischen Deposition darstellen könnte.

Die insgesamt höchste PFOA-Konzentration wurde mit 0,86 µg/L in einer Tiefe von 20–30 cm an der im Überschwemmungsbereich des Rheins gelegenen BDF Biebesheim gemessen und überschreitet den Prüfwert um mehr als das Achtfache. Außerdem wird dort in den beiden Proben von 10–30 cm mit 0,39 µg/L bzw. 0,5 µg/L der Prüfwert für PFOS deutlich überschritten. Weitere Prüfwerte und auch GOW-Werte werden in den bisherigen Messungen nicht erreicht.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund zunehmender Relevanz in der Umweltbeobachtung und auch im vorsorgenden Bodenschutz wurde die Analytik auf die große Stoffgruppe der PFAS im Jahr 2022 in das reguläre Untersuchungsspektrum der hessischen Boden-Dauerbeobachtung aufgenommen. Aktuell konnten Untersuchungsergebnisse von 41 der insgesamt 68 hessischen BDF-Standorte ausgewertet werden.

Die Humusauflage- und Mineralbodenproben der Standorte unter Wald-, Grünland-, Acker- und Weinbau-Nutzung wurden nach einheitlicher Methodik auf 23 PFAS-Einzelstoffe im Feststoff und Eluat untersucht. Dabei wurden die im Leitfaden zur PFAS-Bewertung [10] und vom Fachbeirat Bodenuntersuchungen veröffentlichten Empfehlungen zum methodischen Vorgehen bei der Bestimmung von niedrigen PFAS-Gehalten in Böden [11] so gut wie möglich umgesetzt: Mit dem TZW wurde ein Labor ausgewählt, welches insbesondere im Feststoff eine niedrige Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg TS durchgehend einhalten konnte. Um eine Vergleich-

barkeit mit anderen Untersuchungen im Hintergrundbereich zu gewährleisten, wurden auch die Empfehlungen hinsichtlich der Probenvorbereitung (v. a. einheitliche Trocknung der Proben vor der Elution) berücksichtigt.

Mit diesen durchgängig niedrigeren Bestimmungsgrenzen konnten PFAS an allen BDF Standorten nicht nur im Eluat, sondern erstmals auch im Feststoff nachgewiesen werden. Das ubiquitäre Vorkommen dieser Schadstoffgruppe in den Böden, was bereits bei Untersuchungen in anderen Bundesländern festgestellt wurde [z. B. 18, 19, 21], kann somit auch für Hessen bestätigt werden. Dabei sind die Ergebnisse gut mit aktuelleren Untersuchungen, die analoge Methoden angewendet haben, vergleichbar [20, 21, 22]. Im Hinblick auf den Einfluss der jeweiligen Landnutzung ist zu erkennen, dass sowohl die Feststoffgehalte als auch die Konzentrationen in den Eluaten der Oberböden durchschnittlich in der Reihenfolge Acker < Grünland < Wald zunehmen. Höhere Gehalte konnten vor allem auf Grünlandflächen

in Überschwemmungsbereichen größerer Flüsse sowie auf höher gelegenen Waldstandorten gemessen werden. Die Vergleichbarkeit der Stoffspektren deutet darauf hin, dass an den meisten Standorten – mit Ausnahme der Auenstandorte, die zusätzlich während Überschwemmungereignissen stofflich beaufschlagt werden – die diffuse, atmosphärische Deposition der Haupteintragspfad für PFAS in die Böden sein dürfte.

Zur Quantifizierung der atmosphärischen Einträge und einer Untersuchung der PFAS-Stoffflüsse wäre es sinnvoll, neben der Gehaltsbestimmung im Boden auch Immissions- und Sickerwassermessungen durchzuführen. Laut einer Studie aus Baden-Württemberg besteht allerdings bezüglich der eingesetzten Materialien und Techniken bei Depositions- und Bodenwassermessungen noch großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf, insbesondere bei Untersu-

chungen im Bereich der Hintergrundbelastung [27].

Die bisherigen Auswertungen geben bereits einen guten ersten Überblick über die ubiquitäre Hintergrundbelastung der hessischen Böden mit PFAS. Trotzdem ist die Untersuchung der bisher noch nicht auf PFAS analysierten BDF sowie einiger weiterer Grünland- und Wald-Standorte notwendig, um eine statistisch hinreichende Datengrundlage zur Ableitung valider nutzungsdifferenzierter hessischer Hintergrundwerte nach den Vorgaben der LABO [28] zu gewährleisten. Die Berechnung von PFAS-Hintergrundwerten insbesondere aus Feststoffanalysen ist eine wichtige Voraussetzung für die zukünftige Ableitung entsprechender Feststoff-Vorsorgewerte gemäß den Vorgaben des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG). Diese Vorsorgewerte werden unter anderem dringend für die rechtlichen Regelungen zur schadlosen Verwertung von Bodenmaterial benötigt.

Literatur

- [1] BARTH, N., BORHO, W., CORDSEN, E., HELLER, C., HÖPER, H., LUDWIG, B., MARX, M., MEESENBURG, H., SPÖRLEIN, P. & WELLER, M. (2022): Einrichtung, Betrieb und Auswertung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – In: KÖNIG, W. & UTERMANN, J. (Hrsg.): Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. – 3. Band: 9060, 151 S.; Berlin (Erich Schmidt Verlag).
- [2] HLfB – Hessisches Landesamt für Bodenforschung (1998): Böden im Wandel. Dauerbeobachtung von Böden in Hessen. – Geologie in Hessen 2; Wiesbaden.
- [3] HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: Boden-Dauerbeobachtung. [<https://www.hlnug.de/themen/boden/erhebung/boden-dauerbeobachtung>; Stand: 22.09.2025]
- [4] OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2022): Fact cards of major groups of per- and polyfluoroalkylsubstances (PFASs). – Series on Risk Management No. 68, 104 S.; Paris. [https://substitution-perfluorines.ineris.fr/sites/substitution-perfluorines/files/documents/fact_cards_of_major_groups_of_per_and_polyfluoroalkyl_substances_pfass_ocde_2022.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [5] UBA – Umweltbundesamt (2025): Discussion paper “PFAS in soil – Time to act together”. An outcome of the international conference “PFAS in soil – forever pollution, forever concern?” held in Berlin, March 2025. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/dokumente/pfasinsoil_conference_2025_discussionpaper_final.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [6] LÜGGER, K. & HELLER, C. (2024): Boden als Zeitzeuge – die Bodenprobenbank des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG). – Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen – Ausgabe 2024: 14–19; Wiesbaden. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Boeden_Altlasten_Newsletter_2024_Web.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [7] HLNUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2010): Perfluorierte Chemikalien (PFC) in Hessen – Untersuchungsprogramm des HLNUG. – 95 S.; Wiesbaden.
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] 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. – 56 S.; Bonn.

- [11] 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: 22.09.2025].
- [12] LANGE, F.T., SCHEURER, M., BIERRETH, C., BORHO, W., SEEGER, A.-K., DREHER, P. & NÖLTNER, T. (2021): 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>]
- [13] DIN 19529 (2023): Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltnisses von anorganischen und organischen Stoffen bei einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.
- [14] 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).
- [15] 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.
- [16] REINHARDT, M. & HELD, T. (2018): PFC-Belastungen in Mittel- und Nordbaden. Modellstudie zur Untersuchung des Eintrags von PFC aus belasteten Böden in das Grundwasser – Schlussbericht. [https://rpk.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Karlsruhe/Abteilung_5/Referat_52/Stabsstelle_PFC/_DocumentLibraries/Documents/0_pfc_forsch_modellstudie.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [17] LÜGGER, K., DIEHL, N., KLEIN, B. & STEINICKE, C. (2024): Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in hessischen Auenböden. – Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen, Ausgabe 2024: 20–34. [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/Boeden_Altlasten_Newsletter_2024_Web.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [18] LUBW -Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2021): Sachstandsbericht: PFAS – in Böden von Bodendauerbeobachtungsflächen. Ergebnisse aus drei Untersuchungsphasen. – Karlsruhe. [https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10215-Ergebnisse_aus_drei_Untersuchungsphasen.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [19] 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: 22.09.2025]
- [20] HELLER, C., DRUSBA, A. & LÜGGER, K. (2025): Monitoring von PFAS in der Boden-Dauerbeobachtung: Ergebnisse aus Hessen und Rheinland-Pfalz. – Posterpräsentation auf der Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Trier [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/bodendauerbeobachtung/20250901_DBG_2025_PFAS.pdf; Stand: 11.12.2025].
- [21] LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2024): Hintergrundgehalte und -werte von PFAS in Böden ländlicher Gebiete in Nordrhein-Westfalen. – LANUV-Fachbericht 150, 66 S., Recklinghausen.
- [22] MISKOVIC, D. & MERSMANN, M. (2025): Hintergrundgehalte und -werte von PFAS – Ergebnisse für Böden ländlicher Regionen in Nordrhein-Westfalen. – Zeitschrift für Bodenschutz 3/25: 94–104.
- [23] 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/pfas/fachtagungen/doc/pfas24/02_pfas_24_deinzer_hangen.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [24] GEHRENKEMPER, L., SCHMIDT, S. & ZAHL, R. (2025): PFAS content occurring in agricultural top soils representative for rural areas in Germany. – Vortrag auf der Tagung „PFAS in soil – forever pollution, forever concern?“ des UBA am 25.–26. März 2025 in Berlin. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2875/dokumente/pfas_gehrenkemper_mersmann.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [25] BBodSchV (2021): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716).
- [26] LAWA – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2017): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser – Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC). [https://www.lawa.de/documents/03_anlage_3_bericht_gfs_fuer_pfc_endfassung_22_11_2017_2_1552302208.pdf; Stand: 22.09.2025]

- [27] LUBW – Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (Hrsg.) (2024): Beurteilung der Eignung von Depositionssammeln und Saugkerzen hinsichtlich der Probennahme für die PFAS-Analytik – Ergebnisse einer nicht-experimentellen Studie. – 26 S., Karlsruhe. [https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10707-Ergebnisse_einer_nicht-experimentellen_Studie.pdf; Stand: 22.09.2025]
- [28] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – 4. überarbeitete und ergänzte Auflage. [https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO_Fassung_HGW_Bericht_02_2017.pdf; Stand: 22.09.2025]

Neubebauung trotz Grundwasserkontamination?

VOLKER ZEISBERGER*

Ein wichtiges Ziel der Altlastenbearbeitung ist, verunreinigte Flächen zu revitalisieren, das heißt, sie für den Menschen wieder nutzbar zu machen und damit auch zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen beizutragen. Dieses Ziel verpflichtet die

Sanierungsverantwortlichen, nicht nur eine aktuelle Gefahrensituation zu beseitigen, sondern einen eingetretenen Schaden auch dann zu beheben, wenn von ihm gegenwärtig keine weitere Gefahr ausgeht.

Einleitung

Bei der Altlastenbearbeitung kann folgende Situation auftreten: Durch eine Altlast werden leichtflüchtige Schadstoffe freigesetzt, die eine Grundwasserverunreinigung verursachen. Typische leichtflüchtige Schadstoffe sind die sogenannten BTEX-Aromaten wie Benzol, Toluol und Xylole sowie leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe (LCKW). Das verunreinigte Grundwasser breitet sich aus und unterströmt ein Grundstück, das bebaut werden soll. Dann könnten leichtflüchtige Schadstoffe aus dem Grundwasser ausgasen und über die Bodenluft in die Innenraumluft der neu errichteten Gebäude gelangen. Bei geplanten Baumaßnahmen ist daher zu prüfen, ob gesunde Wohn- bzw. Arbeitsverhältnisse trotz der Grundwasserverunreinigung gewahrt werden können.

Zu dieser Thematik fehlen im deutschsprachigen Raum bisher konkrete Hilfestellungen. Daher wurde von der Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) die Erstellung der Arbeitshilfe

„Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden“ [1] veranlasst. Die fachlichen Rahmenbedingungen wurden vom Altlastenausschuss (ALA) der LABO festgelegt. Erstellt wurde die Arbeitshilfe durch eine Arbeitsgruppe des ALA-Gesprächskreises „Schadstoffbewertung“ unter Obmannschaft des HLNUG.

In der Arbeitshilfe werden sogenannte „Hinweiswerte“ für die häufigen Schadstoffe BTEX und LCKW abgeleitet. Unterschreiten die im Grundwasser gemessenen BTEX-/LCKW-Konzentrationen diese Hinweiswerte, kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden. Außerdem werden Hinweise gegeben, wie bei günstigen Randbedingungen (biologisch abbaubare Schadstoffe, großer Grundwasserflurabstand) vorgegangen werden kann.

