



# Boden und Altlasten - Nachrichten aus Hessen

Ausgabe 2022



# **Boden und Altlasten - Nachrichten aus Hessen**

Wiesbaden, 2022

# Impressum

## Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen – Ausgabe 2022

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

Titelbild: links oben: HLNUG  
rechts oben: HLNUG  
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](mailto:vertrieb@hlnug.hessen.de)

**[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)**

Das HLNUG auf Twitter:  
[https://twitter.com/hlnug\\_hessen](https://twitter.com/hlnug_hessen)

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

## Inhalt

Impressum.....	3
Vorwort .....	5
Boden des Jahres 2022 – Pelosol .....	6
Detailkartierungen landwirtschaftlich genutzter Moorböden in Hessen – Verbesserung der Datengrundlage zur Identifikation potenzieller Maßnahmenräume.....	7
Organische Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden Hessens – Ergebnisse der ersten deutschlandweiten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“ .....	15
Bodenerosion durch Wasser in Hessen unter Einfluss des Klimawandels – Abschätzung der Auswirkungen auf die Erosionsgefahr bis zum Jahr 2100 .....	21
Werden PFAS im Boden durch biologische Prozesse mobilisiert? Ein einjähriger Laborversuch gibt Hinweise.....	26
Neues von der Sickerwasserprognose: Die Einmischprognose .....	31
Zahlen und Fakten 2021 – gekürzte Fassung.....	34
Neuerscheinungen .....	41
Interessantes und Wissenswertes .....	45



## Vorwort



Ist die zweite Ausgabe einer Veröffentlichungsreihe bereits der Beginn einer Tradition? Ich sage ja, denn es sollen noch viele Ausgaben **„Boden und Altlasten – Nachrichten aus Hessen“** folgen. Zweifellos gibt es beim Bodenschutz vielerlei Interessantes zu berichten, sowohl zu Themen der „Vorsorge“ als

auch zur „Nachsorge“. Der Schutz von Böden und die nachhaltige Bodennutzung sind von immenser Bedeutung. Schließlich gilt es unter anderem, die dauerhafte Nahrungsversorgung der Weltbevölkerung zu gewährleisten. Daran müssen alle gemeinsam arbeiten, auch wir in Hessen.

Der vorliegende Jahresband 2022 greift erneut viele aktuelle Themen im Bereich Boden und Altlasten auf. Den Anfang macht der Boden des Jahres 2022, der Pelosol (Tonboden). Er wurde für dieses Jahr als Botschafter für die vielfältige und schützenswerte Bodenlandschaft ausgewählt. Ebenfalls im Fokus stehen Moorböden. Aktuelle Untersuchungen zur Verbreitung und zum Zustand landwirtschaftlich genutzter Moorböden liefern neue Erkenntnisse über diese in Hessen seltenen und schützenswerten Böden und dienen zur Identifikation potenzieller Maßnahmenräume für den Natur- und Klimaschutz. Moore sind Kohlenstoffspeicher und letztere sind Thema eines weiteren Beitrags. Die „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“ hat erstmals deutschlandweit systematisch die aktuellen Bodenkohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden erfasst und dabei gezeigt, dass in hessischen Böden weniger organischer Kohlenstoff gespeichert ist als im bundesweiten Mittel.

Schon im letzten Jahresband wurde über Erosion berichtet. Der Abtrag von Bodenmaterial auf Ackerflächen in Folge von Bodenerosion ist bereits als eine große Bedrohung für Böden anzusehen. Durch Einflüsse des Klimawandels besteht die Gefahr, dass die Bodenerosionsgefährdung zukünftig noch weiter zunimmt.

Ein Dauerbrenner sind die PFC bzw. die PFAS, wie diese Stoffgruppe mit per- und polyfluorierten Stoffen mittlerweile genannt wird. Werden angeblich ungefährliche PFAS im Boden in mobile und humantoxische Stoffe umgewandelt? Diese These konnte durch einen einjährigen PFAS-Abbauversuch belegt werden.

Ein Altlastenthema betrifft die Sickerwasser-/Einmischprognose zur Abschätzung einer Grundwassergefährdung. Mit Inkrafttreten der novellierten BBodSchV im August nächsten Jahres können Vermischungsprozesse von Sicker- und Grundwasser bei der Gefährdungsabschätzung berücksichtigt werden.

Die Situation bei der hessischen Altlastenbearbeitung wird im Beitrag „Zahlen und Fakten“ beschrieben. Insgesamt zeigen die dort zusammengestellten Informationen, dass in den letzten 30 Jahren bei der systematischen Altlastensanierung in Hessen einiges erreicht wurde. Allerdings weisen sie auch daraufhin, dass weiterhin Handlungsbedarf besteht. Solange durch neue Erkenntnisse, Unfälle oder unsachgemäßen Umgang mit gefährlichen Stoffen weitere Altflächen hinzukommen, bleiben ihre Erfassung, ihre Bewertung und ggf. ihre Sicherung und Sanierung wichtige Daueraufgaben der Umweltpolitik in Hessen.

Abgerundet wird der vorliegende Jahresband durch Hinweise auf hessische und bundesweit veröffentlichte Arbeitshilfen und andere Neuerscheinungen sowie Informationen zu weiteren interessanten Projekten und Arbeiten zum Thema Bodenschutz.

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

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

## Boden des Jahres 2022 - Pelosol

LENA JEDMOWSKI\*

Jedes Jahr wird zum Weltbodentag am 05. Dezember der Boden des Jahres vorgestellt. Mit der Aktion soll auf das oft wenig beachtete Umweltmedium Boden aufmerksam gemacht werden. Durch die wechselnde Auswahl des Bodens kann dies jedes Jahr unter anderen Schwerpunkten geschehen. Ziel ist es, das öffentliche Interesse an Böden zu wecken und so ein Bewusstsein für die Bedeutung und Gefährdung von Böden zu schaffen. Die Öffentlichkeit soll durch die Vorstellung des Bodens des Jahres über dessen Entstehungsgeschichte, Vorkommen, Eigenschaften, Funktionen, Nutzung und Gefährdung informiert werden. Böden werden als komplexe und vielgestaltige Elemente der Landschaft vorgestellt und ihre Bedeutung für Menschen und Naturhaushalt präsentiert.

Für das Jahr 2022 wurde der Pelosol vom Kuratorium Boden des Jahres ausgewählt und unter Schirmherrschaft des Umweltministeriums Baden-Württemberg im Rahmen eines Festaktes am 03.12.2021 in der Landesvertretung in Berlin vorgestellt. Das Kuratorium wird von der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, dem Bundesverband Boden sowie dem Ingenieurtechnischen Verband für Altlastenmanagement und Flächenrecycling bestellt. Regelmäßig übernimmt ein Bundesland, in dem der Boden verbreitet ist, die Schirmherrschaft. Das Umweltbundesamt unterstützt die Aktion.

Der Pelosol ist ein tonreicher Boden (lat. Pelos = Ton), der einen Verbreitungsschwerpunkt auf den Tongesteinen des Keupers und Jura im Südwesten Deutschlands hat. In Hessen kommt er vor allem auf den tonreichen Sedimenten im Oberrheingraben vor. Der hohe Tongehalt sorgt dafür, dass Pelosole mit wechselndem Wassergehalt quellen und schrumpfen und bei Trockenheit typische Trockenrisse ausbilden, während sie im feuchten Zustand als plastisch und strukturlos erscheinen. Pelosole sind dadurch bei der Bearbeitung sehr anspruchsvoll: Sie lassen sich

weder in einem zu nassen Zustand bearbeiten, weil sie dann zu schwer, schmierig und verdichtungsanfällig sind, noch in einem zu trockenen Zustand, da sie dann zu hart werden. Den Landwirtinnen und Landwirten bleibt so nur ein kurzes Zeitfenster für die Bewirtschaftung, weshalb die Pelosole auch Minutenböden genannt werden.

Weitere Informationen und Materialien zur Aktion Boden des Jahres und zum Boden des Jahres 2022 – Pelosol finden Sie hier:

- Webseite des HLNUG: <https://www.hlnug.de/themen/boden/erleben/boden-des-jahres>
- Flyer Boden des Jahres 2022 – Pelosol des HLNUG: [https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/boden-infos/Boden\\_des\\_Jahres/Boden\\_des\\_Jahres\\_2022\\_Pelosol\\_korrigiert.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/boden-infos/Boden_des_Jahres/Boden_des_Jahres_2022_Pelosol_korrigiert.pdf)
- Webseite des Kuratoriums Boden des Jahres: <https://boden-des-jahres.de>
- Webseite der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft: <https://www.dbges.de/de/boden-des-jahres>
- Webseite des Bundesverband Boden: <https://www.bvboden.de/aktuelles/boden-des-jahres>
- Webseite der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: [https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Bodenbewusstsein/Boden\\_des\\_Jahres/boden\\_des\\_jahres\\_node.html](https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Bodenbewusstsein/Boden_des_Jahres/boden_des_jahres_node.html)
- Aufzeichnung der Festveranstaltung: <https://rp.baden-wuerttemberg.de/rpf/abt9/boden-des-jahres-2022/>
- Flyer und Poster zur deutschlandweiten Aktion: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/flyer-boden-des-jahres-2022-pelosol>  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/poster-boden-des-jahres-2022-pelosol>
- Boden des Jahres in der Schweiz: <https://www.boden-des-jahres.ch>

# Detailkartierungen landwirtschaftlich genutzter Moorböden in Hessen - Verbesserung der Datengrundlage zur Identifikation potenzieller Maßnahmenräume

CHRISTIAN HELLER, FRANK ULLRICH\*

## Einleitung

Moorböden bestehen aus Torf und besitzen eine enorme Bedeutung für den Klimaschutz, da sie die flächeneffektivsten terrestrischen Speicher für organischen Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) darstellen [1]. Nach bodenkundlicher Definition enthalten diese Böden mindestens 30 % organische Bodensubstanz und sind mindestens 30 cm mächtig [2]. Werden sie entwässert, zersetzt sich der Torfkörper, so dass daraus große Mengen an  $CO_2$  in die Atmosphäre freigesetzt werden können. Auch im Hinblick auf die Anpassung an den Klimawandel stellen naturnahe Moorböden wichtige Ökosystemleistungen bereit, wie etwa den Wasserrückhalt in der Landschaft oder den Lebens- und Rückzugsraum für viele auch klimasensitive Arten [3]. Daneben besitzen sie besondere Funktionen als Archive der Natur- und Kulturgeschichte [4].

Die Bedeutung dieser schützenswerten Böden wurde u. a. in der Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz<sup>1</sup> und in der Moorschutzstrategie der Bundesregierung [5] hervorgehoben. Auch im Zuge der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik der EU (GAP), die neue Standards zur Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand (GLÖZ) definiert, ist ein Mindestschutz von Feuchtgebieten und Mooren<sup>2</sup> vorgesehen. So sollen z. B. besonders kohlenstoffreiche Böden für „Moore und Feuchtgebiete“ unter landwirtschaftlicher Nutzung gemäß Entwurf der Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der GAP geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung – GAPKondV) ausgewiesen werden.

Auch für weitere natur- und klimaschutzfachliche Fragestellungen, wie z. B. zum Biotopschutz oder zur Berechnung der landesweiten  $C_{org}$ -Vorräte im Boden, sind genaue Informationen zur Verbreitung und zum Zustand von Moorböden in Hessen entscheidend.

Eine hessenweite Datenbasis für die Identifikation relevanter Flächen steht in Form der Bodenkarte 1 : 50 000 (BK50) zur Verfügung<sup>3</sup>. Darin werden etwa 10 000 ha Landesfläche ausgewiesen, die überwiegend von „organischen Böden“ (Moorböden und moorbegleitende Böden) bedeckt sein können. Auf nationaler Ebene entspricht dies einem Anteil von nur etwa 0,55 % an der gesamten Moorfläche Deutschlands von rund 1,8 Millionen ha [5]. Diese Abschätzung ist allerdings mit starken Unsicherheiten behaftet, da die Einheiten der BK50 auf Bodengesellschaften basieren, die aus wechselnden Flächenanteilen von Moorböden und Mineralböden zusammengesetzt sind.

Um die Datenlage für Hessen zu verbessern und Moorböden besser quantifizieren, abgrenzen und damit auch schützen zu können, wurden in den Jahren 2020 und 2021 verschiedene Auswertungen und Detailkartierungen durchgeführt. Im Folgenden werden diese Arbeiten beschrieben und die wichtigsten Ergebnisse dargestellt. Der Fokus lag dabei auf der Identifikation und Kartierung von Moorböden unter landwirtschaftlicher Nutzung, da diese derzeit nicht unter besonderem Schutz stehen.

- 1 [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/blzv\\_moorbodenschutz\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/blzv_moorbodenschutz_bf.pdf)
- 2 Gesetz zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Gesetz – GAPKondG) mit dazugehöriger Verordnung zur Durchführung der im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik geltenden Konditionalität (GAP-Konditionalitäten-Verordnung – GAPKondV)
- 3 Bodenkarte BK50: Bodenflächendaten 1 : 50 000 (BFD50), 2. Auflage, aktualisiert, Stand 06/2020. Nähere Informationen: <https://www.hlnug.de/themen/boden/information/bodenflaechenkataster-und-kartenwerke/bfd50>

## Ermittlung potenzieller Moorbodenstandorte aus vorliegenden Daten- grundlagen

In einem ersten Schritt wurden die Daten der landwirtschaftlichen Bodenschätzung (BS) auf das potenzielle Vorhandensein von Moorböden geprüft. Diese Daten werden seit 1934 in Deutschland einheitlich erhoben und stellen parzellenscharfe Bodeninformationen für alle landwirtschaftlich genutzten Flächen unter Acker- bzw. Grünland bereit. Unter Zuhilfenahme der Informationen zu „Klassenzeichen“ und „Grablochbeschreibung“ aus dem digitalen Feldschätzungsbuch der BS sowie durch Experteninterviews mit hauptamtlichen Bodenschätzern der Finanzdirektion wurden Suchalgorithmen entwickelt, um organische Böden aus den Bodenschätzungsdaten zu identifizieren. Im Ergebnis konnten 1 016 Datensätze aus 408 Gemarkungen selektiert werden, die ausschließlich die Bodenart „Mo“ (Moor) im Klassenzeichen enthalten und somit eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Moorböden anzeigen. Misch- und Schichtbodenarten (z. B. „Mo/S“) wurden nicht berücksichtigt. Die selektierten Daten im Maßstab 1 : 5 000 wurden mit den organischen Böden der BK50 verschnitten, um eine Kulisse potenzieller Moorbodenstandorte auszuweisen. Dabei wurden aus der BK50 die Bodeneinheiten herangezogen, in denen Böden mit Torfbildung (org. Substanz > 30 %) beschrieben waren.

Zur Auswertung wurden 3 Kategorien von Suchräumen definiert, die jeweils unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für das tatsächliche Vorhandensein von Moorbodenflächen besitzen:

- **Kategorie 1:** Klassenzeichen „Mo“ der BS und Böden mit Torfbildung der BK50 = Moorböden vorherrschend bis ausschließlich in den Suchräumen vermutet (Kategorie 1)
- **Kategorie 2:** Klassenzeichen „Mo“ der BS ohne Böden mit Torfbildung der BK50 = Moorböden verbreitet in den Suchräumen vermutet (Kategorie 2)
- **Kategorie 3:** Böden mit Torfbildung der BK50 ohne Klassenzeichen „Mo“ der BS = Moorböden selten bis gering verbreitet in den Suchräumen vermutet (Kategorie 3)

Die hohe Qualität der Kategorien 1 und 2 als Suchräume ergibt sich daraus, dass parzellenscharf abgegrenzte Bodenschätzungsflächen im Maßstab 1 : 5 000 vorliegen. Liegen dagegen nur Flächen aus der BK50 vor (Kategorie 3), ist aufgrund des kleineren Maßstabs von einer allgemein geringeren Flächenschärfe auszugehen, so dass in diesem Fall neben den Moorböden ebenso mineralische Böden in größeren Anteilen in den Suchräumen vorkommen können. Im Ergebnis konnten insgesamt 6 275 ha potenzielle Moorbodenfläche für Hessen identifiziert werden (Tab. 1). Dabei fiel der größte Anteil mit 4 897 ha auf Flächen der Kategorie 3. In dieser Kategorie befinden sich etwa 75 % der Flächen unter Grünland- bzw. Ackernutzung. Diese landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden durch die Abgrenzung nach Landschaftsformen und die maßstabsbedingte „Überzeichnung“ der BK50 als Moorböden kartiert, obwohl die BS hier kein Klassenzeichen „Mo“ ausweist. Die restlichen 25 % der Flächen in dieser Kategorie entfallen auf potenzielle Moorbodenstandorte unter forstlicher Nutzung sowie Moorflächen, die nicht von der Bodenschätzung erfasst werden, wie etwa das Pfungstädter Moor. In die Kategorie 1 mit der höchsten Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein von Moorböden fielen für ganz Hessen dagegen lediglich knapp 637 ha, also etwa 10 % der gesamten potenziellen Moorbodenfläche. Die restlichen 741 ha entfielen auf die Kategorie 2, die damit einen ähnlichen, vergleichsweise geringen Flächenanteil aufweist.

Dabei fällt auf, dass die Suchräume sehr heterogen über die Landesfläche verteilt sind. Die größten Flächen mit potenziellen Moorbodenstandorten der Kategorien 1 und 3 befinden sich demnach im Landkreis Groß-Gerau als Teil des hessischen Rieds. Sie repräsentieren überwiegend Moorbildungen durch Verlandungs- und Überflutungsprozesse in den Auen und Altläufen von Rhein, Main und Neckar, wie sie z. B. von DAMBECK [6] beschrieben worden sind. Dieser Landkreis nimmt auch die zweitgrößte Fläche in der Kategorie 2 ein.

Die größten Flächen der Kategorie 2 liegen im Landkreis Marburg-Biedenkopf. Der Verbreitungsschwerpunkt liegt hier vor allem im Bereich des



Amöneburger Beckens. In dieser Senke befindet sich u. a. auch das überregional bekannte und als

Naturschutzgebiet ausgewiesene Niedermoorgebiet „Schweinsberger Moor“.

**Tab. 1:** Flächenstatistik für die Verbreitung potenzieller Moorböden in Landkreisen und kreisfreien Städten in Hessen. Ergebnisse aus der Verschneidung von Bodenschätzungsdaten und der Bodenkarte 1:50 000, gegliedert nach drei Kategorien unterschiedlicher Wahrscheinlichkeiten für das tatsächliche Vorhandensein von Moorbodenflächen (Erläuterungen s. Text).

Landkreise und kreisfreie Städte	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Gesamt
	Angaben in ha			
Bergstraße	35,26	26,47	829,75	891,49
Darmstadt-Dieburg	102,08	55,25	679,49	836,83
Fulda	1,90	32,41	100,40	134,72
Gießen	1,12	2,97	5,78	9,87
Groß-Gerau	245,65	104,62	1 442,09	1 792,36
Hersfeld-Rotenburg	0,42	15,65	8,68	24,76
Hochtaunus	1,23	9,45	6,31	17,00
Kassel	4,71	27,44	83,18	115,33
Kreisfreie Stadt Darmstadt	0,31	42,10	54,32	96,73
Kreisfreie Stadt Frankfurt am Main	11,18	10,13	66,23	87,54
Kreisfreie Stadt Kassel	-	0,15	-	0,15
Kreisfreie Stadt Offenbach am Main	0,01	7,41	3,85	11,26
Lahn-Dill	0,50	4,31	6,84	11,66
Landeshauptstadt Wiesbaden	<0,01	0,47	3,83	4,30
Limburg-Weilburg	-	4,75	5,78	10,53
Main-Kinzig	18,63	45,73	430,96	495,32
Main-Taunus	0,43	2,33	2,98	5,74
Marburg-Biedenkopf	78,65	125,27	359,81	563,73
Odenwaldkreis	<0,01	1,30	16,94	18,24
Offenbach	114,28	41,66	424,25	580,18
Rheingau-Taunus	0,56	29,81	15,51	45,88
Schwalm-Eder	1,67	52,33	43,42	97,43
Vogelsberg	-	19,06	45,41	64,47
Waldeck-Frankenberg	17,21	68,00	109,01	194,22
Werra-Meißner	-	9,64	55,95	65,59
Wetterau	0,98	2,77	96,34	100,10
Fehlstellen	-	<0,01	0,01	0,01
<b>Gesamt</b>	<b>636,78</b>	<b>741,49</b>	<b>4897,14</b>	<b>6275,41</b>

**Tab. 2:** Übersicht der Untersuchungsgebiete und ihrer naturräumlichen Lage mit potenziellen Moorbodenflächen nach Bodenschätzung und im Gelände tatsächlich vorgefundenen kartierten Moorbodenflächen unter landwirtschaftlicher Grünlandnutzung

Bezeichnung des Untersuchungsgebietes	Naturraum	Größe des Untersuchungsgebietes	Potenzielle Moorbodenfläche nach Bodenschätzung	Tatsächlich kartierte Moorbodenfläche*	Anteil an der potenziellen Moorbodenfläche
Fischborn	Unterer Vogelsberg	8,0 ha	5,0 ha	1,0 ha	20,0 %
Oberrosophe	Burgwald	16,1 ha	5,4 ha	4,3 ha	79,6 %
Todenhausen	Burgwald	18,0 ha	4,8 ha	7,5 ha	156,3 %
Kirchhain	Amöneburger Becken	38,7 ha	27,0 ha	2,0 ha	7,4 %

\*Moore und moorbegleitende Böden

## Bodenkundliche Detailkartierungen potenzieller Moorbodenstandorte

Im Anschluss an die Auswertung der vorliegenden Bodenflächendaten wurden vier potenzielle Moorbodenstandorte der Kategorien 1 und 2 unter Grünlandnutzung ausgewählt. Diese wurden aus Mitteln des integrierten Klimaschutzplans 2025<sup>4</sup> [7] durch verschiedene Ingenieurbüros bodenkundlich kartiert (Tab. 2). Dadurch sollte geprüft werden, wie viel Moorbodenfläche im Gelände aktuell vorhanden ist und inwieweit die Flächeninformationen der BS und der BK50 für die ausgewählten Standorte zutreffen. Außerdem sollten die potenziellen Moorbodenstandorte auf ihre Eignung für klima- und naturschutzfachliche Entwicklungen untersucht werden, um daraus Vorschläge für eventuelle Maßnahmen abzuleiten. Im Vorfeld wurde dazu ein spezielles Kartierverfahren für die Detailkartierung von Moorböden entwickelt und abgestimmt.

Folgende Informationen wurden dabei erhoben:

- Ökologischer und hydrogenetischer Moortyp
- Flächengröße und Moormächtigkeit, Moorgrenzen
- Torf-/Substratarten mit Zersetzungs-/Humositätsgraden und Horizontmächtigkeiten
- Merkmale zur (sekundären) Pedogenese und weitere Degradierungsmerkmale
- Eigenschaften unterlagernder Substrate
- Landnutzung und Vegetation

- Hydrogeologische Situation, Wasserstände und Entwässerungstiefen
- Entwässerungswirksame Einrichtungen wie Gräben etc.
- Berechnung der Kohlenstoffvorräte und des durch Entwässerung gefährdeten Flächenanteils

Bei der Kartierung der potenziellen Moorbodenstandorte wurden bodenkundliche Raster Sondierungen im Abstand von etwa 50m eingebracht. Zur weiteren Beschreibung der gefundenen Bodenformen wurden Bodenprofile aufgedigelt und angesprochen. Außerdem wurden aus den charakteristischen Bodenhorizonten repräsentative Proben entnommen und davon u. a. die Trockenrohdichte und der  $C_{org}$  gemessen, um daraus die Kohlenstoffvorräte berechnen zu können.

Die Ergebnisse zeigen, dass die im Gelände tatsächlich gefundenen Moorbodenflächen an drei von vier Standorten um ein Vielfaches kleiner waren als ursprünglich aus den Bodenflächendaten ermittelt. Das zeigen die Differenzen zwischen den potenziellen und den tatsächlich kartierten Moorbodenflächen innerhalb der Untersuchungsgebiete (Tab. 2).

Besonders deutlich wird das am Beispiel des Untersuchungsgebietes bei Kirchhain im Amöneburger Becken, das sich im Auenbereich der Klein, einem

4 Nähere Infos unter: [https://www.klimaschutzplan-hessen.de/files/iksp/content/downloads/Integrierter\\_Klimaschutzplan\\_Web\\_barrierefrei.pdf](https://www.klimaschutzplan-hessen.de/files/iksp/content/downloads/Integrierter_Klimaschutzplan_Web_barrierefrei.pdf)



**Abb. 1:** Südwestlicher Bereich des Untersuchungsgebiets Kirchhain mit moortypischer Schilfvegetation (*Phragmites australis*) über entwässertem und vererdetem Niedermoor. Im Hintergrund ist die Ämoneburg zu sehen. © HLNUG

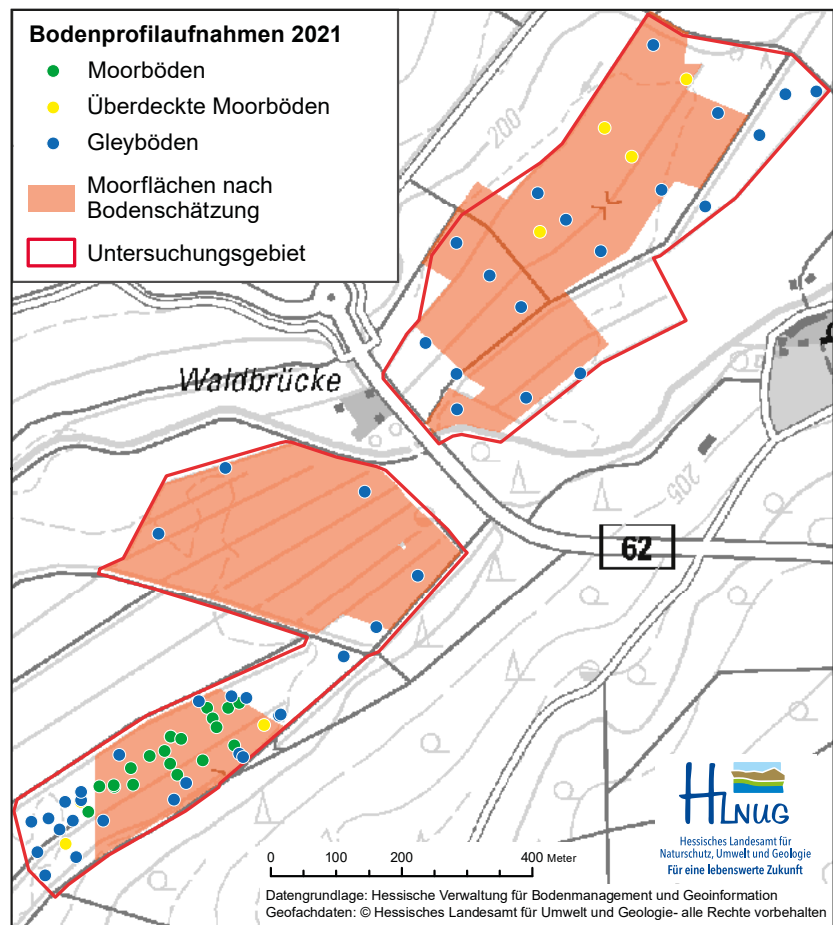
Zufluss der Ohm, befindet (Abb. 1). Die in der Bodenschätzung angegebene Fläche von 27 ha enthält gegenwärtig noch 2 ha Moorböden und moorbegleitende Böden (Abb. 2). Die Mineralböden auf den restlichen Flächen setzen sich hauptsächlich aus schwach bis mittel humosen Auengleyen zusammen.

Einzig im Untersuchungsgebiet Todenhausen wurde eine größere Moorbodenfläche kartiert als ursprünglich angenommen. Es handelt sich dabei aber ausnahmslos um Flächen mit mineralischen Überdeckungen des Moorbodenprofils, die von der Bodenschätzung nicht mit dem Klassenzeichen „Mo“ kartiert wurden (siehe Abb. 3).