Vorgehensweise bei ungünstigen Fallkonstellationen

Im ersten Teil der Arbeitshilfe wird das Vorgehen bei einem worst-case-Szenario beschrieben. Hierbei werden folgende Annahmen getroffen:

- Die leichtflüchtigen Schadstoffe BTEX/LCKW liegen im obersten Bereich des Grundwassers vor (nur dann können Schadstoffe aus dem Grundwasser in die Bodenluft ausgasen).
- Beim Übergang von BTEX/LCKW aus dem Grundwasser in die Bodenluft stellt sich ein Verteilungsgleichgewicht ein, das durch die Henry-

Konstante (K_{Henry}) beschrieben wird. Ist die BTEX/LCKW-Konzentration im Grundwasser bekannt, errechnet sich mittels der Henry-Konstante die maximal mögliche Schadstoffkonzentration in der Bodenluft.

- Der Grundwasserflurabstand (Abstand zwischen der Bodenplatte des geplanten Gebäudes und der Grundwasseroberfläche) ist gering, so dass eine Konzentrationsminderung in der Bodenluft durch Verdünnungsprozesse vernachlässigbar ist.

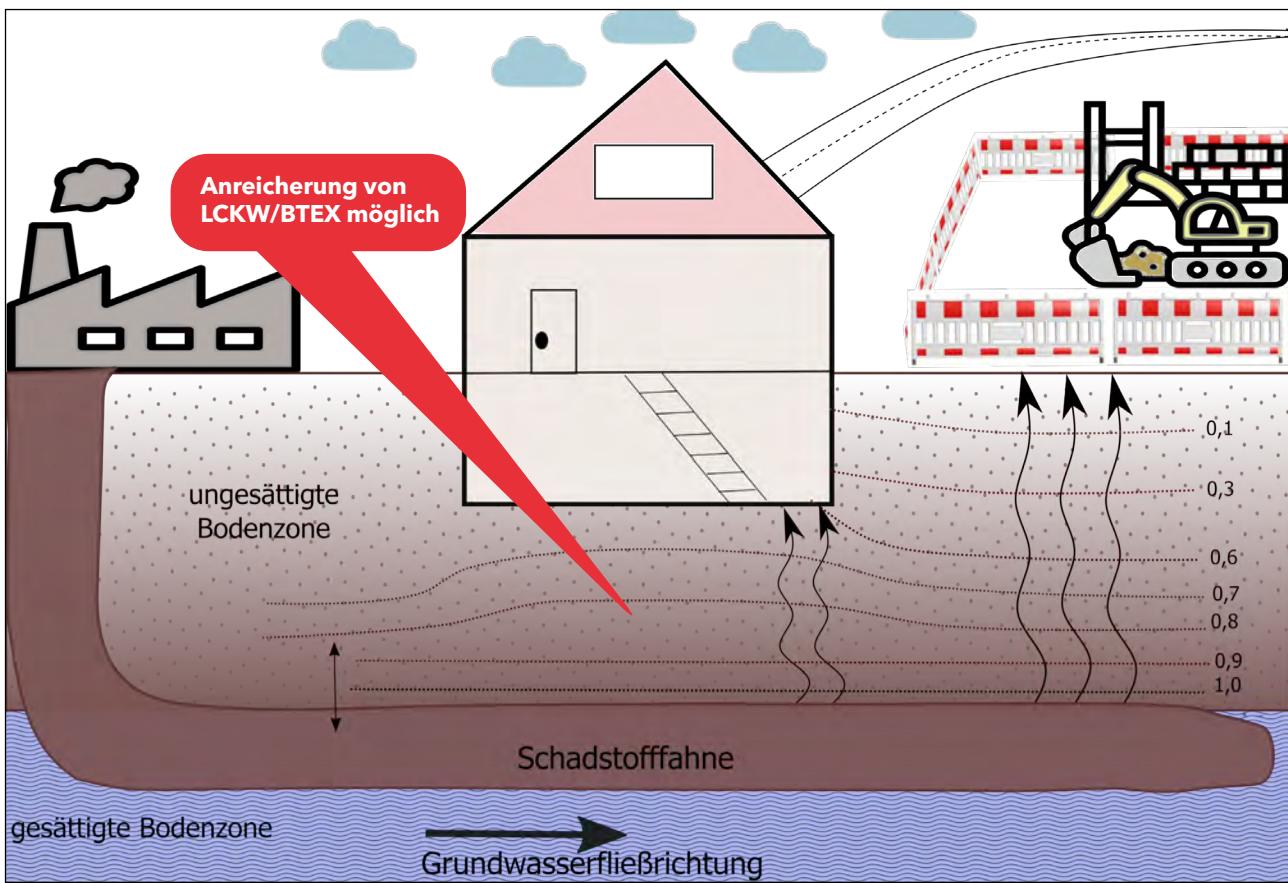


Abb. 1: Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft bei Schadstofffahnen im Grundwasser; Bildmitte: Anreicherung von Schadstoffen (BTEX/LCKW) unterhalb des Gebäudes ([1] verändert).

- Beim Übergang von der Bodenluft in die Innenraumluft findet eine Konzentrationsminderung um den Faktor 1 000 statt. Dieser sogenannte Transferfaktor ist in bundesweiten Arbeitshilfen etabliert [2].

Bei der worst-case-Fallgestaltung reichern sich BTEX/LCKW unterhalb der Bodenplatte eines Gebäudes an (vgl. Abbildung 1 mittlerer Bereich). Dagegen ist im rechten Teil der Abbildung 1 erkennbar, dass in unversiegelten Bereichen keine Anreicherung von BTEX/LCKW stattfindet.

Für das worst-case-Szenario können tolerable Grundwasser-Konzentrationen für BTEX/LCKW aufgrund der nachfolgenden Überlegungen hergeleitet werden:

- Im ersten Schritt sind tolerable Innenraumluft-Konzentrationen zu ermitteln, wie sie beispielsweise vom Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) veröffentlicht wurden [3].

Tab. 1: Hinweiswerte für das Grundwasser [$\mu\text{g}/\text{L}$]; bei deren Unterschreitung kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Leichtflüchtige Stoffe	Hinweiswerte für Grundwasser [$\mu\text{g}/\text{L}$]
BTEX	
Benzol	40
Toluol	2 000
Ethylbenzol	1 000
Xylole	900
Styrol	600
LCKW	
Dichlormethan	1 000
Trichlormethan	30
Tetrachlormethan	5
1,2-Dichlorethen	40
Chlorethen (Vinylchlorid)	3
cis-1,2-Dichlorethen	100
Trichlorethen	100
Tetrachlorethen	200

- Diese Werte werden mit dem Transferfaktor 1 000 (s. o.) multipliziert. Als Zwischenergebnis erhält man tolerable Bodenluft-Konzentrationen.
- Im letzten Schritt wird über das Verteilungsgleichgewicht zwischen Bodenluft und Grundwasser (unter Verwendung der jeweiligen Henry-Konstante) eine tolerable Grundwasser-Konzentration für einzelne BTEX/LCKW errechnet.

Die tolerablen Grundwasser-Konzentrationen werden in der Arbeitshilfe als „Hinweiswerte“ bezeichnet. Bei Unterschreitung dieser Werte (siehe Tabelle 1) kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Für die Bauplanung ist von besonderer Bedeutung, dass auch bei vergleichsweise hohen Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser eine Bebauung möglich ist, sofern die o. g. Hinweiswerte unterschritten werden. Dies soll am Beispiel des Schadstoffs Benzol erläutert werden: Bereits bei einer Grundwasser-Konzentration 1 µg/L Benzol liegt aus wasserrechtlicher Sicht eine nachteilige Veränderung des Grundwassers bzw. ein Grundwasserschaden vor [4]. Solange jedoch die Benzol-Konzentration 40 µg/L unterschreitet (Hinweiswert aus Tabelle 1), kann eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Vorgehensweise bei günstigen Fallkonstellationen

Das oben beschriebene worst-case-Szenario kann zu einer deutlichen Überschätzung der Beeinträchtigung von gesundem Wohnen und Arbeiten führen. Daher wird im zweiten Teil der LABO-Arbeitshilfe das Vorgehen bei günstigen Fallkonstellationen beschrieben. Diese liegen insbesondere in folgenden Fällen vor:

- Die Schadstoffe sind in der ungesättigten Bodenzone gut abbaubar (z. B. BTEX) und/oder
- der Flurabstand des Grundwassers (Abstand

Bodenplatte zur Grundwasseroberfläche) ist groß und/oder

- die versiegelte Gebäudefläche ist klein.

Die Einflussgrößen Abbaubarkeit, Flurabstand und Gebäudefläche wurden in Arbeitshilfen aus den USA [5] und aus Australien [6] statistisch ausgewertet, wobei Feldmessungen von Grundwasser-, Bodenluft- und Innenraumluftproben sowie numerische Modellierungen berücksichtigt wurden. Die umfangreiche

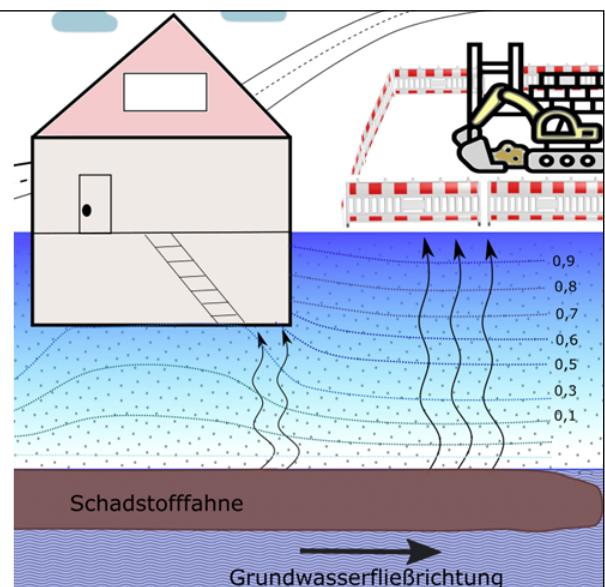
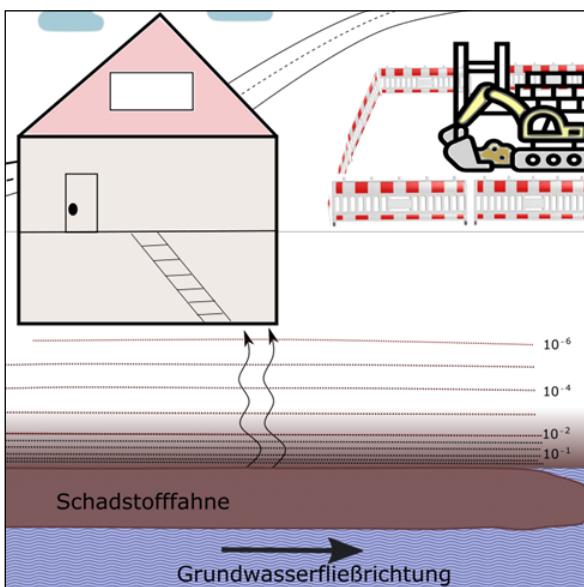


Abb. 2: Auf dem linken Bild ist die relative Konzentration von Benzol in der Bodenluft schematisch dargestellt. Auf dem rechten Bild ist die relative Sauerstoff-Konzentration dargestellt (in Anlehnung an US-EPA [5]).

Datenbasis ermöglicht eine Einschätzung, ob unter bestimmten Randbedingungen die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewahrt werden können. In der LABO-Arbeitshilfe wird zwischen den beiden Schadstoffgruppen BTEX und LCKW unterschieden. Am Beispiel einer Benzol-Grundwasserverunreinigung wird im Folgenden die Vorgehensweise skizziert.

Bei den aerob abbaubaren BTEX-Schadstoffen wie Benzol ist entscheidend, ob ausreichend Luftsauerstoff im Bereich zwischen Kellersohle und Grundwasser vorhanden ist. Bei ausreichender Sauerstoffversorgung nehmen die Benzol-Konzentrationen (Abb. 2, linkes Bild) von unten nach oben sehr rasch ab, da Sauerstoff (Abb. 2, rechtes Bild) für den Schadstoffabbau ausreichend zur Verfügung steht.