Charakteristisch für alle Untersuchungsgebiete war, dass es sich bei den vorhandenen Moorböden um Erdniedermoores handelt, die durch Entwässerung pedogen stark veränderte Oberböden besitzen und im Profilaufbau durch einen Wechsel von Torfen und mineralischen Auensubstraten geprägt sind (Abb. 4). Außerdem wurden vielfach von Auengleyen überdeckte Moorböden vorgefunden.

Die einzige naturnahe Moorbodenfläche konnte im Untersuchungsgebiet Fischborn kartiert werden. Hier kam es in kleinen Teilbereichen durch flurnahe Wasserstände zu rezenter Torfbildung (Abb. 5).





**Abb. 2:** Kartierergebnisse für das Untersuchungsgebiet Kirchhain. Der Großteil der potenziellen Moorbodenflächen nach Bodenschätzung enthielt keine Moorböden. Lediglich im südwestlichen Teil konnten Moorböden nach bodenkundlicher Definition gefunden werden. © HLNUG

**Abb. 3:** Bodenprofilgrube für die bodenkundliche Ansprache und die Beprobung am Standort Todenhausen. Zu erkennen ist der etwa 35 cm mächtige mineralische Oberboden, der vermutlich zur ackerbaulichen Nutzung bereits vor etwa 200 Jahren aufgebracht wurde. Darunter schließen sich bis über 2 m mächtige Torfe aus Braunmoosen, Schilf und Rädzellen an. © HLNUG







**Abb. 4:** Profilbohrung mit der Moorklappsonde, beispielhaft für das Untersuchungsgebiet Oberrospehe. Die kartierten Moorböden waren meist gekennzeichnet von einem Wechsel aus organischen Torfen (dunkle Farbe) und mineralischen Auensubstraten (hellgraue Farbe). © HLNUG



**Abb. 5:** Naturnahe Moorbodenfläche mit flurnahen Wasserständen und rezenter Torfbildung durch Seggen- und Braunmoose in kleinen Teilbereichen des Untersuchungsgebietes Fischborn. © HLNUG

## Zusammenfassung

Die Rolle von Moorböden im Klima-, Natur- und Artenschutz gerät immer stärker in den Fokus aktueller umwelt- und agrarpolitischer Überlegungen. Deshalb ist eine genaue Kenntnis ihrer Verbreitung und ihrer Standorteigenschaften von großer Bedeutung. Neben den existierenden Kartenwerken, die Informationen zu potenziellen Moorbodenflächen liefern, sind die durchgeführten und beschriebenen Detailkartierungen wichtig zur Überprüfung der vorhandenen Daten und Grundlage für die Ableitung natur- und klimaschutzfachlicher Maßnahmenvorschläge.

Die für das Land Hessen ermittelte potenzielle Moorbodenfläche aus der BK50 von ca. 10 000 ha ent-

spricht nur etwa 0,5 % der gesamten Landesfläche und ist damit im Vergleich zum Moorbodenanteil anderer, moorreicherer Bundesländer relativ gering. Die Ergebnisse der durchgeführten Detailkartierungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen lassen vermuten, dass die derzeit tatsächlich existierende Moorbodenfläche in Hessen noch wesentlich kleiner ausfällt. Aufgrund ihres vergleichsweise geringen Flächenanteils stellen Moorböden in Hessen somit sehr seltene und gerade auch im Hinblick auf ihre Lebensraum- und Archivfunktionen besonders schützenswerte Böden dar.

## Literatur

- [1] HOLDEN, J. (2005): Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. – *Philos. T. Roy. Soc. A.* 363 (1837): 2891–2913.
- [2] Ad-hoc-AG Boden der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.) (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*; 5. Aufl. – Hannover.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment (2005): *Ecosystems and Human Well-Being: Current State & Trends*. – Island Press; Washington D.C.
- [4] LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (Hrsg.) (2011): *Archivböden - Empfehlungen zur Bewertung und zum Schutz von Böden mit besonderer Funktion als Archiv der Natur- und Kulturgeschichte*. – Berlin.
- [5] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (Hrsg.) (2021): *Nationale Moorschutzstrategie*. – Bonn.
- [6] DAMBECK, R. (2005): *Beiträge zur spät- und postglazialen Fluß- und Landschaftsgeschichte im nördlichen Oberrheingraben*. – Dissertationsschrift, Frankfurt am Main.
- [7] HMKLV – Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hrsg.) (2017): *Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025*. – Wiesbaden.



## Organische Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden Hessens - Ergebnisse der ersten deutschlandweiten „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“

Björn Glasner, Christian Heller\*

### Einführung

Im Zuge mehrerer internationaler Vereinbarungen zum Klimaschutz hat sich die Bundesrepublik zur Inventarisierung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen verpflichtet [1]. In diesem Zusammenhang hat das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz (TI) beauftragt, eine deutschlandweite Inventarisierung des Bodenzustandes von landwirtschaftlichen Nutzflächen durchzuführen [1]. Bei dieser ersten Bodenzustandserhebung-Landwirtschaft (BZE-LW) wurde erstmalig eine konsistente, repräsentative und flächendeckende Datengrundlage zu Standort- und Nutzungseigenschaften der landwirtschaftlich genutzten Böden Deutschlands geschaffen [1]. Einer der wichtigsten erhobenen Bodenparameter dabei war der Vorrat an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ), da dieser bei veränderten Standort- bzw. Nutzungsbedingungen rasch umgesetzt und mineralisiert werden kann und damit die weitaus größte Quelle für Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) aus Böden darstellt.

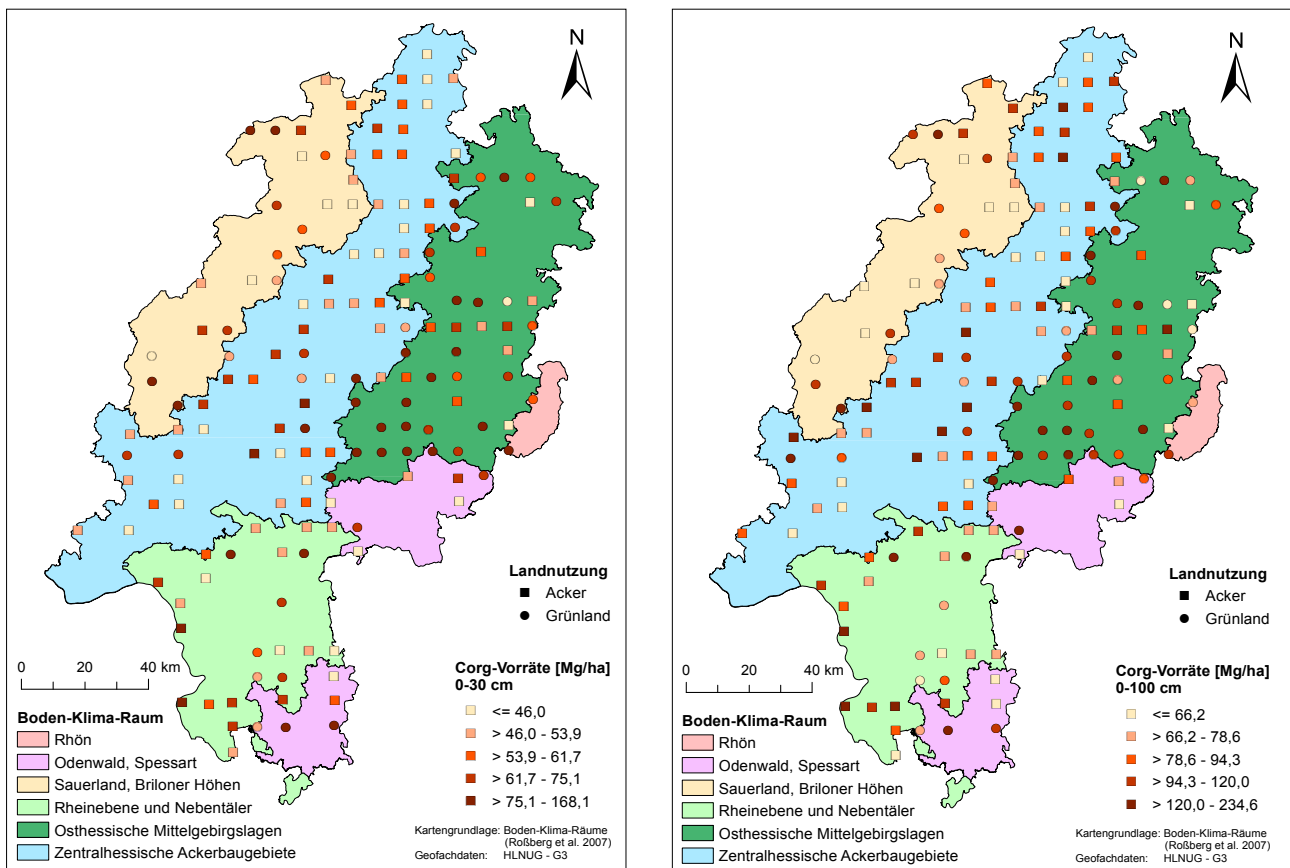
Die Ergebnisse dieser Erhebung wurden deutschlandweit durch das TI ausgewertet und veröffentlicht [1]. Eine hessenspezifische Auswertung existiert bisher nicht. Im vorliegenden Beitrag werden deshalb die wichtigsten Ergebnisse zu  $C_{org}$ -Vorräten der BZE-LW für das Land Hessen vorgestellt. Zunächst wird das methodische Vorgehen zur Datenerhebung innerhalb der BZE-LW kurz erläutert. Dann werden die erhobenen  $C_{org}$ -Vorräte der hessischen Untersuchungsstandorte nach Tiefenstufe und Bodentyp gruppiert dargestellt und mit den deutschlandweiten Ergebnissen verglichen. Anschließend werden die Ergebnisse nach den in Hessen vorkommenden Boden-Klima-Räumen differenziert betrachtet. Als Datengrundlage diente der frei zugängliche Datensatz des TI [2], wobei die beprobten Standorte innerhalb Hessens zusätzlich lagegenau verortet wurden. Für einen Standort fanden außerdem Änderungen in der ursprünglichen Bezeichnung der Nutzung und des Bodensubtyps statt, um ihn an den hessischen Erfassungsstandard Boden/Bodenschutz anzupassen<sup>1</sup>.

### Methodisches Vorgehen der BZE-LW und Aufbereitung der Daten für die hessenweite Betrachtung

Innerhalb der deutschlandweiten Erhebung wurden im Zeitraum 2012–2014 161 Standorte in Hessen durch das TI in einem regelmäßigen 8-km-Raster untersucht und beprobt (Abb. 1). Davon entfielen 100 Standorte auf Acker- und 61 Standorte auf Grünlandnutzung, was in etwa dem landesweiten Anteil von Acker- (62 %) zu Grünlandflächen (38 %) entspricht [3]. Jeder Standort wurde, wenn möglich, bis in eine Tiefe von 100 cm, aufgeteilt in fünf Tiefenstufen (0–10 cm, 10–30 cm, 30–50 cm, 50–70 cm und 80–100 cm) beprobt [1].

Anschließend wurden die Proben im Labor des TI hinsichtlich der chemischen Parameter Kohlenstoff (organisch und gesamt), Stickstoff und pH-Wert, sowie der physikalischen Parameter Textur, Grobbodenanteil, Wassergehalt, Trocken- und Kornrohddichte des Feinbodens ( $\leq 2$  mm) untersucht. Mit Hilfe der Trockenrohddichte und des Grobbodenanteils wurden die  $C_{org}$ -Vorräte für zwei Tiefenstufen (Oberboden: 0–30 cm; Unterboden: 30–100 cm) berechnet [2]. Für die folgende Darstellung der Ergebnisse aus Hessen wurden die  $C_{org}$ -Vorräte dieser beiden Tiefen-

1 <https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/erfst/index.html>



**Abb. 1:** Lage, Nutzung und Vorräte an organischem Kohlenstoff im Oberboden (0–30 cm) (links) und Gesamtboden (0–100 cm) (rechts) der hessischen BZE-LW Profile differenziert nach Boden-Klima-Raum (Quelle: [6] – eigene Darstellung)

stufen zusätzlich für den Gesamtboden (0–100 cm) aufsummiert.

Um mögliche  $C_{org}$ -Vorratsunterschiede zwischen einzelnen Landnutzungen oder Bodenklassen statistisch zu untersuchen, wurde der Wilcoxon-Rang-

summentest auf einem Signifikanzniveau von  $<0,05$  gewählt, da die Daten innerhalb der gebildeten Gruppen nicht normal verteilt waren. Hierfür wurde das Statistikprogramm R (4.1) [4] verwendet. Die Kartendarstellung erfolgte mittels ArcGIS (10.6.1) [5].

## Ergebnisse der hessenweiten Betrachtung

### Vorräte des organischen Kohlenstoffs differenziert nach Landnutzung und Tiefenstufe

Die untersuchten hessischen Grünlandstandorte enthielten sowohl im Oberboden ( $71 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) wie auch im Gesamtboden ( $107 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) signifikant höhere  $C_{org}$ -Vorräte als die untersuchten hessischen Ackerstandorte ( $51$  bzw.  $79 \text{ Mg ha}^{-1}$ , Tabelle 1). Dies bestätigt den deutschlandweiten Trend der BZE-LW und spiegelt die Tatsache wider, dass Böden unter Ackernutzung mit einhergehender Bodenbearbeitung und Durchlüftung allgemein einem stärkeren Abbau von organischer Substanz und  $C_{org}$  ausgesetzt sind. Außerdem findet hier meist eine geringere Nachlie-

ferung organischer Substanz durch höhere Ernteentzüge als unter Grünlandnutzung statt.

Anders sieht es bei der Betrachtung der Unterböden aus. Im Gegensatz zum deutschlandweiten Vergleich, bei dem auch hier die mittleren Vorräte unter Grünland ( $37 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) signifikant höher waren als in Unterböden unter Ackernutzung ( $26 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), zeigten die Standorte in Hessen praktisch keine Unterschiede zwischen den beiden Nutzungen ( $26$  bzw.  $27 \text{ Mg ha}^{-1}$ ). Bei der Betrachtung der Wertebereiche



**Tab. 1:** Mediane sowie Minimal- und Maximalwert (in Klammern) der organischen Kohlenstoffvorräte in Deutschland und Hessen nach Landnutzungs-kategorie im Oberboden (0–30 cm), Unterboden (30–100 cm) und Gesamtboden (0–100 cm) (Quelle: Hessenspezifisch angepasster Datensatz nach [2])

Region	Nutzung	Anzahl	C <sub>org</sub> -Vorrat [Mg ha <sup>-1</sup> ]		
			Oberboden <sup>†</sup>	Unterboden <sup>†</sup>	Gesamtboden <sup>†</sup>
Hessen	Acker	100	51* (28–96)	27 (0–84)	79* (34–172)
	Grünland	61	71* (26–168)	26 (0–129)	107* (26–235)
Deutschland	Acker	2233	56* (12–363)	26* (0–792)	84* (13–1138)
	Grünland	821	88* (13–419)	37* (0–1198)	130* (26–1292)

<sup>†</sup> Oberboden = 0–30 cm, Unterboden = 30–100 cm, Gesamtboden = 0–100 cm;

\* symbolisieren jeweils signifikante Unterschiede (p < 0,05) im C<sub>org</sub>-Vorrat zwischen Acker- und Grünlandnutzung innerhalb einer Tiefenstufe

(Spanne zwischen Minimal- und Maximalwert) der einzelnen Landnutzungen und Tiefenstufen ist außerdem auffällig, dass diese im deutschlandweiten Datensatz deutlich breiter ausfallen, als in den hessischen Daten.

Betrachtet man die Ergebnisse aus der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) (Daten nicht

gezeigt), so befinden sich auch die C<sub>org</sub>-Vorräte für Waldböden in Hessen unter dem deutschlandweiten Durchschnitt [7]. Der mittlere C<sub>org</sub>-Vorrat in den Mineralbodenhorizonten (0–90 cm) für Waldböden in Hessen wird mit 80 Mg angegeben und liegt somit unterhalb des Mittelwertes für die hessischen Grünlandstandorte aber auf einem ähnlichen Niveau wie die mittleren Vorräte unter Ackernutzung.

### Vorräte des organischen Kohlenstoffs differenziert nach Bodenklassen

Betrachtet man die Ergebnisse für Hessen differenziert nach einzelnen Bodenklassen, zeigen Gleye (134 Mg ha<sup>-1</sup>), Auenböden (120 Mg ha<sup>-1</sup>), Kultosole (96 Mg ha<sup>-1</sup>) und Stauwasserböden (84 Mg ha<sup>-1</sup>, mit bis zu 202 Mg ha<sup>-1</sup>) die höchsten mittleren C<sub>org</sub>-Vorräte im Gesamtboden (Abb. 2).

In hydromorphen („von Wasser beeinflusst“) Böden ist die Umsetzung der organischen Substanz durch einen Mangel an Sauerstoff gehemmt [8] und es kann dort zu einer Anreicherung an C<sub>org</sub> kommen. Zudem ist die Bodenbildung in Auenböden und Kultosolen<sup>2</sup> meist gekennzeichnet durch den Eintrag humusreicher Sedimente aus Oberböden, die durch Erosionsprozesse abgespült wurden.

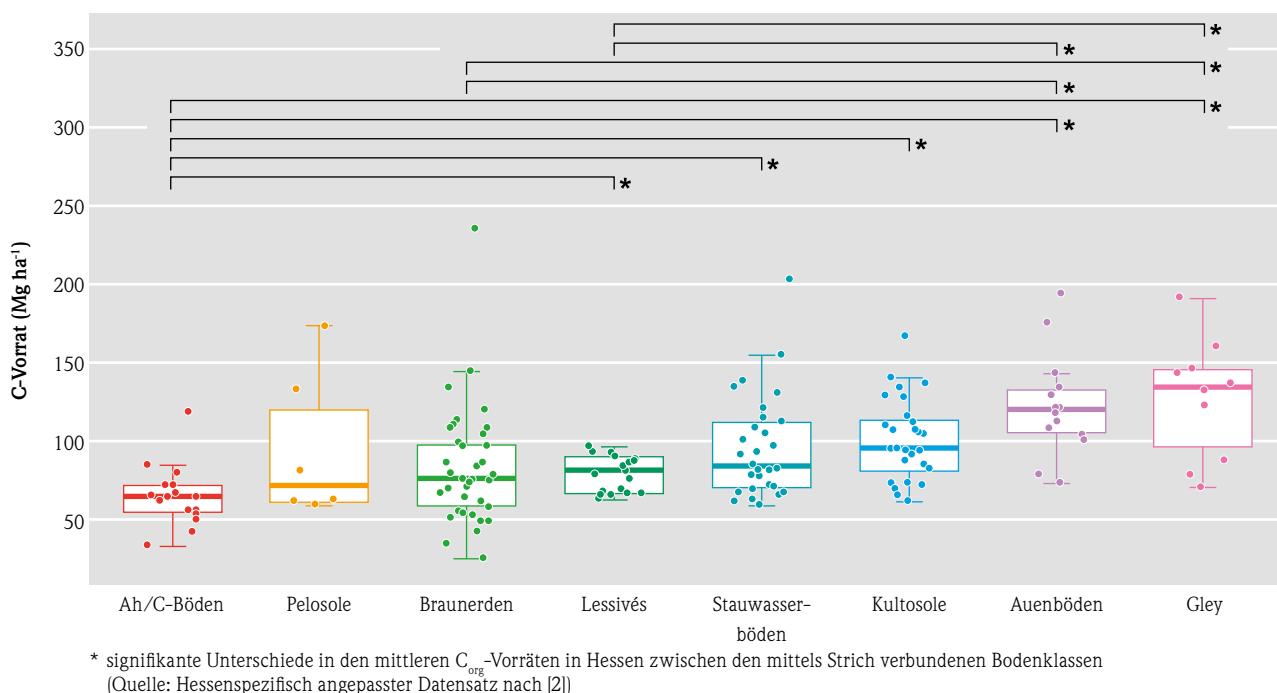
Deutschlandweit befinden sich die höchsten C<sub>org</sub>-Vorräte dagegen in den untersuchten Moorstandorten (Daten nicht gezeigt) der glazial geformten

Landschaften Nord- und Süddeutschlands. Diese organischen Böden sind in Hessen nicht sehr weit verbreitet bzw. werden kaum landwirtschaftlich genutzt<sup>3</sup> und wurden deshalb hier auch nicht durch die BZE-LW beprobt. Daher ist die Spanne der C<sub>org</sub>-Vorräte auch zwischen einzelnen Bodenklassen deutschlandweit viel größer als in Hessen.

Die geringsten C<sub>org</sub>-Vorräte in Hessen zeigen die meist flachgründigen und weniger ausdifferenzierten Ah/C-Böden (65 Mg ha<sup>-1</sup>). Hier ist der mittlere C<sub>org</sub>-Vorrat signifikant geringer als bei Böden unter Stau- oder Grundwassereinfluss. Deutschlandweit gehören die Ah/C-Böden mit durchschnittlichen C<sub>org</sub>-Vorräten von 77 Mg ha<sup>-1</sup> ebenfalls zu den Bodenklassen mit den geringsten C<sub>org</sub>-Vorräten, allerdings liegen hier die Lessivés (73 Mg ha<sup>-1</sup>) und Braunerden (76 Mg ha<sup>-1</sup>) noch leicht darunter (Daten nicht gezeigt).

<sup>2</sup> Hier handelt es sich in Hessen hauptsächlich um Kolluvisole

<sup>3</sup> s. hierzu auch den Artikel zur Kartierung von Moorböden in dieser Ausgabe



**Abb. 2:** Box-Plots der  $C_{org}$ -Vorräte des Gesamtbodens (0–100 cm) in landwirtschaftlich genutzten Böden Hessens gruppiert nach Bodenklassen. Die zusätzlich dargestellten Punkte zeigen die  $C_{org}$ -Vorräte der einzelnen beprobten Standorte.

### Vorräte des organischen Kohlenstoffs differenziert nach Boden-Klima-Raum

Das Julius-Kühn-Institut (JKI), als Bundesinstitut für Kulturpflanzen, gliedert Deutschland in verschiedene Boden-Klima-Räume (BKR). Innerhalb eines BKR sind die Standortbedingungen für die landwirtschaftliche Produktion relativ homogen was die Bodengüte und die klimatischen Bedingungen betrifft. Die Abgrenzung einzelner BKR folgt dabei Gemeindegrenzen [6]. Für Hessen werden sechs BKR ausgewiesen, die für die  $C_{org}$ -Vorräte im Folgenden differenziert betrachtet werden.

Die höchsten durchschnittlichen  $C_{org}$ -Vorräte unter Ackernutzung für den Gesamtboden entfallen auf die fruchtbaren Boden-Klima-Räume der „Zentralhessischen Ackerbaugebiete“ (n = 59) und der „Rheinebene und Nebentäler“ (n = 24) mit über 80 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$  (Tab. 2). Die geringsten Vorräte wurden für die Mittelgebirgsregionen „Odenwald und Spessart“ (n = 13) und „Sauerland mit Briloner Höhen“ (n = 23) mit durchschnittlich etwa 65 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$  errechnet. Die durchschnittlichen Vorräte für Böden unter Grünlandnutzung schwankten zwischen 116 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$  in den „Osthessischen Mittelgebirgslagen“ (n = 40) und 75 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$  im Raum „Rheinebene und Nebentäler“ (n = 24).

Bezogen auf den Oberboden (0–30 cm) zeigen die Standorte in den „Osthessischen Mittelgebirgslagen“ die höchsten durchschnittlichen Vorräte für Ackerböden mit etwa 55 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$ . Für Oberböden unter Grünland liegen die höchsten durchschnittlichen Vorräte mit über 78 Mg ha<sup>-1</sup>  $C_{org}$  in den Regionen „Odenwald und Spessart“ und wiederum in den „Osthessischen Mittelgebirgslagen“. Unter Acker zeigen allerdings die Regionen „Odenwald und Spessart“ und das „Sauerland mit den Briloner Höhen“ die niedrigsten durchschnittlichen  $C_{org}$ -Vorräte (46 Mg ha<sup>-1</sup>) im Oberboden. Hier, in der Region „Sauerland und Briloner Höhen“ werden auch die geringsten  $C_{org}$ -Vorräte in Oberböden, unter Grünland verzeichnet (63 Mg ha<sup>-1</sup>).

Mit Ausnahme der „Osthessischen Mittelgebirge“ und der „Zentralhessischen Anbaugebiete“ sind keine signifikanten Unterschiede der  $C_{org}$ -Vorräte im Oberboden zwischen Acker- und Grünlandnutzung innerhalb der sechs BKR zu beobachten. Die Unterböden zeigen insgesamt keine signifikanten Unterschiede im  $C_{org}$ -Vorrat zwischen Acker- und Grünlandnutzung, wobei in der Region „Rhön“ in Hessen auch nur zwei Grünlandstandorte untersucht wurden.

**Tab. 2:** Mediane sowie Minimal- und Maximalwert (in Klammern) der organischen Kohlenstoffvorräte nach hessischen Boden-Klimaräumen entsprechend der Nutzungsklasse und der Tiefenstufe. Quelle: Hessenspezifisch angepasster Datensatz nach [2]

Region	Nutzung	Anzahl	C <sub>org</sub> -Vorrat [Mg ha <sup>-1</sup> ]		
			Oberboden	Unterboden	Gesamtboden
Odenwald & Spessart	Acker	7	45,7 (41,9–67,6)	17,7 <sup>a</sup> (3,0–31,3)	65,4 <sup>a</sup> (73,1–143,7)
	Grünland	6	78,5 (53,9–95,4)	22,8 (17,5–69,9)	106,6 (73,1–143,7)
Osthessische Mittelgebirge	Acker	15	54,6* (35,3–72,1)	17,2 <sup>a</sup> (3,2–48,2)	73,1*, <sup>a,b</sup> (42,5–120,3)
	Grünland	25	78,3* (36,0–168,1)	29,2 (6,8–128,7)	116,3* (61,7–234,6)
Zentralhessische Anbau- gebiete	Acker	48	52,5* (29,7–95,7)	28,7 <sup>b</sup> (0,0–84,2)	83,6 <sup>b</sup> (34,4–166,5)
	Grünland	11	69,1* (47,3–91,5)	28,7 (17,4–55,8)	109,3 (67,6–131,6)
Sauerland mit Briloner Höhen	Acker	12	46,5 (33,3–72,0)	19,1 <sup>a</sup> (0,8–54,0)	65,9 <sup>a</sup> (50,6–112,5)
	Grünland	11	62,6 (25,7–105,9)	26,9 (0,2–84,9)	101,3 (25,8–190,8)
Rheinebene und Nebentäler	Acker	18	50,0 (27,5–91,3)	31,8 <sup>b</sup> (15,4–81,1)	83,1 <sup>b</sup> (56,6–172,4)
	Grünland	6	64,9 (53,4–110,3)	14,0 (0,6–83,2)	75,3 (54,0–193,6)
Rhön	Grünland	2	70,8 (54,3–87,2)	26,1 (21,2–31,1)	96,9 (75,5–118,2)

Oberboden (0–30 cm), Unterboden (30–100 cm), Gesamtboden (0–100 cm);

\* zeigen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen Acker- und Grünlandnutzung der jeweiligen Bodentiefe innerhalb einer Region;

<sup>a, b, c</sup> zeigen signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den Anbauregionen innerhalb derselben Nutzung.

Vergleiche innerhalb der Grünlandnutzung und den einzelnen Tiefenstufen zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen BKR. Bei den Oberböden unter Acker sind auch keine signifikanten Unterschiede feststellbar. Allerdings unterscheiden sich im Unterboden die Regionen „Odenwald & Spessart“, die „Osthessischen Mittelgebirge“ und die Region „Sauerland mit Briloner Höhen“ signifikant von den „Zentralhessischen Anbaugebieten“ und der „Rheinebene mit Nebentälern“, die höhere

C<sub>org</sub>-Vorräte zeigen. Für den Gesamtboden ergibt sich dadurch, dass die Regionen „Odenwald & Spessart“ und das „Sauerland mit den Briloner Höhen“ sich bei geringeren Vorräten signifikant von den „Zentralhessischen Anbaugebieten“ und der „Rheinebene mit Nebentälern“ mit höheren Vorräten unterscheiden. Die „Osthessischen Mittelgebirge“ zeigen hier mittlere Vorräte und unterscheiden sich von keiner der beiden Gruppen signifikant.