In Abbildung 3 wird am Beispiel von Benzol gezeigt, wie gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse bei einer Neubebauung geprüft werden können:

Die Benzol-Konzentration im Grundwasser beträgt im Beispieldfall 200 µg/L, dargestellt durch den waagerechten blauen Pfeil.

Fazit

Die Fragestellung „Kann im Bereich einer Grundwasserverunreinigung eine Neubebauung erfolgen, ohne dass die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse der künftigen Bewohner beeinträchtigt werden?“ betrifft eine Vielzahl von Akteuren, insbesondere Altlasten-, Bauplanungs- und Gesundheitsbehörden sowie Ingenieurbüros und Bauherren.

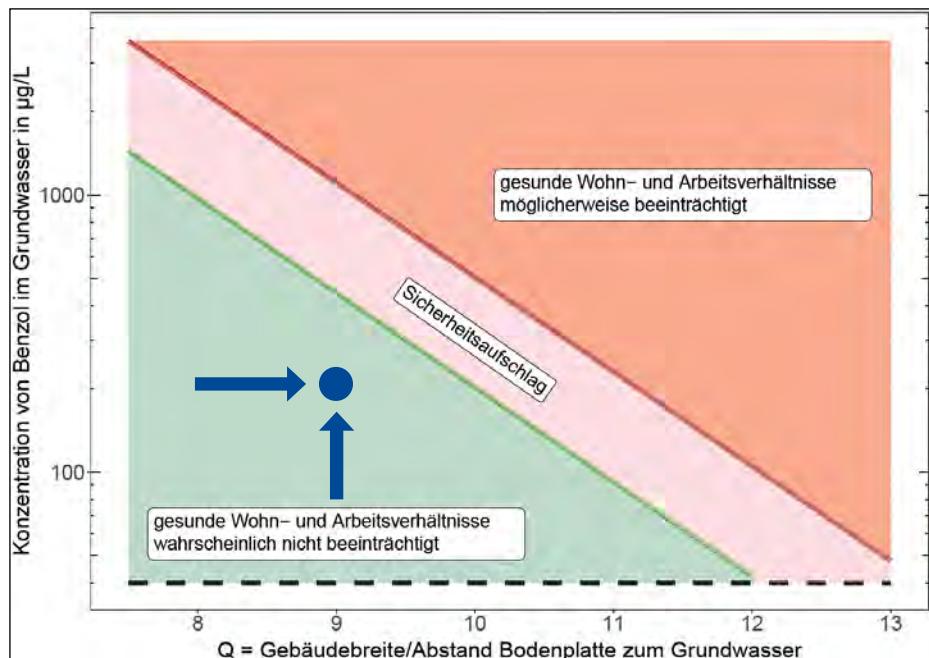


Abb. 3: Grafik (basierend auf [1] und [6]) hinsichtlich der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse betreffend das Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft. Das Beispiel gilt für eine Benzol-Konzentration von 200 µg/l und für ein Q von 9; in diesem Fall sind die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse wahrscheinlich nicht beeinträchtigt.

Das Verhältnis „Gebäudebreite“ zu „Abstand Bodenplatte zum Grundwasser“ weist einen Wert von 9 auf (dies ist beispielsweise bei einer „Gebäudebreite“ von 18 m und einem „Abstand Bodenplatte zum Grundwasser“ von 2 m der Fall, da $18 \div 2 = 9$), dargestellt durch den senkrechten blauen Pfeil

Die beiden Pfeile treffen sich im grünen Feld. Unter diesen Randbedingungen sind die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse wahrscheinlich nicht beeinträchtigt.

Die neue LABO-Arbeitshilfe schließt hierzu im deutschsprachigen Raum eine Lücke. Neben dem Vorgehen bei worst-case-Szenarien wird das Vorgehen bei vergleichsweise günstigen Fallgestaltungen dargestellt. Weiterhin gibt die Arbeitshilfe Hinweise zu baulichen Sicherungsmaßnahmen, falls eine Beeinträchtigung für die Bewohner nicht ausgeschlossen werden kann.

Literatur

- [1] LABO (2024): Arbeitshilfe zur Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden. [https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-03-AH_Leichtfluechter.pdf; Stand 09.2024]
- [2] LABO (2008): Bewertungsgrundlagen für Schadstoffe in Altlasten – Informationsblatt für den Vollzug. Ständiger Ausschuss Altlasten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz, https://www.labo-deutschland.de/documents/34_Infoblatt_Altlasten_01092008_e69_34f_2.pdf; Stand 09.2009]
- [3] UBA (2012): Richtwerte für die Innenraumluft: erste Fortschreibung des Basisschemas – Mitteilung der Ad-hoc Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Kommission Innenraumlufthygiene und der Oberssten Landesbehörden. In: Bundesgesundheitsblatt Umweltbundesamt. 2012 · 55; Springer Verlag
- [4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (2016): Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser (Aktualisierte und überarbeitete Kurzfassung) [https://www.lawa.de/documents/geringfuegigkeits_bericht_seite_001-028_1552302313.pdf]
- [5] US-EPA (2015): Technical Guide For Addressing Petroleum Vapor Intrusion At Leaking Underground Storage Tank Sites. [<https://www.epa.gov/ust/technical-guide-addressing-petroleum-vapor-intrusion-leaking-underground-storage-tank-sites>; Stand 01.10.2024]
- [6] Australia CRC Care (2013): Petroleum hydrocarbon vapour intrusion assessment - australian guidance. Technical Report 23 [<https://crccare.com/wp-content/uploads/2022/12/CRCCARETechreport23-Petroleumhydrocarbonvapourintrusionassessment-Australianguidance2.pdf>]
- [7] US-EPA (2012): EPA's Vapor Intrusion Database: Evaluation and Characterization of Attenuation Factors for Chlorinated Volatile Organic Compounds and Residential Buildings. <https://www.epa.gov/vaporintrusion/epas-vapor-intrusion-database-evaluation-and-characterization-attenuation-factors>; Stand 01.10.2024]
- [8] GILLBRICH, C. A. (2019): Anmerkungen zur Berücksichtigung von Belastungen der Bodenluft im Bauverfahren. *Altlasten Spektrum*. 1/2019

Neues Excel-Tool zur Prüfung des PAK-Musters

MATTHIAS ADAM, FLORIAN SCHALLER*

1 Einleitung

Die Prüfwerte für Polzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) für den Wirkungspfad Boden-Mensch nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV [1]) wurden aufgrund von PAK-Gemischen, wie sie auf typischen Altlastenstandorten vorkommen, festgelegt. Daher sind etwaige Abweichungen von den typischen PAK-Mustern bei Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen. In diesem Artikel wird ein neues Excel-Tool vorgestellt, mit dem das Vorliegen eines für Altlastenstandorte typischen PAK-Musters geprüft werden kann.

Bei den PAK handelt es sich um eine große Stoffgruppe organischer Verbindungen, die jeweils aus mindestens zwei kondensierten Benzolringen bestehen (verschiedene Quellen gehen von geschätzten 10 000 Verbindungen aus). PAK entstehen durch unvollständige Verbrennung oder Pyrolyse organischer Stoffe wie z. B. Kohle, Öl oder Holz und kommen zudem in einigen fossilen Rohstoffen vor. Sie sind schwer abbaubar und reichern sich daher in der Umwelt an. Die akute Toxizität ist vergleichsweise gering, jedoch werden zahlreiche PAK als kanzerogen (krebsfördernd) eingestuft. Zur analytischen Erfassung dieser großen Stoffgruppe wurden im Jahr 1977 durch die US-Umweltbehörde (EPA) stellvertretend 16 Einzelverbindungen ausgewählt (sog. EPA-PAK). Dabei handelt es sich um häufig

vorkommende und gut analysierbare Vertreter, die i. d. R. bei Fragestellungen im Zusammenhang mit PAK herangezogen werden.

Zur Beurteilung von PAK-Belastungen wurden in der BBodSchV in der Fassung von 1999 [2] für den Wirkungspfad Boden-Mensch Prüfwerte für den bekanntesten und stark kanzerogenen Vertreter Benzo(a)pyren (BaP) festgelegt. Somit wurde für die gesamte Stoffgruppe der PAK ausschließlich die toxikologische Wirkung des Einzelstoffes BaP berücksichtigt. PAK liegen in der Umwelt jedoch immer als Gemische mehrerer Einzelsubstanzen vor. Diese Tatsache wurde in der Novellierung der BBodSchV (2021, [1]) berücksichtigt, indem BaP als stellvertretende Bezugssubstanz für die typischen PAK-Gemische auf PAK-typischen Altlastenstandorten (ehemaligen Kokereien, ehemaligen Gaswerksgeländen und ehemaligen Teermischwerken/-öllager) festgelegt wurde und die Prüfwerte entsprechend angepasst wurden. Damit werden die toxischen Wirkungen aller Einzelstoffe in den typischen PAK-Gemischen berücksichtigt.

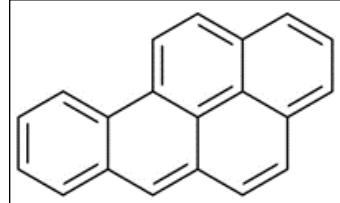


Abb. 1: Strukturformel von Benzo(a)pyren

2 PAK-Prüfwerte der BBodSchV

Für den Wirkungspfad Boden-Mensch sind in der BBodSchV (Anlage 2 Tabelle 4 [1]) folgende Prüfwerte

für „Polzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK₁₆) vertreten durch Benzo(a)pyren“ festgelegt:

Tab. 1: PAK-Prüfwerte vertreten durch Benzo(a)pyren für den Wirkungspfad Boden-Mensch nach Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV [1]

	Nutzungsart			
	Kinderspielflächen	Wohngebiete	Park- und Freizeitanlagen	Industrie- und Gewerbegrundstücke
Prüfwert (mg/kg TM)	0,5	1	1	5

Die Anwendung dieser Prüfwerte, die sich zunächst nur auf BaP beziehen, ist mit folgenden Anforderun-

gen verbunden (Fußnote 3 von Anlage 2 Tabelle 4 BBodSchV [1]):

„Der Boden ist auf alle PAK₁₆ hin zu untersuchen. Die Prüfwerte beziehen sich auf den Gehalt an Benzo(a)pyren im Boden. Benzo(a)pyren repräsentiert dabei die Wirkung typischer PAK-Gemische auf ehemaligen Kokereien, ehemaligen Gaswerksgeländen und ehemaligen Teermischwerken/-ölläger. Weicht das PAK-Muster oder der Anteil von Benzo(a)pyren an der Summe der Toxizitätsäquivalente im zu bewertenden Einzelfall deutlich von diesen typischen PAK-Gemischen ab, so ist dies bei der Anwendung der Prüfwerte zu berücksichtigen. Liegen die siedlungsbedingten Hintergrundwerte oberhalb der Prüfwerte für Benzo(a)pyren, ist dies bei der Bewertung der Untersuchungsergebnisse gemäß § 15 zu berücksichtigen.“

3 Anwendung der PAK-Prüfwerte

Die o. g. Anforderungen bedeuten, dass zur Anwendung der Prüfwerte verifiziert werden muss, ob die für die Prüfwertableitung zugrunde gelegten typischen Gemische vorliegen. Abweichungen vom typischen PAK-Muster sind insbesondere dann relevant, wenn neben BaP weitere stark kanzerogene PAK (vier und mehr Ringe) in untypisch hohen Gehalten vorhanden sind. In diesen Fällen kann eine gesonderte Einzelfallbetrachtung erforderlich sein.

Vor Anwendung der Prüfwerte muss also zunächst geprüft werden, ob

- das PAK-Muster der untersuchten Bodenprobe sowie
- der Anteil von BaP an der Gesamttoxizität der untersuchten Probe (ausgedrückt als Anteil an der Summe der Toxizitätsäquivalente)

mit den typischen PAK-Gemischen von ehemaligen Kokereien, ehemaligen Gaswerksgeländen und ehemaligen Teermischwerken/-öllägern vergleichbar ist. Hierzu ist die Analyse auf alle PAK₁₆ Voraussetzung.