## Fazit

Die Daten aus der BZE-LW liefern einen frei verfügbaren, bundesweit einheitlichen und vergleichbaren Datensatz zum Zustand und insbesondere zum  $C_{\text{org}}$ -Vorrat landwirtschaftlich genutzter Böden. Die hier dargestellte hessenspezifische Auswertung zeigt, dass die gefundenen mittleren  $C_{\text{org}}$ -Vorräte sowohl für Acker- als auch für Grünlandstandorte sowohl im Gesamtboden als auch in einzelnen Tiefenstufen meist etwas geringer als im deutschlandweiten Vergleich ausfallen. Dies gilt auch bei der Betrachtung der einzelnen Bodenklassen und dürfte insbesondere durch die extrem hohen  $C_{\text{org}}$ -Vorräte in organischen Böden bzw. Moorböden begründet sein, die überwiegend in den glazial geprägten Regionen Nord- und Süddeutschlands verbreitet sind, in Hessen aber weitgehend fehlen. Neben den mittleren  $C_{\text{org}}$ -Vorräten sind auch die Streuungen um den Mittelwert bzw. die Spanne zwischen Minimal- und Maximalwert im deutschlandweiten Datensatz größer als allein in Hessen. Dies dürfte durch die vergleichsweise größere Vielfalt an Bodenlandschaften und den sich darin entwickelnden Böden mit unterschiedlichen Eigenschaften (Bodentypen, Substrate der Bodenbildung, klimatische Verhältnisse) begründet sein, die neben der Landnutzung ebenfalls entscheidenden Einfluss auf das Speichervermögen von  $C_{\text{org}}$  haben.

## Literatur

- [1] JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A., HEIDKAMP, A., PRIETZ, R., DECHOW, R., GENSIOR, A., POEPLAU, C., RIGGERS, C., SCHNEIDER, F., TIEMEYER, B., VOS, C., WITTNEBEL, M., MÜLLER, T., SAURICH, A., FAHRION-NITSCHKE, A., GEBBERT, S., JACONI, A., KOLATA, H., LAGGNER, A. WEISER, C. & FREIBAUER, A. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland – Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. – Thünen Report 64, 316 S.; Braunschweig; DOI:10.3220/REP1542818391000.
- [2] POEPLAU, C., DON, A., FLESSA H., HEIDKAMP, A., JACOBS, A. & PRIETZ, R. (2020): Erste Bodenzustandserhebung Landwirtschaft – Kerndatensatz. – Göttingen; DOI: 10.3220/DATA20200203151139.
- [3] HVBG – Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation (2021): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (AT-KIS®).
- [4] R Core Team (2019): R – A language and environment for statistical computing. – Wien; URL: <https://www.R-project.org/>.
- [5] Esri (2017): ArcGIS Desktop – Release 10.6.1. – Redlands, CA.
- [6] ROSSBERG, D., MICHEL, V., GRAF, R. & NEUKAMPF, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. – Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., **59** (7): 155–161; Stuttgart.
- [7] PAAR, U., EVERS, J., DAMMANN, I., KÖNIG, N., SCHULZE, A., SCHMIDT, M., SCHÖNFELDER, E., SCHELER, B., ULLRICH, T. & EICHHORN, J. (2016): Waldzustandsbericht für Hessen – Ergebnisse der zweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II). – Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 15; Göttingen; DOI: 10.17875/gup2016-1001.
- [8] AMELUNG, W., BLUME, H.-P., FLEIGE, H., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABNER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K. & WILKE, B.-M. (2018): SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL – Lehrbuch der Bodenkunde. – 17. Auflage; Berlin (Springer).



# Bodenerosion durch Wasser in Hessen unter Einfluss des Klimawandels - Abschätzung der Auswirkungen auf die Erosionsgefahr bis zum Jahr 2100

FABIAN ACHTEN, ALINE MÜLLER\*

## Bodenerosion durch Wasser im Klimawandel

Böden besitzen eine Vielzahl von Funktionen. Sie stellen Lebensraum für Pflanzen und Tiere, sind Produktionsgrundlage für Nahrungsmittel, erfüllen wichtige Rollen im Wasser- und Nährstoffkreislauf und besitzen Speicher-, Filter-, Puffer- sowie Archivfunktionen. Deshalb sollen Böden geschützt werden. Der Abtrag von Bodenmaterial als Folge von Bodenerosion führt jedoch zu Schäden an Böden sowie zum Verlust dieser wichtigen Bodenfunktionen. Dabei sind vorrangig landwirtschaftlich genutzte Flächen von Bodenerosion durch Wasser betroffen, da sie nicht dauerhaft von schützender Vegetation bedeckt sind.

Infolge von erosiven Niederschlägen werden im Jahr mehrere Tonnen Bodenmaterial pro Hektar landwirtschaftlicher Fläche in Hessen abgetragen [1]. Durch Änderungen von Temperatur und Niederschlagsgeschehen übt der Klimawandel direkten Einfluss auf das Erosionsgeschehen aus. Zukünftige klimatische Veränderungen können die Erosionsgefahr verstärken. Bislang existieren in Hessen noch keine Zukunftsmodellierungen für die Erosionsgefährdung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Aufgrund der beschriebenen Problematik und der Relevanz der Thematik beschäftigte sich die Masterarbeit „Bodenerosion in Hessen unter Einfluss des Klimawandels: Abschätzung der Auswirkungen angepasster Niederschlagserosivität (R-Faktor) und ausgewählter Bodenbedeckung (C-Faktor) auf das Erosionsgeschehen

bis zum Jahr 2100“ [2] mit der Frage, wie sich der globale Klimawandel auf die Bodenerosionsgefahr in Hessen auswirkt.

Die Einflussfaktoren und Prozessabläufe von Bodenerosion sind komplex und können näherungsweise durch Erosionsmodelle wie die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG) beschrieben werden. Die ABAG beschreibt den langjährigen, mittleren Bodenabtrag als Produkt aus den Faktoren Oberflächenabfluss/Regenerosivität (R), Bodenerodierbarkeit (K), Hanglänge (L), Hangneigung (S), Bedeckung und Bearbeitung (C) und Erosionsschutz (P) [3 & 4].

Aktuelle Klimaprojektionen deuten darauf hin, dass der Klimawandel das Niederschlagsgeschehen verändert und eine Zu- oder Abnahme von Extremereignissen wie Starkregen oder extreme Trockenheit mit sich bringt. Gleichzeitig haben prognostizierte Verschiebungen im jährlichen Niederschlagsgeschehen zusammen mit Temperaturveränderungen Einfluss auf Flora und Fauna. Dieser Einfluss bedingt bei Pflanzen unter Umständen eine Verschiebung der phänologischen Entwicklungsphasen. Alle genannten Einflüsse verändern auch einzelne Faktoren der ABAG. Die Veränderungen wurden im Rahmen der Masterarbeit modelliert, um daraus eine Abschätzung der Auswirkung auf die Erosionsgefahr für Hessen bis zum Jahr 2100 zu erarbeiten.

## Datengrundlage und Methodik

Als Datengrundlage dieser Arbeit dienten Klimaprojektionsdaten des Kooperationsprojektes „Klimaveränderung und Wasserwirtschaft“ (KLIWA) [5]. Zum einen wurden die Projektionsdaten zur Neuberechnung der Niederschlagserosivität (R-Faktor nach

ABAG) genutzt. Zum anderen dienten die Daten zur Ermittlung von extremen Niederschlagsereignissen sowie der Bodenbedeckung durch ausgewählte Kulturpflanzen (C-Faktor nach ABAG) unter Betrachtung zukünftiger Klimaverhältnisse.

Bei den verwendeten Daten handelt es sich um Tageswerte bis zum Jahr 2100 des Emissionsszenarios RCP8.5, das von steigenden Treibhausgasemissionen ohne nennenswerte Klimaschutzmaßnahmen ausgeht. Somit spiegeln die Ergebnisse dieser Arbeit den „Worst-Case“ wider. Die Daten liegen in einem Raster mit einer Flächenabdeckung von 25 km<sup>2</sup> je Pixel vor. Insgesamt standen für die Masterarbeit zehn

verschiedene Projektionen zur Verfügung, welche jedoch aufgrund der Datenmenge gemittelt wurden. Die Abschätzung wurde für drei Zeiträume vorgenommen: Referenzzeitraum (1971–2000), nahe Zukunft (2021–2050) und ferne Zukunft (2071–2100). Als Ergebnis liegt jeweils eine landesweite Modellierung der Veränderung der Erosionsgefährdung für hessische Böden vor.

## Niederschlagserosivität (R-Faktor)

Der Erosionsatlas, welcher vom HLNUG zur Verfügung gestellt wird, gibt eine aktuelle Einstufung der Erosionsgefährdung landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Basis der ABAG wieder und dient als Beurteilungsgrundlage der Bodenerosion durch Wasser für Hessen. Dabei erfolgt die Berechnung der Niederschlagserosivität (R-Faktor) für den Bodenerosionsatlas in Hessen auf Basis des langjährigen mittleren Sommerniederschlags in Anlehnung an eine Regressionsgleichung nach SCHWERTMANN et al. [3]. Um einen direkten Vergleich zwischen den Aussagen des aktuellen Bodenerosionsatlas Hessen und den in der Masterarbeit untersuchten Veränderungen der Erosionsgefährdung unter Einfluss des Klimawandels zu ermöglichen, wurde bei der Neuberechnung die gleiche Methodik auf Grundlage der Regressionsgleichung verwendet.

Für die Niederschlagserosivität ergeben sich dadurch im hessenweiten Mittel keine signifikanten Veränderungen zwischen dem Referenzzeitraum und der nahen und fernen Zukunft. Die Projektionsdaten der Klimamodelle zeigen für den Winter der nahen (2021–2050) und fernen Zukunft (2071–2100) eine Zunahme und für den Sommer eine Abnahme der

Niederschläge. In Anlehnung an die Berechnungsmethode nach Schwertmann et al. [3] flossen in die Neuberechnung der R-Faktoren lediglich die mittleren Sommerniederschläge von Mai bis Oktober mit ein, wodurch der Einfluss der Winterniederschläge nicht berücksichtigt wurde. Durch die Vernachlässigung der zunehmenden Winterniederschläge bleiben die Veränderungen der Niederschlagscharakteristik in der Berechnung des R-Faktors unbeachtet. Dadurch lassen sich wiederum die nur geringen Änderungen des R-Faktors in den Ergebnissen der Masterarbeit erklären. Grundsätzlich ist die Erfassung des Niederschlags aufgrund seiner räumlichen und zeitlichen Variabilität deutlich komplexer als die der Temperatur.

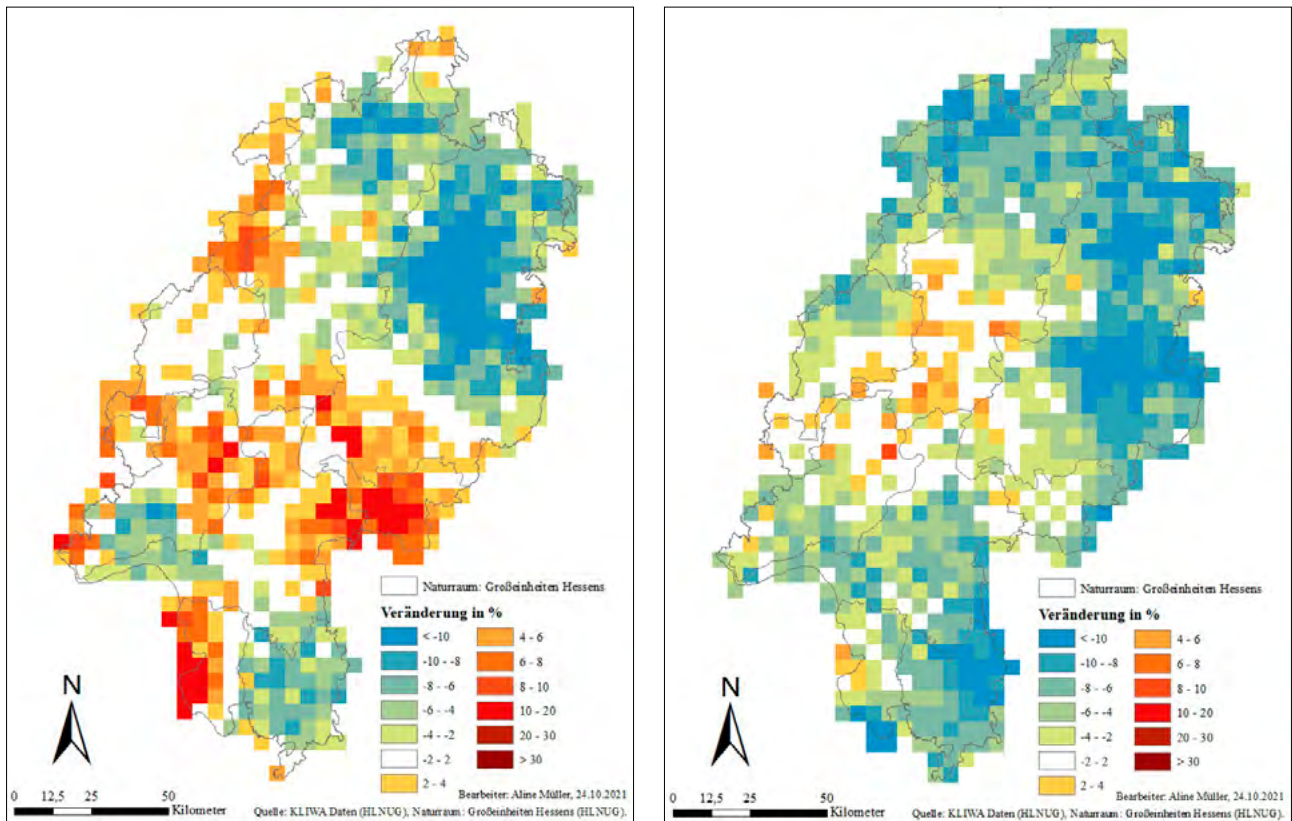
Regional betrachtet sind jedoch auch mit dieser Berechnungsmethode Unterschiede im R-Faktor zwischen Referenzzeitraum und der Zukunft erkennbar. Abhängig von der Topographie lassen sich räumliche Unterschiede wie eine Zunahme bei den Werten der R-Faktoren in Gebirgsregionen (bspw. dem Odenwald) und eine Abnahme in Senken (bspw. im Oberrheingraben) feststellen.