4 Excel-Tool zur Prüfung des PAK-Musters und des BaP-Anteils

Die beiden in der BBodSchV geforderten Prüfschritte (PAK-Muster, Anteil von BaP an der Gesamttoxizität) können durch das vom HLNUG entwickelte Excel-Tool „PAK-Musterprüfung zur Anwendbarkeit der PAK-Prüfwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch nach BBodSchV“ (siehe auch [4]) automatisch durchgeführt werden, indem die Analysenergebnisse der Bodenprobe (16 EPA-PAK) dort in Spalte B eingegeben werden. Die Ergebnisse und Bewertungen der Prüfschritte werden im Tool wiedergegeben und farblich hervorgehoben. Abbildung 2 zeigt einen Ausschnitt aus dem Excel-Tool für den ersten Prüfschritt (PAK-Muster), Abbildung 3 für den zweiten Prüfschritt (Anteil von BaP an der Gesamttoxizität). Die Berechnungen und Erläuterungen basieren dabei auf der sächsischen Arbeitshilfe zur „Bewertung von Polzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch“ [3].

Sind die relativen PAK-Einzelsubstanz-Anteile (s. Abb. 2) alle „plausibel“ (grün hinterlegt) und liegt der Anteil von BaP an der Gesamttoxizität (s. Abb. 3) zwischen 30 % und 60 % (grün hinterlegt), kann der jeweilige Prüfwert aus der BBodSchV angewendet werden. Andernfalls ist ggf. eine Einzelfallbewertung erforderlich (s. Erläuterungen im Excel-Tool [4]). Von besonderer Relevanz sind die PAK mit hohem toxikologischem Potenzial: Benzo(b)fluoranthen, Benzo(a)pyren und Dibenzo(ah)anthracen.

Weitere Hinweise zur beschriebenen Prüfung des PAK-Musters und zur Ermittlung des resorptionsverfügbaren Anteils können der sächsischen Arbeitshilfe (s. o.) entnommen werden.

Bei Fragestellungen zu den zuvor genannten Aspekten, insbesondere zu Einzelfallbeurteilungen bei Abweichungen vom typischen PAK-Muster, steht das Dezernat G3 „Boden und Altlasten“ des HLNUG beratend zur Verfügung.

Tab. 2: Prüfung des PAK-Musters auf Plausibilität

A	B	F	G	H	
PAK-Einzelsubstanz	Eingabe: Gehalt im Boden [mg/kg TM]*	Prüfung des Benzo(a)pyren-Anteils Beträgt der Anteil von BaP an der Summe der ermittelten Toxizitätsäquivalente zwischen 30 % und 60 %?	Toxizitätsäquivalenzfaktor (TEF)	Toxizitätsäquivalent (TEQ) [mg/kg TM]	Anteil an Σ TEQ [%]
Naphthalin	0,06		0,01	0,0009	0,02
Acenaphthylene	0,09				
Acenaphthene	0,1				
Fluoren	0,12				
Phenanthren	2,88				
Anthracen	0,47		0,01	0,0047	0,10
Fluoranthen	6,17		0,01	0,0617	1,27
Pyren	4,48				
Benzo(a)anthracen	2,1		0,1	0,21	4,34
Chrysen	2,1		0,01	0,021	0,43
Benzo(b)fluoranthen	3		1	3	61,97
Benzo(k)fluoranthen	1,1		0,1	0,11	2,27
Benzo(a)pyren***	1		1	1	20,66
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,2		0,1	0,12	2,48
Dibenzo(ah)anthracen	0,3		1	0,3	6,20
Benzo(ghi)perlen	1,3		0,01	0,013	0,27
Σ TEQ				4,84	

Spalte F: Die vorgegebenen Toxizitätsäquivalenzfaktoren (TEF) beschreiben das kanzerogene Potenzial der PAK-Einzelparameter.

Spalte G: Zur Berechnung der Toxizitätsäquivalente (TEQ) wird der Analysenwert (Spalte B) mit dem Toxizitätsäquivalenzfaktor (Spalte F) multipliziert. Die Aufsummierung aller TEQ erfolgt in Feld G20 (**Σ TEQ**).

Spalte H: Berechnet wird der jeweilige prozentuale Anteil an der Summe der ermittelten Toxizitätsäquivalente.

Liegt der BaP-Anteil zwischen 30 % und 60 % wird der Wert grün markiert. Die PAK-Prüfwerte der BBodSchV können direkt angewendet werden.

Liegt der BaP-Anteil unter 30 % wird der Wert rot markiert. Es kann eine Risikounterschätzung angenommen werden, da neben BaP andere PAK-Verbindungen mit hohem toxischen Potenzial vorliegen. Auch bei Unterschreitung der PAK-Prüfwerte der BBodSchV kann ggf. Handlungsbedarf bestehen.

Liegt der BaP-Anteil über 60 % wird der Wert blau markiert. Es kann eine Risikoüberschätzung angenommen werden, da ein vergleichsweise hoher BaP-Anteil vorliegt. Im Falle einer nur geringfügigen Überschreitung der PAK-Prüfwerte der BBodSchV ist ggf. kein Handlungsbedarf erforderlich.

Tab. 3: Prüfung des Benzo(a)pyren-Anteils an der Gesamttoxizität

A	B	C	D	E	
PAK-Einzelsubstanz	Eingabe: Gehalt im Boden [mg/kg TM]*	Prüfung des PAK-Musters auf Plausibilität Werden die Anteils-Obergrenzen bezogen auf den Benzo(a)pyren (BaP) -Gehalt unterschritten?	Anteils- Obergrenzen bezogen auf BaP-Gehalt**	Normierte PAK- Messwerte auf BaP rel. Anteil PAK- Einzelsubstanz (Gehalt PAK- Einzelsubstanz ÷ Gehalt BaP)	rel. Anteil PAK- Einzelsubstanz ≤ Anteils- Obergrenze?
Naphthalin	0,06		160	0,04	prüfen
Acenaphthylene	22		5	13,75	plausibel
Acenaphthene	2		95	1,25	plausibel
Fluoren	0		110	0,00	plausibel
Phenanthren	2,88		140	1,80	plausibel
Anthracen	0,47		240	0,29	plausibel
Fluoranthen	6,17		55	3,86	plausibel
Pyren	4,48		30	2,80	plausibel
Benzo(a)anthracen	2,1		6	1,31	plausibel
Chrysen	2,1		5	1,31	plausibel
Benzo(b)fluoranthen	3,1		3	1,94	plausibel
Benzo(k)fluoranthen	1,1		3	0,69	plausibel
Benzo(a)pyren***	1		1	1,00	plausibel
Indeno(1,2,3-cd)pyren	1,2		3	0,75	plausibel
Dibenzo(ah)anthracen	0,3		1,5	0,19	plausibel
Benzo(ghi)perlen	1,3		3	0,81	plausibel

Spalte D: Messwerte werden auf Benzo(a)pyren normiert. Hierzu wird der Analysenwert einer PAK-Einzelsubstanz durch den Benzo(a)pyren-Gehalt der Probe dividiert.

Spalte C: Hier sind die Anteils-Obergrenzen bezogen auf den Gehalt an Benzo(a)pyren aufgeführt. Benzo(a)pyren repräsentiert die Wirkung typischer PAK-Gemische (Kokereien, Gaswerke, Teerölläger).

Spalte E: Es werden die ermittelten relativen Anteile der PAK-Einzelsubstanzen (Spalte D) mit den Anteils-Obergrenzen der PAK-Einzelsubstanzen bezogen auf den BaP-Gehalt (Spalte C) verglichen.

Überschreitungen werden rot, Unterschreitungen grün markiert. Bei Überschreitung dieser Obergrenzen, insbesondere bei den höhermolekularen PAK-Verbindungen, sollte überprüft werden:

- Können analytische Probleme zur Überschreitung geführt haben?
- Können andere PAK-Quellen als Kokereien, Gaswerke, Teerölläger vorliegen?
- Sofern Überschreitungen bei niedermolekularen PAK-Verbindungen auftreten: Hinweis auf jungen PAK-Schaden und eher geringen Einfluss auf das toxische Potenzial des Gemisches.

Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 9. Juli 2021 (BGBl. I S. 2598, 2716)
- [2] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465)
- [3] Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2023): „Bewertung von Polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bezüglich des Wirkungspfades Boden-Mensch“ (https://www.boden.sachsen.de/download/Bewertung_von_PAK_2023_11_17.pdf)
- [4] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (2025): „Erläuterungen zur Anwendung der Prüfwerte für Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) für den Wirkungspfad Boden-Mensch nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)“ (<https://www.hlnug.de/themen/altlasten/altlastenschwerpunkte/anwendung-der-pruefwerte-fuer-polyzyklische-aromatische-kohlenwasserstoffe-pak>)

Zahlen und Fakten 2025

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 können 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. Mit dem Fachinformations-

system Altflächen und Grundwasserschadensfälle, kurz FIS AG, liegt seit 1998 eine umfangreiche Datenbasis vor, die es erlaubt, regelmäßig wichtige Entwicklungen auf dem Gebiet der Altlastenbearbeitung darzustellen und Trends aufzuzeigen.

Mit dem 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.

2 Stand der Altlasten- und Schadensfallbearbeitung

Nach § 11 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 (www.labodeutschland.de). Hierzu melden alle Bundesländer jedes Jahr im Juli Daten zu Altablagerungen und Altstandorten. Die Daten werden u. a. auf der folgenden Internetseite veröffentlicht:

<https://www.labodeutschland.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 vier von fünf Kategorien. Bei der Erfassung von Altflächen bestehen jedoch auch weiterhin unterschiedliche Herangehensweisen und somit schwer vergleichbare Zahlenangaben. Neben den bundesweit einheitlich definierten Kategorien werden in der hessischen Altflächendatei

zusätzlich die Schadensfallarten „sonstige schädliche Bodenveränderungen“ (ssBV) und „Grundwas-

serschadensfälle“ (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 1. Juli 2025 waren insgesamt 105 531 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 105 531 erfassten Einzelfällen waren zum Stichtag 897 als Altlast eingestuft. In 2 711 Fällen bestand der Verdacht auf Boden- oder Grundwasserverunreinigungen. In weiteren 5 360 Fällen hat sich der Verdacht nicht bestätigt. In 1 252 Fällen hat in den vergangenen 30 Jahren eine Sanierung stattgefunden. In 95 311 Fällen und damit den weitaus meisten wurden bisher nur erste Grunddaten aufgenom-

men. Das heißt, diese wurden im FIS AG zwar als potenziell altlastverdächtige Flächen erfasst, jedoch noch nicht vertieft überprüft.

Im Vergleich zum letzten Jahr lassen sich mehrere Veränderungen herausstellen. In der Summe sind ca. 500 neue Flächen hinzugekommen. Dies erscheint auf den ersten Blick paradox, liegt jedoch darin begründet, dass die Erfassung der Altflächen in Hessen noch nicht abgeschlossen ist. Einige Kommunen sind ihrer Pflicht zur Erfassung von Altstandorten und Altablagerungen leider noch nicht nachgekommen. Darüber hinaus kommt es durch Gewerbeabmeldungen, wie z. B. Tankstellen, fortwährend zu neuen Einträgen in der Datenbank. Positiv hervorzuheben ist eine deutliche Zunahme an abgeschlossenen Sanierungsverfahren. Ebenso konnte bei über 150 Altflächen der Gefahrenverdacht ausgeräumt werden.

Tab. 1: Stand der Altlastenbearbeitung zum 1. Juli 2025

	Kategorie der bundesweiten Altlastenstatistik	Von Hessen gemeldete Kennzahlen
1	Potenziell altlastverdächtige Flächen	95 311 ³
2	Gefahrenverdacht abzuklären	2 711
3	Gefahrenverdacht ausgeräumt	5 360
4	Altlasten	897
5	Sanierung abgeschlossen	1 252
	Summe	105 531

3 Erfassung nicht bundesweit vergleichbar

2.2 Stand der Bearbeitung von Grundwasserschadensfällen und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen

Neben den in Tabelle 1 aufgeführten Kennzahlen zu Altlastenbearbeitung werden im FIS AG auch Informationen zu den Schadensfallarten Grundwasserschadensfälle (GWSF) und sonstige schädliche Bodenveränderungen (ssBV) erfasst. Die Auswertung dieser Datensätze zeigt, dass bei diesen Schadensfällen seit Beginn der Erhebung die abgeschlossenen

Sanierungen einen weitaus größeren Anteil einnehmen als bei den Kennzahlen der bundesweiten Altlastenstatistik (vgl. Tab. 2). Eine mögliche Erklärung ist, dass aktuelle Schadensfälle, wie beispielsweise Brandereignisse, aufgrund ihres hohen Gefahrenpotenzials eine hohe Priorität besitzen.

Tab. 2: Stand der Bearbeitung bei Grundwasserschadensfällen (GWSF) und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen (ssBV) zum 1. Juli 2025

	Anzahl der in FIS AG geführten Grundwasserschadensfälle (GWSF) und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen (ssBV)
Erfassung	72
Gefahrenverdacht abzuklären	797
Gefahrenverdacht ausgeräumt	262
Festgestellter Schadensfall	216
Sanierung abgeschlossen	1 787
Summe	3 134

3 Kommunale Beteiligung an der Erfassung von Altlastenverdachtsflächen

Gemäß § 8 Absatz 4 Hessisches Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HAltBodSchG) sind die Gemeinden in Hessen verpflichtet, sich an der Erfassung von schadstoffbedingten Verdachtsflächen durch Aus-

wertung ihrer kommunalen Gewerberegister und an der Fortschreibung bereits erhobener Daten für das FIS AG zu beteiligen. Darüber hinaus müssen sie dem HLNUG die ihnen vorliegenden Erkenntnisse melden.

Tab. 3: Anzahl der FIS AG Datensätze je Landkreis bzw. kreisfreier Stadt zum 1. Juli 2025

Landkreis bzw. kreisfreie Stadt	Nummer	Anzahl der vorhandenen Datensätze zu Altflächen, GWSF und ssBV
Kreisfreie Stadt Darmstadt	411	3 538
Kreisfreie Stadt Frankfurt am Main	412	19 905
Kreisfreie Stadt Offenbach am Main	413	3 832
Landeshauptstadt Wiesbaden	414	7 411
Landkreis Bergstraße	431	6 178
Landkreis Darmstadt-Dieburg	432	4 281
Landkreis Groß-Gerau	433	3 296
Hochtaunuskreis	434	3 645
Main-Kinzig-Kreis	435	6 981
Main-Taunus-Kreis	436	2 973
Odenwaldkreis	437	829
Landkreis Offenbach	438	7 887
Rheingau-Taunus-Kreis	439	3 279
Wetteraukreis	440	4 283
Landkreis Gießen	531	2 457
Lahn-Dill-Kreis	532	4 578
Landkreis Limburg-Weilburg	533	2 705
Landkreis Marburg-Biedenkopf	534	4 568
Vogelsbergkreis	535	786
Kreisfreie Stadt Kassel	611	3 491
Landkreis Fulda	631	2 180
Landkreis Hersfeld-Rotenburg	632	1 467
Landkreis Kassel	633	2 390
Schwalm-Eder-Kreis	634	2 034
Landkreis Waldeck-Frankenberg	635	2 340
Werra-Meißner-Kreis	636	1 438

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 im FIS AG gemeldeten Datensätze der Kommunen.

Tabelle 3 listet die zum 1. Juli 2025 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 im Odenwaldkreis gemeldet. Auch wenn noch nicht alle Gemeinden Daten geliefert haben, kann diese Verteilung primär mit der intensiveren Nutzung der Böden in insbesondere industriell geprägten Ballungsgebieten erklärt werden. Darüber hinaus wurden und werden in Industrieschwerpunkten vermehrt historische Recherchen im Hinblick auf Belastungen durchgeführt. Dies führt in Verbindung mit der routinierten Erfassung und Auswertung der

Gewerberegister zu einer besseren Datenqualität in Städten als in eher ländlich geprägten Regionen.

Eine Übersicht über den Stand der Datenerfassung und -bereitstellung kann Tabelle 4 entnommen werden. Die Anzahl der im 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 eingesandten Daten sowie die Beteiligung der Kommunen an der Bereitstellung nimmt stetig zu. Bis zum 1. Juli 2025 hatten sich jedoch immer noch 6 % der 421 hessischen Gemeinden überhaupt nicht an einem Datenaustausch beteiligt. Die einwohnerstarken Ballungszentren und größeren Städte stehen jedoch im regelmäßigen Datenaustausch, sodass anzunehmen ist, dass bereits ein Großteil aller Flächen erfasst ist. Ziel ist, dass alle Kommunen ihre Gewerberegister systematisch auswerten, regelmäßig die potenziell altablastergefährdeten Flächen melden und die von ihnen gemeldeten Daten bei neuen Erkenntnissen auch aktualisieren.

Tab. 4: Beteiligung an der Erfassung mittels DATUS (Stand 1. Juli 2025)

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 %	27
Beteiligung erforderlich / z. T. in Bearbeitung	47 %	198
Letzte Datenlieferung vom 1. Januar 2021 bis 31. Dezember 2022	25 %	106
Aktuelle und regelmäßige Datenlieferung	22 %	90

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 Gewerberegister 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 durch die fortwährende systematische 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 2024

Auch für das Jahr 2024 haben die Abteilungen des HLNUG ihre Arbeit im Rahmen eines Jahresberichtes vorgestellt. In diesem geben die Fachbereiche Geologie und Boden, Wasser, Luft, Naturschutz, Strahlenschutz sowie Klimawandel und Anpassung Einblicke in die vielfältigen Themen und Aufgabenbereiche, die am hessischen Landesamt bearbeitet werden.

Die Abteilung Geologie und Boden berichtet über aktuelle Erkenntnisse zu Erdbeben in Hessen. Die Haupterdbebenregion Hessens stellt aktuell die Region westlich von Bad Schwalbach im Taunus dar. Seit Januar 2018 kommt es in der Nähe der hessisch-rheinland-pfälzischen Grenze zu einer erhöhten seismischen Aktivität. Die registrierten und lokalisierten Erdbeben können bestimmten geologischen Strukturen zugewiesen werden und deuten darauf hin, dass eine alte, bereits vorhandene Bruchstruktur im tieferen Untergrund reaktiviert wird. Weiterhin gibt es einen Beitrag zum Thema „Neubebauung trotz Grundwasserkontamination?“. Ein wichtiges Ziel der Altlastenbearbeitung ist, verunreinigte Flächen zu revitalisieren, das heißt, sie für den Menschen wieder nutzbar zu machen und damit auch zur Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen beizutragen. Durch eine Altlast können leichtflüchtige Schadstoffe freigesetzt werden, die eine Grundwasserverunreinigung verursachen. Das verunreinigte Grundwasser breit sich aus und unterströmt ein Grundstück, das bebaut werden soll. Dann könnten leichtflüchtige

Schadstoffe aus dem Grundwasser ausgasen und über die Bodenluft in die Innenraumluft der neu errichteten Gebäude gelangen. Bei geplanten Baumaßnahmen ist daher zu prüfen, ob gesunde Wohn- bzw. Arbeitsverhältnisse trotz der Grundwasserverunreinigung gewahrt werden können (siehe auch Beitrag S. 34).



Der Jahresbericht 2024 enthält weiterhin Artikel zum Fischottermonitoring in Hessen, über das hessische Luftpumppnetz oder zu den Hochwassereignissen des hydrologischen Jahres 2024. Neben den hier kurz vorgestellten und weiteren Themen wird ebenfalls über besondere Ereignisse, Neuigkeiten und Publikationen aus dem HLNUG berichtet.

Der Jahresbericht 2024 kann unter folgender Adresse abgerufen werden:

https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/das_hlnug/jahresberichte/2024/JB_2024_web.pdf

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Boden-Geschichten - Kalender 2026

Böden sind eine unverzichtbare Lebensgrundlage und ein zentraler Steuerungsfaktor im Naturhaushalt. Als Grundlage u. a. für den Anbau von Nahrungsmitteln und nachwachsende Rohstoffe sind sie unverzichtbar. Gleichzeitig speichern, filtern und reinigen sie das Niederschlagswasser. Auch für den Klimaschutz und die Anpassungen an den Klimawandel spielen Böden

als größte terrestrische Kohlenstoffsenke und Ausgleichskörper eine wichtige Rolle. Neben diesen vielen Funktionen sind Böden zusätzlich herausragende Archive der Natur- und Kulturgeschichte.

Abhängig vom Ausgangsgestein, der Lage in der Landschaft, dem vorherrschenden Klima und der

Nutzung durch die Menschen entstehen unterschiedliche Bodentypen und es ist möglich, z. B. Klimaveränderungen oder ehemalige bergbauliche Nutzungen im Boden nachzuvollziehen. Auch Extremereignisse wie Vulkanausbrüche können Spuren in Böden hinterlassen und als Zeitmarke zur Altersdatierung verwendet werden. Jeder Boden kann damit spannende Geschichten über vergangene Zeiten erzählen.

Anlässlich des Archivbodens als „Boden des Jahres 2026“ hat das HLNUG einen eindrucksvollen Kalender erstellt. Die Inhalte der einzelnen Kalenderblätter lenken die Aufmerksamkeit auf die vielen Geschichten, die unsere Böden erzählen, und tragen zu einem besseren Verständnis des komplexen Systems unter unseren Füßen bei. Wir wünschen Ihnen viel Freude mit unserem Kalender für das Jahr 2026.



Der Kalender kann im Vertrieb bestellt (vertrieb@hlnug.hessen.de) oder über den Produkteshop des HLNUG für 10 Euro erworben werden: <https://www.hlnug.de/publikationen>

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen



Das bewährte Handbuch Altlasten Band 3 Teil 7 „Arbeitshilfe zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen“ wurde von einer Behördenarbeitsgruppe überarbeitet und ist als 4. aktualisierte Auflage erschienen.

Schwerpunkte der Arbeitshilfe sind folgende Fragestellungen: Liegt eine schädliche Grundwasserverunreinigung vor? Ist die Sanierung eines Grundwasserschadens erforderlich? Ist eine langlaufende Grundwassersanierung (Pump+Treat) noch verhältnismäßig?

Weiterhin werden in der Arbeitshilfe folgende Themen behandelt: Sanierungsziele, Optimierung und Beendi-

gung von Sanierungen, Einleitung von Hilfsstoffen in das Grundwasser bei In-situ-Sanierungen sowie die Einleitung von Grundwasser in Abwasseranlagen und oberirdische Gewässer.

Aktualisiert wurden insbesondere die Geringfügigkeitsschwellenwerte für das Schutzwert Grundwasser, die von der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) veröffentlicht werden. Weiterhin hatte die HIM-ASG nochmals 36 langlaufende hessische Grundwassersanierungen ausgewertet, um typische, aktuelle Sanierungskosten zu ermitteln. Auch beim Thema „Einleitung von gereinigtem Grundwasser in öffentliche Abwasserreinigungsanlagen“ gab es relevanten Anpassungsbedarf.

Das Handbuch Altlasten kann unter folgendem Link abgerufen werden:

https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/handbuch/Handbuch_Altlasten_Bd3_2025_digital_druck.pdf

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch

Mit der „Arbeitshilfe zur Expositionsabschätzung in der Detailuntersuchung für den Wirkungspfad Boden-Mensch“ wurde die bereits veröffentlichte Arbeitshilfe von 2020 vom Altlastenausschuss (ALA) der Bund-/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) überarbeitet und aktualisiert. Die Veranlassung zur Aktualisierung der Arbeitshilfe resultierte vordringlich aus den gesetzlichen Änderungen infolge der zum 1. August 2023 in Kraft getretenen Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV).

Die Überarbeitung umfasst im Wesentlichen folgende Punkte: Anpassungen an neue Rechtsgrundlagen, Aktualisierung und Ergänzung der Stoffdatenblätter für altlastenrelevante Schadstoffe sowie die Ergänzung von Fallbeispielen.

Die Arbeitshilfe dient dem Ziel, ein bundeseinheitliches Vorgehen bei der Expositionsabschätzung innerhalb der Detailuntersuchung zu etablieren. Sie behandelt die Expositionen, denen Menschen als Nutzer von Flächen ausgesetzt sein können. Im Rahmen der Detailuntersuchung wird dabei die verfügbare Menge eines Schadstoffes, denen ein Mensch unter den Bedingungen des betrachteten Einzel-

falls ausgesetzt sein kann, abgeschätzt. Zu diesem Zweck werden auf Grundlage der BBodSchV die verschiedenen Methoden zur Expositionsabschätzung dargestellt, um die Mobilität und Verfügbarkeit der Schadstoffe im Boden sowie die Nutzungsbedingungen am Standort zu ermitteln. Dies beinhaltet auch indirekte Aufnahmen über Nutzpflanzen (Boden-Nutzpflanze-Mensch) oder Nutztiere (Boden-(Futterpflanze-)Nutztier-Mensch).