## Bodenbedeckung (C-Faktor)

Der Bedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (C-Faktor) beschreibt die Abhängigkeit des Bodenabtrages einer Ackerfläche von der angebauten Kulturpflanze, dem jeweiligen Bedeckungsgrad und dem Bearbeitungsverfahren. Im Rahmen dieser Masterarbeit ergibt sich die Höhe des C-Faktors aus dem Verhältnis zwischen der Höhe der Niederschlagserosivität (R-Faktor) und dem Anteil der schützenden Bodenbedeckung jedes Zeitraums pro Kultur.

Aktuell basieren die kulturspezifischen C-Faktoren im Bodenerosionsatlas Hessen auf Angaben aus verschiedenen Veröffentlichungen. Es wird für jede Kultur ein hessenweit einheitlicher C-Faktor unter wendender Bodenbearbeitung angenommen.

In die Ermittlung der Veränderung des C-Faktors unter Einfluss des Klimawandels flossen der R-Faktoranteil sowie der Relative Bodenabtrag (RBA) nach



**Abb. 1:** Veränderungen der Multiplikation R\*C für Mais als Kartendarstellung für die Zeiträume 2021–2050 zu 1971–2000 (links) und 2071–2100 zu 1971–2000 (rechts) (Datengrundlage: [5])

DIN 19708 [4] für die jeweilige Kulturperiode mit ein. Die R-Faktoranteile basieren auf der Eintrittswahrscheinlichkeit für Starkregenereignisse, die aus den KLIWA-Projektionsdaten [5] in Anlehnung an die Veröffentlichung von WURBS & STEININGER [6] mithilfe eines Schwellenwertes identifiziert wurden. Als Starkregen bzw. Extremereignis wurden für jede Rasterzelle Tageswerte ermittelt, die den Schwellenwert des 98 %-Perzils aus dem Referenzzeitraum (1971–2000) überschritten. Die Nutzung eines rasterspezifischen Schwellenwertes ermöglicht es, regionalspezifische Besonderheiten in die Betrachtung

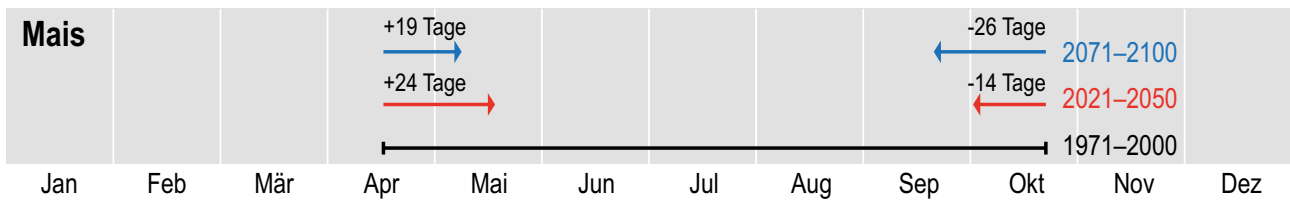
der Starkregenereignisse und der damit verbundenen Auswirkungen auf den Bedeckungsfaktor miteinzubeziehen. Es wurde je eine Sommerkultur (Mais) und eine Winterkultur (Winterweizen) betrachtet.

Die zukünftigen Veränderungen der C-Faktoren weisen (ausgenommen von einigen Teilbereichen in Nordhessen) auf eine flächendeckende Zunahme der Erosionsgefährdung hin. Diese Veränderungen gehen hierbei ausschließlich auf die rasterspezifisch individuell angepasste Starkregenwahrscheinlichkeit zurück.

## Phänologische Verschiebung

Kulturpflanzen schützen den Boden durch ihre Bedeckung vor auftreffenden Regentropfen und lindern somit den Bodenabtrag. Die Entwicklung der Pflanzen, wie Auflaufen und Ernte, sowie die damit verbundene Veränderung der Bodenbedeckung steht unter anderem in Abhängigkeit von der Temperatur.

Ein weiterer Teil der Masterarbeit beschäftigte sich mit der Verschiebung von Vegetationsperioden in Folge von Klimaveränderungen und den damit verbundenen Veränderungen des Bedeckungsgrades im Jahresverlauf. Dieser Teil der Arbeit stellt lediglich einen ersten Forschungsansatz dar und liefert daher



**Abb. 2:** Verschiebung des Vegetationszeitraums für Mais (Datengrundlage: [5] & [7])

nur eine grobe Abschätzung. Bezüglich der Einflüsse von klimawandelbedingter phänologischer Veränderungen auf die Erosionsgefahr besteht noch weiterer Forschungsbedarf, der innerhalb der Masterarbeit nicht geleistet werden konnte.

Der methodische Schwerpunkt dieser Betrachtung lag in der statistischen Untersuchung vergangener phänologischer Daten und deren Übertragung auf zukünftige klimatische Gegebenheiten. Datengrundlage bildeten dabei die Daten der hessenweiten phä-

nologischen Jahresstatistik von 1992–2020 für Mais und Winterweizen [7]. Mithilfe von Korrelationsanalysen konnten für die untersuchten Kulturpflanzen phänologische Verschiebungen als Folge klimatischer Veränderungen abgeleitet werden. Dabei ist in Folge des Klimawandels mit einer Verkürzung der Bedeckungszeit und einer damit verbundenen längeren Zeit der Brache zu rechnen. Durch eine solche Veränderung wäre zukünftig mit einem weiteren deutlichen Anstieg der C-Faktoren und somit auch der Erosionsgefahr zu rechnen.

## Fazit

Klimaveränderungen wirken sich auf die Erosionsgefahr sowohl durch die absolute Höhe der Erosivität der Starkregenereignisse (R-Faktor) als auch durch die relative Verteilung der Erosivität über das Jahr im Verhältnis zur Bodenbedeckung (C-Faktor) aus.

Für den R-Faktor konnten im Rahmen der Arbeit keine merklichen Veränderungen aufgezeigt werden, was vorwiegend auf die Defizite der verwendeten Berechnungsmethode zurückzuführen ist. Bei den C-Faktoren für Mais und Winterweizen ist in der nahen wie auch in der fernen Zukunft mit einem Anstieg zu rechnen. Dies ist mit einer vermehrten Starkregenwahrscheinlichkeit in Zeiträumen mit

geringer Bodenbedeckung zu begründen. Phänologische Verschiebungen unter den zukünftigen klimatischen Bedingungen werden den Anstieg der C-Faktoren voraussichtlich noch verstärken und damit auch eine weitere Zunahme der Erosionsgefahr bewirken.

Die Masterarbeit gibt eine erste Abschätzung der Entwicklung der Erosionsgefahr für Hessen unter Berücksichtigung des Klimawandels. Die Ergebnisse zeigen für die Zukunft eine Zunahme der Erosionsgefährdung und unterstreichen somit den dringenden Handlungsbedarf sowohl beim Klima- als auch beim Bodenschutz.

## Literatur

- [1] TETZLAFF, B., FRIEDRICH, K., VORDERBRÜGGE, T., VERECKEN, H. & WENDLAND, F. (2013): Distributed modelling of mean annual soil erosion and sediment delivery rates to surface waters. – *Catena*, 102 (3): 13–20.
- [2] MÜLLER, A. (2021): Bodenerosion in Hessen unter Einfluss des Klimawandels: Abschätzung der Auswirkungen angepasster Niederschlagserosivität (R-Faktor) und ausgewählter Bodenbedeckung (C-Faktor) auf das Erosionsgeschehen bis zum Jahr 2100. – Unveröffentlichte Masterarbeit, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.
- [3] SCHWERTMANN, U., VOGL, W. & KAINZ, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser. – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen. – 64 S., 8 Abb., 18 Tab.; Stuttgart (Ulmer).



- [4] DIN 19708:2017-08: Bodenbeschaffenheit - Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. Auswirkungen des Klimawandels auf die Bodenerosion durch Wasser. – UBA-Texte, 16/2011; Dessau-Roßlau.
- [5] KLIWA (2022): Klimaveränderung und Wasserwirtschaft. [<https://www.kliwa.de/?msclid=d9ca-235ebb2111eca1169c57323cdb6e>; Stand: 10.05.2022].
- [6] WURBS, D. & STEININGER, M. (2011): Wirkung der Klimaänderungen auf die Böden. Untersuchungen zu
- [7] Deutscher Wetterdienst (2021): Phänologische Jahresstatistik für Hessen. [[https://www.dwd.de/DE/leistungen/phaeno\\_sta/phaenosta.html;jsessionid=928C0A9180592CA56BB-83D9BDDABB3C0.live11041?nn=588524](https://www.dwd.de/DE/leistungen/phaeno_sta/phaenosta.html;jsessionid=928C0A9180592CA56BB-83D9BDDABB3C0.live11041?nn=588524); Stand: 06.07.2021].

## Werden PFAS im Boden durch biologische Prozesse mobilisiert? Ein einjähriger Laborversuch gibt Hinweise

VOLKER ZEISBERGER \*

### Allgemeines

Als PFC oder PFAS wird eine Gruppe fluorierter organischer Stoffe bezeichnet, die in zahlreichen Industrie- und Haushaltprodukten enthalten sind. Neben den bekanntesten Anwendungen als Imprägniermittel (z. B. bei fettdichten Lebensmittelverpackungen, Sonnenschirmen, Markisen, Spezialpapieren, Steinbodenpflegemitteln) und Bestandteil spezieller Löschsäume (AFFF-Säume) gibt es vielfältige weitere Einsatzgebiete: Latex- und Fassadenfarben, Wärmeträgerflüssigkeiten, Skiwachs, Zahnseide usw. [1]. Die Abkürzung PFC steht für per- und polyfluorierte Chemikalien. In der wissenschaftlichen Literatur hat sich die Bezeichnung PFAS (per- and polyfluoroalkyl substances) durchgesetzt. Beide Begriffe können in der Regel synonym angewandt werden. Im Folgenden wird der Begriff PFAS verwendet.

Wie so oft liegen Fluch und Segen dicht beieinander. PFAS haben sehr attraktive Stoffeigenschaften, vor allem eine sehr hohe Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse, so dass PFAS als Produkte sehr langlebig sind bzw. die gewünschten positiven Produkteigenschaften lange anhalten. Diese Persistenz wird durch die sehr stabilen Fluor-Kohlenstoff-Verbindungen bewirkt. Der genannte Vorteil erweist sich dann als Nachteil, wenn PFAS in die Umwelt gelangen: mit Abfällen, im Abwasser, als Spurenstoffe in Gewässern und Böden, im Trinkwasser und in Nahrungsmitteln. Sie sind extrem stabil und reichern sich in Umweltmedien an. Daher sind einige der PFAS mittlerweile verboten (PFOS, PFOA). Es gibt aktuelle Veröffentlichungen, die sich mit den Einsatzgebieten, der Analytik und der Bewertung von PFAS befassen [2, 3].

Für den hier vorgestellten Laborversuch „Abbau/Mobilisierung von PFAS in Böden“ ist von besonderer Relevanz:

- Anstelle der früher verwendeten **per**fluorierten PFAS werden derzeit nahezu ausschließlich **poly**fluorierte PFAS produziert und verwendet. Es gibt mehrere Tausend polyfluorierte PFAS im Handel.
- Aktuell haben sogenannte **Fluorcarbonharze**, die zu den polyfluorierten PFAS zählen, ein breites Anwendungsgebiet (s. u.).
- Zwar ist die Analytik für **per**fluorierte PFAS mittlerweile etabliert, jedoch können viele der **poly**fluorierten PFAS entweder nicht oder nur mit Spezialanalytik (TOP, AOF) nachgewiesen werden.
- Die oben genannten Fluorcarbonharze sind nicht mobil. Sie können mit der Standardanalytik nicht nachgewiesen werden. Unklar ist, ob Fluorcarbonharze mit Spezialverfahren wie dem TOP-Verfahren (s. u.), bestimmbar sind.
- Hinsichtlich der Persistenz der Stoffe gilt: **Per**fluorierte Chemikalien sind nicht abbaubar; **poly**fluorierte Chemikalien sind zwar teilweise abbaubar, jedoch entstehen dabei **per**fluorierte Stoffe als finales Abbauprodukt.
- Vermutlich sind beim o. g. Abbau biologische Abbauprozesse von besonderer Bedeutung. Diese können in Böden und Gewässern durch Mikroorganismen bewirkt werden.
- Die Laborversuche sollen Hinweise geben, ob folgendes Szenario plausibel ist: Derzeit werden **poly**fluorierte Chemikalien wie Fluorcarbonharze eingesetzt und gelangen zumindest teilweise in die Umwelt. Die polyfluorierten Chemikalien sind weder mobil noch analysierbar, so dass diese Stoffe in der Umwelt unerkannt bleiben. Allerdings finden im Laufe der Zeit Abbauprozesse statt, bei denen die **poly**fluorierten in **per**fluorierte Chemikalien umgewandelt werden. Diese sind i. d. R. sowohl mobil als auch analysierbar und können somit in Böden, Gewässern und Nahrungsmitteln nachgewiesen werden.

## Fluorcarbonharze

Fluorcarbonharze sind häufig verwendete **poly**fluorierte Chemikalien. Es sind fluorhaltige Makromoleküle auf der Basis von Polyacrylaten, Polymethacrylaten oder Polyurethanen, die fluorhaltige Seitenketten aufweisen. Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein Fluorcarbonharz auf der Basis von Polyacrylat. Das Polyacrylat-Polymer bildet eine lange Kohlenstoffkette (Hauptkette), in der Abbildung als waagrechte Zickzacklinie dargestellt. Die Polymerkette weist funktionelle Gruppen auf:

- Crosslinker bewirken die Vernetzung der Polymerkette mit dem zu schützenden Material, beispielsweise Papier oder Textil.
- Esterbindungen stellen die Verbindungen zwischen der Hauptkette und den Seitenketten her. Die Seitenketten sind zum Teil fluoriert (rote Linie), zum anderen Teil nicht-fluoriert (hellblaue Linie). Durch Variation der Kettenlängen der Haupt- und Seitenketten können die chemischen Eigenschaften der Fluorcarbonharze beeinflusst werden, ebenso durch das Verhältnis von fluorierten zu nicht-fluorierten Seitenketten.