Die LABO-Arbeitshilfe wurde Ende 2023 auf der Seite der LABO veröffentlicht:

https://www.labo-deutschland.de/documents/2023-12-29_AH_Exposabsch_Aufl_2-0.pdf

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Arbeitshilfe zur Bewertung von leichtflüchtigen Schadstoffen im Grundwasser hinsichtlich einer möglichen Belastung der Innenraumluft von geplanten Gebäuden

Bei Altlasten, die eine Grundwasserverunreinigung verursachen, kann die Schadstofffahne benachbarte Grundstücke von Dritten unterströmen. Beim Vorliegen von leichtflüchtigen Schadstoffen (BTEX, LCKW) im oberflächennahen Grundwasser kann ein Eintrag dieser Stoffe über die Bodenluft in die Innenraumluft von Gebäuden erfolgen (Expositionsszenario Grundwasser-Bodenluft-Innenraumluft). Sofern auf einem Grundstück Dritter eine Bebauung über einer solchen Schadstofffahne geplant ist, sollte daher geprüft werden, ob die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewahrt werden können.

In der vorliegenden Arbeitshilfe werden hierzu Hilfestellungen gegeben. Insbesondere werden „Hinweiswerte“ für Schadstoffbelastungen im Grundwasser abgeleitet, bei deren Unterschreitung eine Beeinträchtigung der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse



mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Weiterhin gibt die Arbeitshilfe Hinweise zu vergleichsweise günstigen Fallkonstellationen (z. B. große Grundwasserflurabstände) und zu baulichen Sicherungsmaßnahmen. Die Länderarbeitsgruppe Umweltbezogener Gesundheitsschutz (LAUG) und der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) waren eingebunden.

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose



Bewertungsmaßstäbe wurden mit der novellierten BBodSchV von 2021 angepasst.

Die Arbeitsgruppe „Sickerwasserprognose“ des Altlastenausschusses (ALA) der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) erarbeitete bereits 2003 und 2008 länderübergreifend abge-

Unter den Autoren der LABO-Arbeitshilfe war Hessen mit zwei Personen vertreten (HLNUG, Regierungspräsidium Darmstadt). Die Arbeitshilfe ist unter folgendem Link abrufbar:

https://www.labodeutschland.de/documents/LABO-03-AH_Leichtfluechter.pdf

stimmte Arbeitshilfen für die Untersuchung und Bewertung des Wirkungspfads Boden-Grundwasser. Die Neufassung der BBodSchV, die unter anderem Ergänzungen (z. B. zur Einmischungsprognose) sowie Konkretisierungen zum Wirkungspfad Boden-Grundwasser enthält, machte eine Anpassung und Aktualisierung der bisherigen Arbeitshilfen erforderlich. Mit der vorliegenden „Arbeitshilfe zur Sickerwasserprognose“ hat die ALA-Arbeitsgruppe die beiden bisherigen Arbeitshilfen zu einem einheitlichen Dokument zusammengefasst und dabei inhaltlich aktualisiert sowie ergänzt.

Im Zuge der Veröffentlichung der hier genannten Arbeitshilfe wird auch das bewährte hessische Handbuch Altlasten Band 3 Teil 3 überarbeitet und Ende 2025 erscheinen. Die hier vorgestellte LABO-Arbeitshilfe ist unter folgendem Link abrufbar:

https://www.labodeutschland.de/documents/AH_Sickerwasserprognose_LABO.pdf

Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU): Eckpunkte zum Umgang mit der Mess- und Ergebnisunsicherheit im Vollzug der BBodSchV

Ergebnisse von Bodenuntersuchungen sind trotz aller Bemühungen um Qualitätssicherung immer mit Unsicherheiten behaftet. Zur gesamten Ergebnisunsicherheit tragen sowohl einzelfallabhängige und kaum quantifizierbare Komponenten (z. B. Probenauswahl bei heterogener Schadstoffverteilung) als auch die parameterspezifisch quantifizierbare Messunsicherheit der Laboranalysen bei.

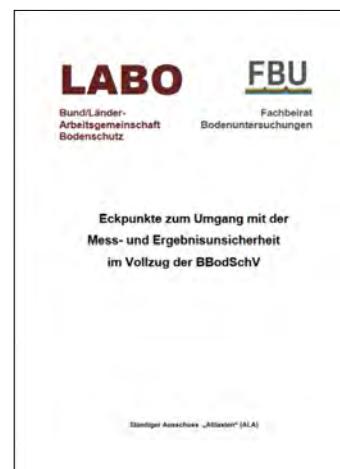
Die BBodSchV enthält keine Regelungen über die Art und Weise der Berücksichtigung dieser Unsicherheiten. Um den Vollzugsbehörden Hinweise zum Umgang damit zu geben, wurde das Papier „Eckpunkte zum Umgang mit der Mess- und Ergebnisunsicherheit im Vollzug der BBodSchV“ erarbeitet. Die Erarbeitung erfolgte unter fachlichen Aspekten durch eine gremienübergreifende Arbeitsgruppe, bestehend aus Mitgliedern des Altlastenausschusses

(ALA) der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) und Mitgliedern des Fachbeirates Bodenuntersuchungen (FBU). In dieser Arbeitsgruppe war auch das HLNUG vertreten.

Der Fokus des Eckpunktepapieres liegt auf der Berücksichtigung der analytischen Messunsicherheit bei der orientierenden Untersuchung im Zuge der Altlastenbearbeitung. Darüber hinaus sind Hinweise zur Qualitätssicherung bei der Probennahme enthalten, die eine Hilfestellung bei der Identifizierung der weiteren, einzelfallabhängigen Unsicherheitskomponenten geben.

Das Eckpunktepapier wurde im September 2024 auf der Seite der LABO veröffentlicht:

https://www.labodeutschland.de/documents/Eckpunkte_Mess_und_Ergebnisunsicherheit.pdf



Kommission Bodenschutz beim UBA: Wirtschaftlicher Aufschwung, Klimaschutz und Ernährungssicherheit - Ohne gesunde Böden geht es nicht

Die Kommission Bodenschutz (KBU) ist ein Gremium unabhängiger Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Verwaltung und Praxis. Sie unterstützt das Umweltbundesamt durch sachverständige Beratung bei Themen des Bodenschutzes und angrenzender Themenfelder. Zur Bundestagswahl im Februar dieses Jahres hat die KBU ein Positionspapier veröffentlicht, in dem sie Bundesregierung, Bundestag und Bundesrat auffordert, in der neuen Legislaturperiode durch eine Novellierung des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) insbesondere den vorsorgenden und nicht-stofflichen Bodenschutz zu stärken und neue Herausforderungen im Hinblick auf Klima, Landschaftswasserhaushalt, Nährstoffkreisläufe sowie Biodiversität zu adressieren. Insgesamt werden sechs konkrete Punkte genannt und fachlich begründet, die die KBU als prioritär erachtet. Unter anderem schlägt das Gremium vor, dass Vorgaben zu einem verpflichtenden Bodenmonitoring durch die Bundesländer im BBodSchG verankert werden sollten und die Rolle der Bodenschutzbehörden in Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren gestärkt werden sollte.

Auch wenn der Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung zum Thema Bodenschutz mit Ausnahme der Ablehnung eines EU-Bodengesetzes keine konkreten Punkte beinhaltet, besteht die Hoffnung, dass die Empfehlungen der KBU zur Kenntnis genommen wurden und nicht ungehört verhallen.



Das Positionspapier steht beim Umweltbundesamt unter folgendem Link zum Download bereit:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/2025_kbu_wirtschaftlicher_aufschwung_klimaschutz_und_ernaehrungssicherheit_bf.pdf

Der Boden als Lebensraum

Es ist schwer vorstellbar: In einer Handvoll Boden gibt es mehr Lebewesen als Menschen auf der Erde. Doch bleibt uns dieser überaus wichtige Lebensraum weitgehend verborgen – zum einen, weil wir nur schwer einen Blick unter die Erdoberfläche werfen können, ohne die Strukturen des Bodens zu zerstören, zum anderen, weil die dort lebenden Organismen und ablaufenden Prozesse im Kleinen und Kleinsten stattfinden. Bodenbewohner wie Regenwürmer, Asseln oder Tausendfüßer entdecken wir

vielleicht ab und zu beim Umgraben des heimischen Gartens. Bei einem Großteil der Bodenlebewesen handelt es sich aber um Mikroorganismen wie beispielsweise Wimperntierchen oder Fadenwürmer, die so klein sind, dass wir sie mit bloßem Auge nicht erkennen können.

Zwei in diesem Jahr neu publizierte Bücher widmen sich diesem verborgenen Kosmos auf unterschiedliche Weise:

Der Boden lebt - Kleinstlebewesen, unsere Erde und das Klima



Das im Haupt-Verlag veröffentlichte Buch „Der Boden lebt: Kleinstlebewesen, unsere Erde und das Klima“ gibt einen umfassenden Einblick in die spannende und faszinierende Welt unter unseren Füßen. Es stellt die vielfältigen, in der Erde beheimateten

Bodenorganismen vor und beschreibt ihre wichtigen Aufgaben, ihre Interaktionen mit der oberirdischen Welt und ihre unverzichtbaren Leistungen im Ökosystem Boden. Zu jedem dieser den Boden bevölkernden Lebewesen gibt es eine kleine Illus-

tration und einen lehrreichen, aber gut verständlich geschriebenen Text. Darüber hinaus werden in dem neuen Sachbuch auch die zahlreichen Gefahren für das Ökosystem Boden thematisiert und es wird erörtert, warum Boden-, Arten- und Klimaschutz zusammengedacht werden müssen.

Die Autorin Dr. Susanne Wurst arbeitet derzeit im Rahmen der Umsetzung der Nationalen Biodiversitätstrategie in dem Bundesprogramm „Biologische Vielfalt“. Sie promovierte an der TU-Darmstadt im Bereich Bodenökologie und war als Juniorprofessorin an der FU-Berlin Leiterin der Arbeitsgruppe „Funktionelle Biodiversität“.

Das umfangreiche, gebundene Buch ist seit September 2025 im Buchhandel zu einem Preis von 29,90 € erhältlich (ISBN 978-3-258-08395-7).

Drecksarbeit - der Mikrokosmos unter unseren Füßen

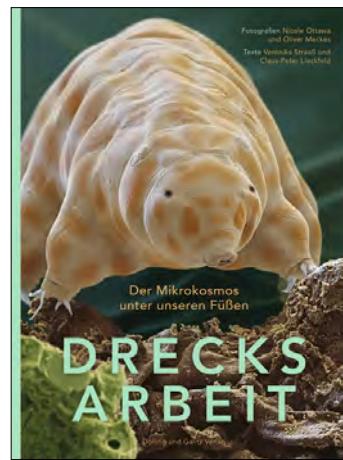
Mit dem Bildband „Drecksarbeit“ eröffnen uns das preisgekrönte Fotografen-Duo Nicole Ottawa und Oliver Meckes (eye of science) sowie die Autoren Veronika Strauß und Claus-Peter Lieckfeld faszinierende Einblicke in das Leben im Boden. In brillanten Fotografien und exzellent bearbeiteten rasterelektronenmikroskopischen Bildern sowie mit wissenschaftlich fundierten, aber auch kurzweiligen Texten zeigen sie, wie vielfältig die Lebensformen sind, die für uns Menschen überwiegend im Verborgenen bleiben.

Insgesamt zehn reich bebilderte Kapitel stellen verschiedene Gruppen von Akteuren vor, die die „Drecksarbeit“ im Boden leisten: Von Bakterien, Fadenwürmern, Pilzen und Milben über Springschwänze und Regenwürmer bis hin zu Schleimpilzen und Bärtierchen – sie alle sorgen dafür, dass ein Pflanzenwachstum möglich ist, indem sie organisches Material zersetzen, Humus bilden, Nährstoffe freisetzen und den Boden lockern. Im Anschluss geht es aber auch um die Gefahren, die dem Lebensraum der Winzlinge drohen, insbesondere durch die

Auswirkungen der landwirtschaftlichen Nutzung, sei es durch falsche Bearbeitung des Bodens, Düngung oder Pestizide. Dazu ist ein interessantes Interview mit Florian Schwinn enthalten, dem Autor des Buches „Rettet den Boden!“, der unter anderem über die Auswirkungen von Glyphosat auf die Bodenfauna spricht. Das letzte Kapitel „Und wo bleibt das Positive?“ bietet zum Abschluss des Buches aber doch einen Hoffnungsschimmer: Es werden nachhaltige Bewirtschaftungsmethoden thematisiert, die es ermöglichen, Landwirtschaft und unterirdische Artenvielfalt in Einklang zu bringen.

Insgesamt ist den Autorinnen und Autoren ein hochspannendes und visuell herausragendes Sachbuch gelungen, das sowohl Laien als auch Bodenökologen ansprechend dürfte. Erschienen ist das großformatige Buch (Soft-Cover) im Dölling und Galitz Verlag und

kann im Buchhandel zu einem Preis von 30 € erworben werden (ISBN 978-3-86218-172-8).



Unser größter Schatz: Der Boden

Unter dem Motto „Große Themen, einfach erklärt“ ist im Verlag Beltz & Gelberg das Kindersachbuch „Unser größter Schatz: Der Boden“ erschienen. Die Autorin Karolin Küntzel, die bereits zahlreiche Sachbücher sowohl für Erwachsene als auch für Kinder verfasst hat, erklärt in ihrem Buch anschaulich und eindrücklich, warum der Boden die Grundlage für unser Leben bildet.

Auf insgesamt 78 Seiten spricht das Buch eine bunte Vielfalt an bodenbezogenen Themen an: Zunächst werden Grundlagen vermittelt – von der Entstehung über den Aufbau von Böden sowie seine unterschiedlichen Eigenschaften und Funktionen für Mensch und Umwelt. Auch seine Nutzung sowie seine Gefährdung und Möglichkeiten seines Schutzes werden ausführlich thematisiert. Daneben gibt es aber auch Kapitel, die soziale oder juristische Aspekte des Bodens beleuchten wie „Wem gehört der Boden?“ oder „Boden kann vererbt werden“. Besprochen werden darüber hinaus der Meeresboden, die Flussböden und die Böden in polaren Gebieten sowie Böden als Rohstofflagerstätten oder Fundorte archäologischer Artefakte. Der kurze und prägnante

Text des Buches – jedes Unterthema wird auf einer Doppelseite dargestellt – ist anschaulich und farbenfroh illustriert von Barbara Schulze Frenking, die viele für Kinder gut aufbereitete Infografiken gestaltet hat.



Insgesamt ist „Unser größter Schatz: Der Boden“ ein gelungenes, sehr umfassendes und lehrreiches Kindersachbuch. Der Verlag empfiehlt es für Kinder ab 7 Jahren, geeignet erscheint es grade im Hinblick auf die komplexeren Themen aber auch für ein wenig ältere Kinder.

Das gebundene Buch ist im Buchhandel zu einem Preis von 16 € erhältlich (ISBN 978-3-407-75946-7).

Lara & Ben - Die Entdeckung der verborgenen Welt



In der aktuellsten Ausgabe der Kinderheftreihe „Lara und Ben“ – einem Mix aus Erklärbuch, Abenteuergeschichte und Rätselheft des bayrischen Umweltministeriums – steht nach Themen wie Klima-, Natur- und Arten- sowie Wasserschutz nun der Boden im Fokus. In „Die Entdeckung der verborgenen Welt“ erleben die beiden befreundeten Protagonisten Lara und Ben begleitet durch einen Regenwurm eine abenteuerliche Reise durch das Erdreich, in der sie viel über den Boden, seine Entstehung, seine Bewohner und seine vielfältige Gefährdung lernen sowie Anregungen für seinen Schutz erhalten.

Neben der Geschichte in Comicform enthält das Heft viele Rätsel sowie Reflexions- und Mitmachaufgaben zu den unterschiedlichen Bodenthemen. Es bietet auf unterhaltsame und kurzweilige Weise umfangreiches Hintergrundwissen und ist ansprechend illustriert und bebildert. Mit seinen Ideen für Projekte und Experimente kann es auch gut in der Umweltbildung oder in der Schule eingesetzt werden.

Geeignet ist das Heft ist für Kinder im Alter von 8-12 Jahren. Es kann in gedruckter Form kostenlos über das Bayrische Umweltministerium bezogen werden: https://www.bestellen.bayern.de/shoplink/stmuv_kj.htm. Außerdem steht es dort auch zum Download zur Verfügung. Zu der Heftreihe um Lara und Ben gibt es auch eine eigene Website, in der noch weitere Informationen zu den Themen, ein Umwelt-Quiz oder auch Wettbewerbe angeboten werden: <https://www.lara-und-ben.bayern.de/>

Interessantes und Wissenswertes

Hessen übernimmt die Schirmherrschaft für den „Boden des Jahres 2026“

Böden sind Lebensraum für viele Lebewesen und ein bedeutender Kohlenstoffspeicher. Sie speichern Wasser und sind Produktionsstandort für die Land- und Forstwirtschaft. Im Vergleich zu seiner großen Bedeutung für uns alle erfährt der Boden allerdings nur eine geringe gesellschaftliche Wahrnehmung und Anerkennung. Um auf seine Bedeutung aufmerksam zu machen, hat die internationale bodenkundliche Union deshalb den 5. Dezember zum Tag des Bodens ernannt.

Darüber hinaus wurde 2004 die Aktion „Boden des Jahres“ durch die Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft e. V. sowie den Bundesverband Boden e. V. gegründet. Seitdem wechseln sich die Bundesländer mit der Ausrichtung ab. Hessen übernimmt die Schirmherrschaft für das Jahr 2026. Um welchen Boden es sich handelt, wurde auf der Festveranstaltung am 5. Dezember 2025 in der Landesvertretung Hessen in Berlin offiziell bekanntgegeben. Die Wahl fiel auf den Archivboden!

Seit dem 5.12.2025 stellt das HLNUG für den Boden des Jahres 2026 auf Anfrage Druckvorlagen für Materialien wie z. B. Poster, Rollups u. ä. zur Verfügung, mit denen auf die Aktion aufmerksam gemacht werden kann und die über den Archivboden informieren. Der offizielle Flyer und das offizielle Poster zur Aktion können ab sofort beim Umweltbundesamt bestellt werden.

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flyer-boden-des-jahres-2026-archivboden>
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/poster-boden-des-jahres-2026-archivboden>



Abb. 1: Der Boden hat viele Geschichten zu erzählen
 © HLNUG

Besuchen Sie die HLNUG-Webseite zum Boden des Jahres: <https://www.hlnug.de/themen/boden/erleben/boden-des-jahres>

Theaterstück „Feldfuge - ein musikalischer Bodenbericht“

Das Dezernat G3 – Boden und Altlasten hat die Ur-aufführung des Theaterstücks „Feldfuge – Ein musikalischer Bodenbericht“ mit fachlichen Informationen und Teilen der Bodenwanderausstellung unterstützt. Die Premiere war am 27.06.2025 im Staatstheater Wiesbaden zu sehen.

Das Stück beruht auf der Idee, ein Stück Acker als gleichberechtigten Akteur neben Menschen und anderen Lebewesen auftreten zu lassen. Die Protagonisten folgen dabei der Einladung eines Runkelrübenackers. Mittels unterschiedlichen Stimmen, Tönen und Bildern entstand ein Theaterstück, das aus mehreren



Abb. 2: Feldfuge – Ein musikalischer Bodenbericht
© Maximilian Borchardt

Ebenen geschichtet ist, wie Horizonte in einem Boden. Dabei werden viele Fragen thematisiert, wie z. B.: Gibt es eine wirkliche Trennung zwischen Natur und Kultur? Oder ist der Mensch selbst Teil eines Netzwerks, das sich gegenseitig bedingt und formt? Der Regisseur Konrad Amrhein hat dabei ein interessantes Theaterstück geschaffen, welches wie ein philosophisches und unterhaltsames Experiment auf den Zuschauer einwirkt.

SuRF Germany - Nachhaltigkeit bei der Altlastensanierung

Das Thema „Nachhaltigkeit“ ist auch bei der Altlastensanierung aktuell. Insbesondere in den Reihen der Ingenieurbüros, unterstützt von Firmen und Behörden, ist die Motivation zur Entwicklung von Arbeitshilfen zum Thema „Sustainable Remediation“ groß. Analog zu anderen Ländern wie dem Vereinigten Königreich und USA wurde im Februar 2025 „SuRF Germany“ gegründet. Dabei steht SuRF für Sustainable Remediation Forum analog zu „SuRF UK“ und „SuRF US“. Unterstützt werden die SuRF Germany-Aktivitäten u. a. vom Ingenieur-

technischen Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling e. V. (ITVA).

Die Website von SuRF Germany ist noch im Aufbau. Bis dahin ist Christian Poggendorf der Ansprechpartner für Interessierte (christian.poggendorf@gmx.de).

In Hessen sind die bisherigen Aktivitäten auf folgender HLNUG-Webseite abrufbar:

<https://www.hlnug.de/themen/altlasten/altlastenschwerpunkte/nachhaltigkeit-bei-der-altlastensanierung>

HLNUG-Altlastenseminar am 28. und 29. Oktober 2025 in Weilburg

Am 28. und 29. Oktober 2025 fand das Altlastenseminar des HLNUG „Altlasten und Schadensfälle – neue Entwicklungen“ im Schlosshotel in Weilburg statt, welches gemeinsam mit dem Bildungsseminar Rauschholzhausen ausgerichtet wurde.

In Fachvorträgen von Referenten aus Ingenieurbüros und Umweltbehörden wurden den Teilnehmenden Einblicke in neue Entwicklungen zu den Themen-

komplexen Innovative Erkundungs- und Sanierungstechniken, Analytik, Arbeitshilfen sowie zu weiteren aktuellen Themen mit Bezug zu Altlasten und Bodenschutz vermittelt.

Ein Seminarband mit den einzelnen Vorträgen kann auf der Webseite des HLNUG abgerufen werden:
<https://www.hlnug.de/themen/altlasten/arbeitshilfen/altlasten-annual>

Fortbildung Bodenkundliche Baubegleitung am 25.11.2025 im Bürgerhaus Fronhausen/Lahn

Im Rahmen der Reihe „Fortbildungen im Umweltsektor“ des Bildungsseminars Rauschholzhausen fand die Veranstaltung „Bodenkundliche Baubegleitung – aus Theorie und Praxis“ statt. Sie richtete sich in erster Linie an Behördenvertreter im Bereich Bodenschutz, stieß aber auch bei Fachkräften aus den Bereichen Naturschutz und Bauaufsicht auf gro-

ßes Interesse. Mit ca. 60 Teilnehmerinnen und Teilnehmern war die Veranstaltung gut besucht.

Die Bodenkundliche Baubegleitung (BBB) ist seit der Novellierung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) als Maßnahme zur Vermeidung von Bodenschäden bei Bauprojekten

gesetzlich verankert. Ihr Ziel ist es, die bodenökologische Funktionalität zu erhalten, negative Auswirkungen frühzeitig zu erkennen und bodenschonende Bauweisen sicherzustellen. Die fachlichen Anforderungen an die BBB sind in der DIN 19639 festgelegt.

Im Verlauf der Veranstaltung wurden Fachvorträge zu rechtlichen Rahmenbedingungen, behördlichen Anforderungen sowie fachlichen Aspekten gehalten. Fallbeispiele aus der Praxis veranschaulichten die theoretischen Grundlagen. Zusätzlich bot die Veranstaltung genügend Raum für Diskussionen und den fachlichen Austausch.



Abb. 3: Zur Vermeidung von Bodenschäden ist im Rahmen großer Bauprojekten eine Bodenkundliche Baubegleitung (BBB) zu empfehlen © HLNUG

Kompensation des Schutzgutes Boden – Neues Bodenfunktionsbewertungstool für bodenkundliche Kartierungen

Das Bundesnaturschutzgesetz sowie die Hessische Kompensationsverordnung (HKV) verpflichten Verursacher von Beeinträchtigungen, diese auszugleichen. Soweit möglich soll eine schutzgutbezogene Kompensation erfolgen – insbesondere im Hinblick auf den Verlust von Bodenfunktionen (§ 2 Abs. 4 HKV). Bei einer Eingriffsfläche über 10 000 m² ist dazu ein entsprechendes bodenkundliches Gutachten erforderlich. Hierbei werden Eingriffe in die natürlichen Bodenfunktionen (§ 2 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG) sowie bodenbezogene Kompensationsmaßnahmen getrennt bewertet und bilanziert.

Für die Bewertung liegen mit den BFD5L-Daten (Bodenflächendaten für landwirtschaftliche Nutzfläche im Maßstab 1 : 5 000) bereits nahezu flächendeckende Informationen für landwirtschaftlich genutzte Flächen vor. Für Plangebiete ohne verfügbare Daten oder bei größeren Datenlücken ist eine ergänzende Bodenkartierung im gleichen Maßstab notwendig.