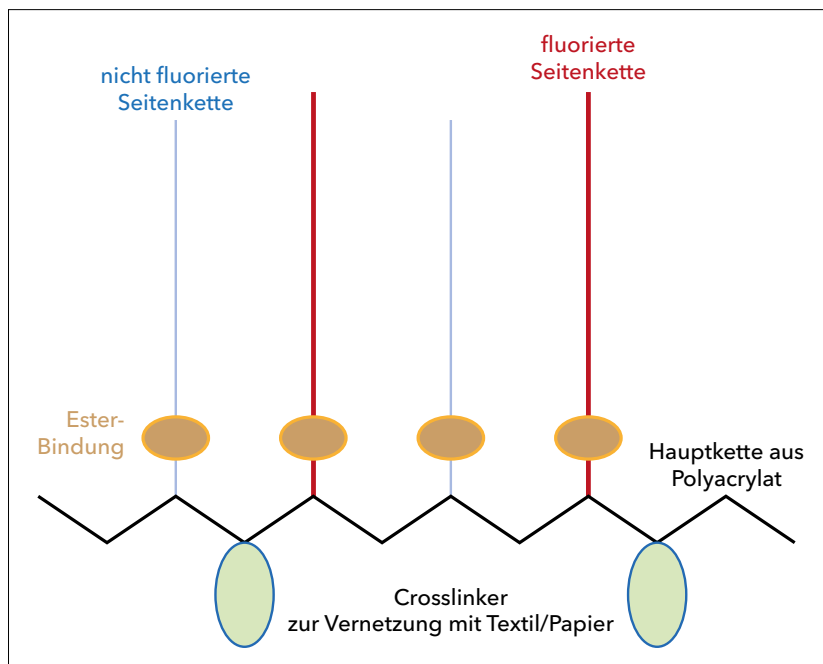


Abb. 1: Chemische Struktur eines Fluorcarbonharzes

Im Laborversuch wurden Fluorcarbonharze untersucht, die laut Herstellerangaben fluorierte Seitenketten von 6 Kohlenstoffatomen Länge aufweisen. Weitere Details zu den verwendeten Chemikalien sind nicht bekannt.

## Analysenverfahren

PFAS mit kurzen und mittleren Kettenlängen (max. 6 fluorierte Kohlenstoffatome) sind vergleichsweise gut wasserlöslich. Da die PFAS-Bestimmungsgrenzen bei Feststoffuntersuchungen wesentlich höher sind als in wässrigen Medien, ist es sinnvoll, PFAS-haltige Bodenproben mit Wasser zu eluieren und die PFAS im Eluat zu messen. Bei den Laborversuchen wurde ein Elutionsverfahren mit dem Wasser-Feststoffverhältnis 2 zu 1 eingesetzt (DIN 19529). Von jeder Eluat-Probe wurde ein Teil direkt (native Probe) und ein Teil nach Vorbehandlung mittels TOP-Verfahren (TOP-Probe) analysiert.

Beim TOP-Verfahren (total oxidizable precursor) wird die Probe zunächst einer starken Oxidation unterworfen, bei der sich die (mittels Standardanalytik nicht-analysierbaren) **poly**fluorierten Verbindungen in (analysierbare) **per**fluorierte Verbindungen umwandeln. Anschließend erfolgt die Analyse analog zur nativen Probe nach DIN 38407-42. Nun werden die Ergebnisse der TOP-Probe und der nativen Probe verglichen. Enthält die TOP-Probe deutlich mehr PFAS als die native Probe, ist dies ein Nachweis, dass die untersuchte Bodenprobe **poly**fluorierte PFAS enthält.

## Konzeption des Laborversuchs „Abbau/Mobilisierung von PFAS in Böden“

Der Versuchsaufbau wurde gemeinsam vom DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) und vom HLNUG entwickelt. Die Laborversuche fanden beim TZW in Karlsruhe statt. Die Fragestellungen lauteten: In welchem Umfang bewirken biologische Abbauprozesse die Freisetzung/Mobilisierung analytisch nachweisbarer PFAS? Sind Fluorcarbonharze als relevante Quelle für PFAS in Böden, Gewässern und Lebensmitteln anzusehen?

Gemische aus sandigem Boden und 5 % Kompost wurden mit PFAS-haltigen Materialien versetzt:

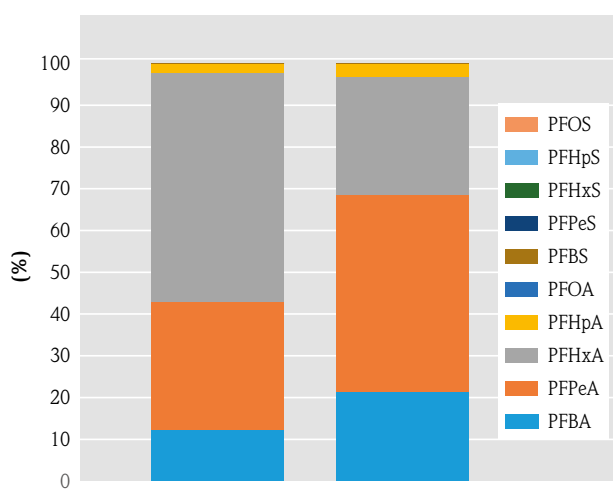
- Imprägniermittel (Fluorcarbonharz mit fluorierten Seitenketten von 6 Kohlenstoffatomen Länge)
- Textil, mit dem o. g. Imprägniermittel behandelt
- Papier, mit einem Imprägniermittel ähnlich dem o. g. Imprägniermittel behandelt.

Die Boden-Kompost-Gemische wurden ein knappes Jahr befeuchtet, um aerobe biologische Abbauprozesse zu fördern. Zu Beginn der Versuche sowie nach 2,5, nach 4,5 und nach 11 Monaten wurden Teilproben entnommen und wie oben beschrieben analysiert.

## Ergebnisse

Die Untersuchungen der drei Materialien (Imprägniermittel, imprägniertes Textil, imprägniertes Papier) zeigten ein ähnliches Freisetzungsverhalten. Beispielhaft werden die Ergebnisse für das Imprägniermittel dargestellt. Da die einzelnen PFAS unterschiedliche Fluoranteile aufweisen, ist es sinnvoll, zusätzlich zu den PFAS-Konzentrationen auch die molaren Fluor-Konzentrationen [ $\mu\text{mol/l}$ ] anzugeben.

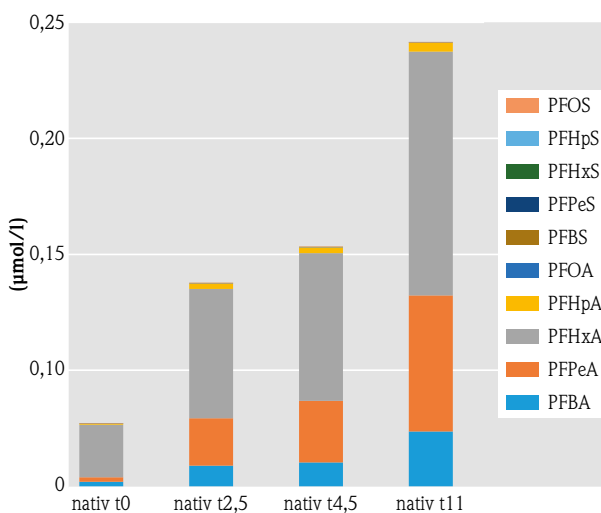
Sowohl bei den nativen Proben als auch bei den TOP-Proben treten drei PFAS in besonders hohen Konzentrationen auf (Abb. 2):



**Abb. 2:** Anteile einzelner PFAS in den Proben „Boden+Kompost+Imprägniermittel“ nach 11 Monaten Versuchsdauer

- PFBA Perfluorbutansäure (perfluorierte 3er-Kette)
- PFPeA Perfluorpentansäure (perfluorierte 4er-Kette)
- PFHxA Perfluorhexansäure (perfluorierte 5er-Kette)

Dies zeigt, dass im „Fluorcarbonharz mit fluorierten 6er-Seitenketten“ keine langkettigen (und vergleichsweise humantoxischen) PFAS enthalten sind, also keine Kettenlängen von 7 und mehr. Es dominieren die perfluorierten Carbonsäuren mit den



**Abb. 3:** PFAS-Konzentrationen im Versuchsverlauf (11 Monate) bei nativen Proben

Kettenlängen 4 bis 6. Dagegen treten perfluorierte Sulfonsäuren nur untergeordnet auf. Dass beim TOP-Verfahren als Folge der Oxidation eine Verkürzung der Ketten auftritt (hier: von der Kettenlänge 6 auf 5 bzw. 4), ist aus der Literatur bekannt. Auch bei biologischen Prozessen scheint eine Verkürzung der Ketten eine Rolle zu spielen.

Bei den nativen Proben ist mit zunehmender Versuchsdauer eine annähernd lineare Zunahme der PFAS-Konzentrationen zu erkennen. Nach 11 Monaten haben sich die Konzentrationen um den Faktor 6 erhöht (Abb. 3).

Bei den TOP-Proben ist dagegen keine relevante Zunahme der PFAS-Konzentrationen zu erkennen (Abb. 4). Die TOP-Konzentrationen sind etwa 4-fach höher als bei den nativen Proben nach 11 Monaten Versuchsdauer.

Es wurde bilanziert, welcher Anteil des im Imprägniermittel enthaltenen Fluors im Versuchsverlauf freigesetzt und mobilisiert wurde. Dabei zeigte sich, dass weniger als 0,5 % des vorhandenen Fluors mit dem TOP-Verfahren nachweisbar ist; bei den nativen Proben lag der Anteil sogar nur bei ca. 0,1 %. Die Ergebnisse für das imprägnierte Papier und Textil waren vergleichbar.

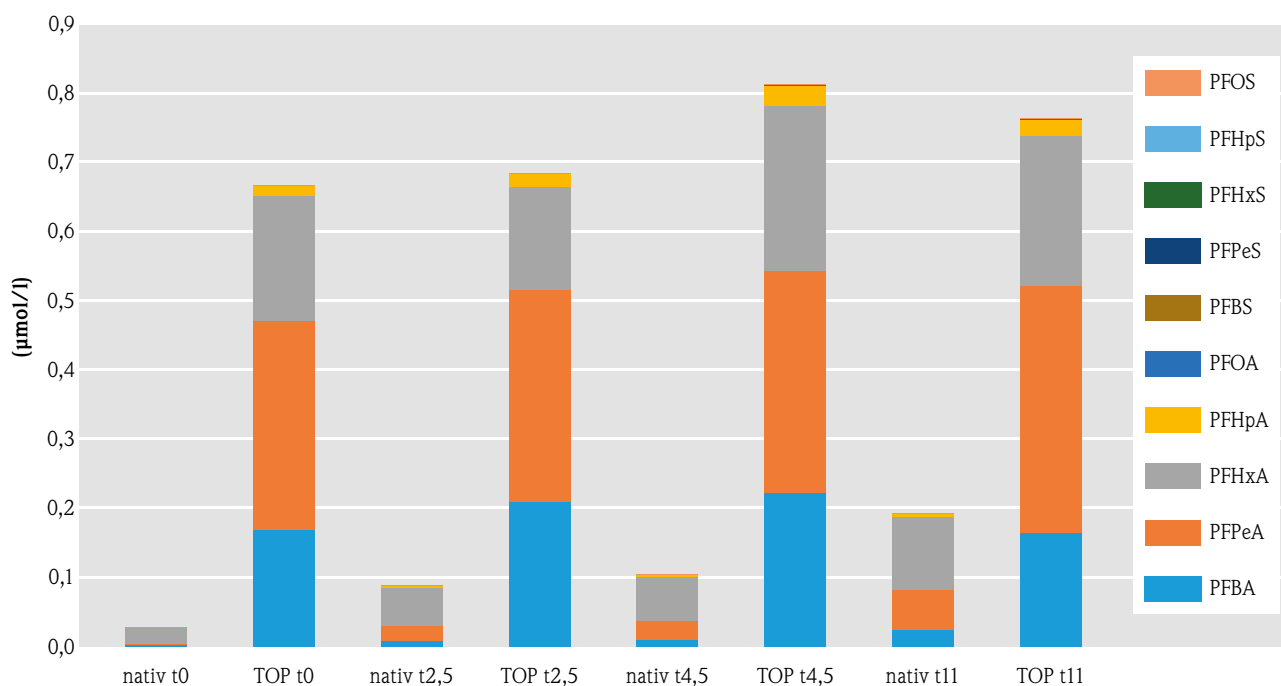
## Interpretation und offene Fragen

Die Laborversuche „Abbau/Mobilisierung von PFAS in Böden“ lassen folgende Interpretationen zu:

- Gelangen Fluorcarbonharze in Böden oder Gewässer, ist von einer Freisetzung perfluorierter PFAS auszugehen.
- Bei den nativen Proben wurden nach einem knappen Jahr 6-fach höhere Konzentrationen gemessen als zu Versuchsbeginn. Der Anstieg der

Konzentrationen im Versuchsverlauf verlief annähernd linear. Bei längerer Versuchsdauer ist von weiter steigenden Konzentrationen auszugehen. Es ist plausibel, dass biologische Abbauprozesse die Hauptursache für den Anstieg sind.

- Bei den TOP-Proben wurden deutlich höhere Konzentrationen als bei den nativen Proben gefunden (ca. Faktor 4, nach 11 Monaten). Da im Versuchsverlauf kein relevanter Anstieg der



**Abb. 4:** PFAS-Konzentrationen im Versuchsverlauf (11 Monate) bei nativen Proben sowie bei TOP-Proben



PFAS-Konzentrationen erkennbar war, scheinen biologische Abbauprozesse nur einen geringen Einfluss auf das TOP-Verfahren zu haben.