Zur Unterstützung und Vereinheitlichung dieses Vorgehens wurde ein Excel-basiertes Berechnungstool entwickelt. Es ermöglicht eine fundierte Ableitung der Bodenfunktionsbewertung auf Grundlage aktueller Kartierungsdaten. Das neue Tool unterstützt damit sowohl Naturschutz- und Bodenschutzbehörden als auch Gutachterinnen und Gutachter bei der Planung und fachgerechten Umsetzung bodenschutzorientierter Kompensationsmaßnahmen.

Weitere Informationen sowie der Download des Tools sind unter folgender Adresse verfügbar:
<https://www.hlnug.de/themen/boden/vorsorge/bodenschutz-in-der-planung/kompensationsschutzgut-boden>

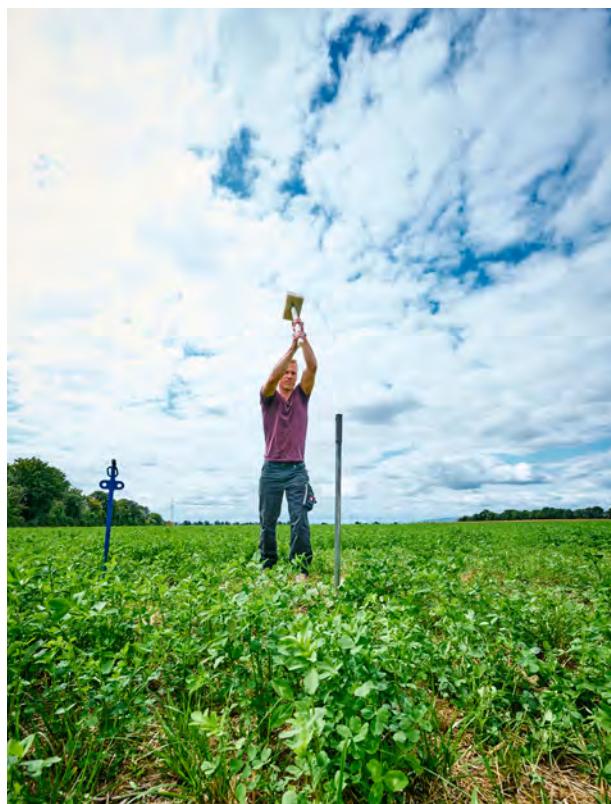


Abb. 4: Kartierungen sind Grundlage für die Ableitung von Bodenfunktionen © DeSoto Studios

Treffen des Hessischen Forums Landwirtschaft und Boden (HFLB) am 27.02.2025 in Bad Hersfeld

Am 27.02.2025 fand die 6. Sitzung des HFLB auf dem Eichhof in Bad Hersfeld statt. Im Mittelpunkt der Frühjahrssitzung der vom Landesbetrieb Landwirtschaft (LLH) organisierten Veranstaltungsreihe stand dieses Mal die Problematik von Bodenverdichtung durch den Einsatz von Landmaschinen. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Gastvortrags wurden den Teilnehmenden, bestehend aus Experten und Behördenvertretern aus den Bereichen Landwirtschaft und Bodenschutz sowie Praktikern aus der Landwirtschaft, zunächst die Herausforderungen für die Landwirtschaft sowie die Folgen für den Boden aufgezeigt. Anhand praktischer Beispiele wurde anschließend die Erosionsanfälligkeit verschiedener Böden demonstriert. Zudem wurden die Befahrbarkeit und die relevanten Steuergrößen erörtert. Abschließend wurden sowohl pflanzenbauliche als auch technische Maßnahmen als mögliche Lösungsansätze gegen Bodenverdichtung vorgestellt und diskutiert.



Abb. 5: Bodenverdichtung durch den Einsatz von Landmaschinen bei der Rübenernte © HLNUG

In einem weiteren Themenblock gab das HLNUG einen Überblick über das geplante EU Soil Monitoring Law und den aktuellen Stand der europäischen Bodenschutzgesetzgebung. Dabei wurden die Hintergründe der Gesetzesentwicklung beleuchtet sowie ein zeitlicher Abriss der Aktivitäten von EU-Kommission, -Rat und -Parlament gegeben.

Masterarbeit zur Untersuchung von Mikroplastik in Böden unter Waldnutzung

Die Forschung zu Mikroplastik in Böden ist in den letzten Jahren stark vorangeschritten. Waldböden spielten dabei jedoch bisher eine untergeordnete Rolle. Im Rahmen einer Masterarbeit soll untersucht werden, welchen Einfluss die Waldstruktur (Waldalter, Artenvielfalt, Kronendichte) auf den atmosphärischen Eintrag von Mikroplastik in Wäldern hat. Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der vertikalen Verteilung von Mikroplastik innerhalb der Waldböden und deren Abhängigkeit von Parametern wie Bodenart, pH-Wert und Gehalt an organischem Kohlenstoff.

Um diesen Fragestellungen nachzugehen, untersucht das Institut für angewandte Geowissenschaften der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit dem HLNUG hessenweit zehn Waldstandorte der Boden-Dauerbeobachtung. Insgesamt 45 Proben der organischen Auflagehorizonte sowie des mineralischen Oberbodens sollen im Rahmen der Masterarbeit entnommen und auf Mikroplastik untersucht werden. Da mit geringen Mikroplastikgehalten zu rechnen ist, bestehen hohe



Abb. 6: Probennahme für die Analytik auf Mikroplastik auf der Boden-Dauerbeobachtungsfläche Fürth-Kahlberg im Odenwald © HLNUG

Anforderungen an das Verhindern von Kontaminationen sowohl bei der Probenahme als auch bei der Laborarbeit. Eine weitere Herausforderung ist die Extraktion des Mikroplastiks aus den Proben, da die hohen Organikgehalte der untersuchten Horizonte diesen Aufbereitungsschritt erschweren.

Die Ergebnisse der Masterarbeit sollen dazu beitragen, das Verständnis über die biogeochemischen Kreisläufe von Plastik in der Umwelt zu erweitern.

Untersuchungen zum Einfluss des Flughafens Frankfurt auf ausgewählte Schadstoffe in Atmosphäre, Boden und Sickerwasser

Das HLNUG betreibt im Rahmen der hessischen Boden-Dauerbeobachtung eine Intensiv-Messstelle an einem Waldstandort im direkten Umfeld des Frankfurter Flughafens (<https://www.hlnug.de/themen/boden/erhebung/boden-dauerbeobachtung/intensiv-boden-dauerbeobachtung-flughafen-frankfurt-am-main>). Neben 5-jährig wiederkehrenden Bodenuntersuchungen werden dort kontinuierlich atmosphärische Stoffeinträge sowie Stoffausträge mit dem Sickerwasser gemessen.

Neben eigenen Untersuchungen und Auswertungen kommt es in der Boden-Dauerbeobachtung auch immer wieder zu Forschungskooperationen. Im Rahmen einer solchen Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt (s. Nachrichten aus Hessen, Ausgabe 2024) entstand die Idee für eine Masterarbeit, die 2024 erfolgreich abgeschlossen werden konnte.

Dabei untersuchte die Absolventin den Einfluss des Flugbetriebes auf ausgewählte Schadstoffkonzentrationen, insbesondere im Zeitraum der Corona-Pandemie und dem damit verbundenem Lockdown. In der Studie wurden einerseits bestehende langjährige Zeitreihen zur Deposition und Stoffdynamik von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK), Polychlorierten Biphenylen (PCB) und Schwermetallen ausgewertet, andererseits wurden



Abb. 7: Depositionssammler neben einer Startbahn am Frankfurter Flughafen © HLNUG

eigene Bodenproben im Umfeld des Frankfurter Flughafens entnommen und auf diese Stoffgruppen analysiert.

Generell konnte festgestellt werden, dass atmogene Einträge mit der Zeit zurückgehen. Der Einfluss des Flugbetriebs scheint dabei allerdings hinsichtlich der untersuchten Schadstoffe nur gering zu sein und wird durch den umliegenden Kfz-Verkehr sowie industrielle Einflüsse im Ballungsraum Rhein-Main stark überlagert. Gerade der Rückgang der Emissionen während des Lockdowns fiel sehr viel weniger deutlich aus, als erwartet.

Eröffnung des Nationalen Bodenmonitoringzentrums am Umweltbundesamt

Am 2. Dezember 2024 eröffneten die ehemalige Bundesumweltministerin Steffi Lemke und der Präsident des Umweltbundesamtes (UBA) Dirk Messner offiziell das Nationale Bodenmonitoringzentrum. Das neue Zentrum soll zukünftig als Informations- und Koordinierungsstelle den Austausch zwischen Bund und Ländern, Wissenschaft und Behörden stärken und bundesweit erhobene Daten zum Bodenzustand aus diversen Monitoring-Programmen an einem zentralen Ort bündeln. Dabei ist es das Ziel der Einrichtung, die unterschiedlichen Akteure zu vernetzen und die Vergleichbarkeit der Daten zu verbessern, damit messnetzübergreifende Aussagen

zum Boden ermöglicht werden. Aus diesen sollen dann Strategien zum Klimaschutz, zur Klimaanpassung und zur Förderung der Bodengesundheit entwickelt werden. Dabei sollen die Ergebnisse nicht nur deutschlandweit, sondern auch auf europäischer Ebene genutzt werden, auch mit dem Hintergrund, dass Ursachen und Auswirkungen von Schädigungen des Bodens grenzüberschreitend sein können.

Die Koordination der Arbeiten des Nationalen Bodenmonitoringzentrums obliegt dem UBA in Dessau. Geleitet werden soll es von einer interministeriellen Steuerungsgruppe, welche das Zentrum beauftragt

und die einzelnen Fachinstitutionen mandatiert. Außerdem soll ein Fachgremium eingerichtet werden, welches aus Vertretern nachgeordneter Institutionen besteht.

Geplant ist eine zweijährige Aufbauphase. Im Juni 2025 fand bereits ein Workshop zur Entwicklung eines „Data-Hub Boden“ statt – einer gemeinsamen Datenplattform, deren Ziel es ist, eine zentrale Schnittstelle für bodenbezogene Daten bereitzustellen. Er soll in der Zukunft die Abfrage, Verknüpfung und Auswertung von Bodendaten bestehender Monitoringprogramme ermöglichen.

Weitere Informationen bietet die neue Internetpräsenz des Nationalen Bodenmonitoringzentrums: <https://bodenmonitoringzentrum.info/>



Abb. 8: Logo des neuen Nationalen Bodenmonitoringzentrums am Umweltbundesamt

Förderprogramm „Natürlicher Klimaschutz in Kommunen“

Das Förderprogramm „Natürlicher Klimaschutz in Kommunen“ startete zum 1. Februar 2024 und ist Teil des Aktionsprogrammes Natürlicher Klimaschutz (ANK) des Bundes, welches bereits seit 2023 in Kraft ist. Städte und Gemeinden können im Rahmen dieses Förderprogrammes vom Bundesumweltministerium und der Kreditanstalt für Wiederaufbau Zuschüsse zur Finanzierung eines breiten Spektrums von Klimaschutz-Maßnahmen beantragen. Bis zu 90 % der Kosten für entsprechende Maßnahmen können dabei übernommen werden. Dieses Angebot wurde im letzten Jahr rege genutzt: Bundesweit über 300 Städte und Gemeinden beantragten Zuschüsse, die mit einem Gesamtvolumen von ungefähr 180 Millionen Euro zugesagt wurden.

Seit März 2025 wurde die Förderung um Maßnahmen zur Entsiegelung und die Erstellung kommunaler Entsiegelungskonzepte erweitert, die das Ziel verfolgen, natürliche Bodenfunktionen wiederherzustellen. Insgesamt 33 Millionen Euro stehen für



Abb. 9: Statt Parkplätze zu asphaltieren oder zu pflastern, können sie auch mit Hilfe wasserdurchlässiger Gittersysteme befestigt werden © HLNUG

entsprechende Maßnahmen im laufenden Jahr bereit. Durch Entsiegelungen soll beispielsweise die Aufnahme- und Speicherfähigkeit der Böden für Niederschläge verbessert sowie deren Kühlfunktion ausgebaut werden.



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

www.hlnug.de



[linkedin.com/
company/hlnug](https://linkedin.com/company/hlnug)



[@hlnug_hessen](https://www.instagram.com/@hlnug_hessen)