- Es ist zu erwarten, dass sich die Konzentrationen bei längerer Versuchsdauer (mehrere Jahre) in den nativen Proben und in den TOP-Proben angleichen. Somit ist mit dem TOP-Verfahren ein „Blick in die Zukunft“ möglich.
- Auch mit dem TOP-Verfahren sind nur ca. 0,5 % der eingesetzten PFAS (Fluorcarbonharze) nachweisbar. Dies deutet darauf hin, dass über 99 % der PFAS (Fluorcarbonharze) noch im Boden vorhanden sind, entweder gebunden am ursprünglichen Material (Textil, Papier) oder am Bodenkorn.

Somit sind zwei Szenarien denkbar:

- Nicht-mobile PFAS (hier: Fluorcarbonharze) sind so stabil, dass eine Freisetzung mobiler PFAS in die Umwelt nur extrem langsam erfolgt. Mobilisiert werden vor allem Produktverunreinigungen; dies sind fluorierte Ketten, die nicht an die Hauptkette gebunden sind. Für den Pfad Boden-Grundwasser besteht aufgrund der sehr langsa-

men Freisetzung nur eine geringe Gefährdung. Über andere Wirkungspfade (z. B. Boden-Nutzpflanze-Mensch) können keine Aussagen getroffen werden

- Nicht-mobile PFAS (hier: Fluorcarbonharze) sind zwar stabil, dennoch werden in der Umwelt in absehbarer Zeit relevante Mengen mobiler PFAS freigesetzt. Auch wenn im Boden bzw. Bodeneluat nur geringe PFAS-Konzentrationen gefunden werden, können nicht-mobile PFAS (hier: Fluorcarbonharze) unerkannt vorliegen und eine bedeutende Quelle für eine langanhaltende PFAS-Freisetzung/Mobilisierung darstellen. Das Freisetzungspotenzial wird also stark unterschätzt.

Ob das optimistische Szenario I. oder das pessimistische Szenario II. zutreffend ist, sollte mit weiteren Versuchen geklärt werden. Bis dahin ist es aus Umwelt- und Vorsorgegründen sinnvoll, vom Szenario II. auszugehen. Die ubiquitäre Verbreitung von PFAS in der Umwelt (Blut, Muttermilch, Wildschweinleber etc.) zeigt, dass bereits jetzt zu hohe Konzentrationen mobiler PFAS vorliegen.

## Dank

Für die Bereitstellung des Imprägniermittels und für Informationen zum Imprägnierungsvorgang möchte ich mich herzlich bei der Chemischen Fabrik Kreuzler & Co. GmbH aus Wiesbaden, insbesondere bei

Herrn Dr. Eigen, bedanken. Die Bereitstellung der imprägnierten Papiere war deutlich schwieriger als zuvor angenommen. Umso mehr habe ich mich über die Unterstützung gefreut.

## Literatur

- [1] Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie: PFC – Tausendundeine Verwendungsmöglichkeiten. [[https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/PFC/Boeden\\_Altlasten\\_Newsletter\\_2021\\_PFC\\_210831\\_web.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/altlasten/PFC/Boeden_Altlasten_Newsletter_2021_PFC_210831_web.pdf)]
- [2] Umweltbundesamt: UBA-Texte 137/2020 Sanierungsmanagement für lokale und flächenhafte PFAS-Kontaminationen. [<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/sanierungsmanagement-fuer-lokale-flaechenhafte-pfas>]
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz: Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewertung von Boden- und Gewässerunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials. [<https://www.bmu.de/download/leitfaden-zur-pfas-bewertung>]

## Neues von der Sickerwasserprognose: Die Einmischprognose

VOLKER ZEISBERGER\*

### Eine kurze Einführung

Die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) von 1999 war die Geburtsstunde der sogenannten Sickerwasserprognose [1]. Treten Schadstoffe in der ungesättigten Bodenzone auf, gilt es abzuschätzen, ob Niederschlags-/Sickerwasser zu einer Schadstoffmobilisierung und damit zu einer Grundwassergefährdung führen kann. Konzentrationsmindernde Prozesse wie der biologische Abbau und Sorptionsprozesse sind zu berücksichtigen. Gemäß BBodSchV ist zu prüfen, ob am sogenannten „Ort der Beurteilung“, also der Grundwasseroberfläche, eine Überschreitung der Prüfwerte nach Anhang 2 Nr. 3.1 BBodSchV auftreten kann.

Zunächst erfolgten Sickerwasserprognosen verbalargumentativ, wie z. B. im hessischen Handbuch Altlasten „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden → Grundwasser“ beschrieben [2]. Quantitative Abschätzungen, welche Schadstoffkonzentrationen an der Grundwasseroberfläche zu

erwarten sind, wurden durch das EXCEL-basierte Prognosetool ALTEX-1D ermöglicht (Abb. 1). ALTEX-1D wurde von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) initiiert und steht kostenfrei zur Verfügung [3].

Unter Federführung Niedersachsens wurde seit 2010 diskutiert, ob die Vorgaben der BBodSchV zu streng sind. Denn theoretisch reichen wenige Liter hochbelastetes Sickerwasser aus, um eine Prüfwertüberschreitung zu bewirken und eine Grundwassergefährdung festzustellen. Ein pragmatischer und schließlich von der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) mitgetragener Weg war es, die Vermischung/Verdünnung von Sicker- und Grundwasser im obersten Meter des Aquifers bei der Beurteilung zuzulassen. Dieser Ansatz wurde als „Rührkesselmodell“ bezeichnet, wohl wissend, dass im Aquifer die Verdünnungsprozesse durch Dispersion und Diffusion erfolgen.

### Rechtliche Grundlagen

Das „Rührkesselmodell“ bzw. die „Einmischung des Sickerwassers in das Grundwasser“ wurde in die novellierte, ab August 2023 gültige Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV n.F.) aufgenommen. In Ergänzung zur Sickerwasserprognose wird die Abschätzung der Verdünnung im Grundwasser als „Einmischprognose“ bezeichnet. Wichtige Textpassagen in der BBodSchV n.F. sind:

- § 12 (3) Wird bei Untersuchungen für den Wirkungspfad Boden-Grundwasser ein Prüfwert nach Anlage 2 Tabelle 1 oder 3 am Ort der Probenahme überschritten, soll durch eine Sickerwasserprognose abgeschätzt werden, ob zu erwarten ist, dass die Konzentration dieses Schadstoffs im Sickerwasser am Ort der Beurteilung den Prüfwert nach Anlage 2, Tabelle 2 oder 3 übersteigen wird. Ergänzend kann die **Ein-**

**mischung des Sickerwassers in das Grundwasser** berücksichtigt werden.

- § 13 (5) Ergibt sich auf Grund einer Abschätzung nach § 12 Absatz 3 der hinreichende Verdacht einer schädlichen Bodenveränderung oder Altlast, sollen durch eine weitergehende Sickerwasserprognose die Schadstoffeinträge in das Grundwasser abgeschätzt werden. Ergänzend kann die zuständige Behörde eine **Einmischungsprognose** verlangen.
- § 14 (5) Bei der Einmischungsprognose gemäß § 12 Absatz 3 und § 13 Absatz 5 **soll** die **Einmischung des Sickerwassers in das Grundwasser** über eine pauschale Einmischtiefe von einem Meter rechnerisch berücksichtigt werden. Die Bezugsfläche dieses anrechenbaren Grundwasservolumens ist diejenige, auf der Prüfwert-

überschreitungen im Sickerwasser festgestellt oder abgeschätzt werden.

Mit „Bezugsfläche des anrechenbaren Grundwasservolumens“ ist die waagrechte Ausdehnung der Fläche gemeint, auf der belastetes Sickerwasser auftritt, z. B. im unversiegelten Bereich der Schadstoffquelle

eines Altlast-Grundstücks. Diese Fläche wird im Folgenden als Kontaminationsfläche bezeichnet.

Mit Inkrafttreten der BBodSchV n.F. im August 2023 sollte die „Einmischprognose“ bei der Beurteilung der Grundwassergefährdung daher Berücksichtigung finden.

## Szenarien

Welche Auswirkungen ergeben sich durch die zusätzliche Berücksichtigung der Einmischprognose? Zunächst ist festzuhalten, dass die Ausdehnung der kontaminierten Fläche von entscheidender Bedeutung ist. Mittels des Prognosetools ALTEX-1D werden vier Szenarien eines Beispielsfalls berechnet, die sich ausschließlich hinsichtlich der Größe und Ausdehnung der kontaminierten Fläche unterscheiden. Die Szenarien sind in Tabelle 1 als Beispiele 1 bis 4 dargestellt:

Die Tabelle 1 zeigt, welche Verdünnungsfaktoren sich bei Variation der Flächenabmessungen bzw. der Einmischtiefe ergeben. Ein Verdünnungsfaktor wird dann mit dem Prüfwert der BBodSchV n.F. multipliziert. Der so erhaltene Wert kann als „Prüfwert unter Berücksichtigung der Einmischprognose“ bezeichnet werden. Dieser gilt anstelle des normalen Prüfwertes bei der Beurteilung der Schadstoffkonzentration des Sickerwassers an der Grundwasseroberfläche.

Die Beispiele 1 bis 4 gelten für die in der BBodSchV n.F. vorgegebene Einmischtiefe von 1 Meter. Es zeigt sich, dass ausschließlich die Länge der kontaminierten Fläche in Grundwasserfließrichtung für den resultierenden Verdünnungsfaktor von Relevanz ist, während die Breite der Fläche keine Auswirkungen hat. Je kürzer die Länge in Grundwasserfließrichtung ist, desto größer ist der Verdünnungsfaktor und desto höhere Schadstoffkonzentrationen können am Ort der Beurteilung (Grundwasseroberfläche) toleriert werden. Die fachlichen Grundlagen können in einer Veröffentlichung des LBEG nachgelesen werden [5].

Der Vollständigkeit halber wird noch folgendes Szenario betrachtet: Würde die in der BBodSchV n.F. vorgegebene Einmischtiefe von 1 Meter durch z. B. 4 Meter ersetzt werden, ergäbe sich ein deutlich höherer Verdünnungsfaktor von 12 anstelle 1,3 (vgl. Beispiele 1 und 5). Eine Vergrößerung der zulässigen Einmischtiefe über 1 Meter hinaus ist in der BBodSchV n.F. allerdings nicht vorgesehen.

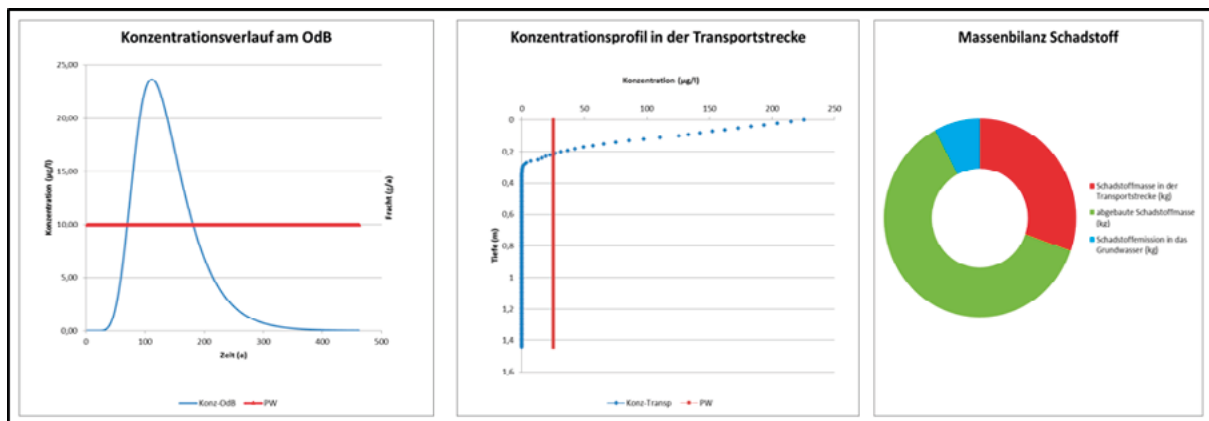
**Tab. 1:** Mittels ALTEX-1D errechnete Verdünnungsfaktoren in Abhängigkeit von den Abmessungen der kontaminierten Fläche und der Einmischtiefe

	Fläche der Kontamination [m <sup>2</sup> ]	Länge der kontaminierten Fläche in Grundwasserfließrichtung [m]	Breite der kontaminierten Fläche [m]	Einmischtiefe [m]	Mit ALTEX-1D errechneter Verdünnungsfaktor
Beispiel 1	10 000	100	100	1	1,3
Beispiel 2	10 000	1 000	10	1	1,0
Beispiel 3	10 000	10	1 000	1	3,7
Beispiel 4	100	10	10	1	3,7
Beispiel 5	10 000	100	100	4	12

# ALTEX-1D

## Analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-EXCEL

Version 3.4.5



Stand: Februar 2020

Abb. 1: Startseite von ALTEX-1D

## Literatur

- [1] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554, zuletzt geändert durch Artikel 126 der Verordnung vom 19. Juni 2020, BGBl. I S. 1328
- [2] HLNUG: Handbuch Altlasten Band 3 Teil 3 „Untersuchung und Beurteilung des Wirkungspfades Boden→Grundwasser - Sickerwasserprognose“, 2. Auflage 2002. [<https://www.hlnug.de/themen/altlasten/arbeitshilfen/band-3-erkundung-von-altflaechen/teil-3>]
- [3] LABO: ALTEX-1D, Analytische Lösung der 1D-Transportgleichung mit MS-EXCEL, Version 3.3.6. [<https://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen-Altlasten.html>]
- [4] Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung ..., Artikel 2 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV), vom 9. Juli 2021, BGBl. I S. 2716
- [5] LBEG: GeoBerichte 22, Ermessensleitende Kriterien bei der Bearbeitung altlastbedingter Grundwassergefahren und -schäden, 2021. [[https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/70338/GeoBerichte\\_22.pdf](https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/70338/GeoBerichte_22.pdf)]



## Zahlen und Fakten 2021 - gekürzte Fassung

MATTHIAS ADAM, MARGOT KRUG, ANDREA SCHÜTZ-LERMANN\*

### 1 Einleitung

Von Altablagerungen und stillgelegten Gewerbe- und Industrieflächen können erhebliche Gefahren für Menschen und die Umwelt ausgehen. Auch laufende Betriebe oder Unfälle mit umweltgefährdenden Stoffen können schädliche Bodenveränderungen oder Grundwasserschadensfälle verursachen, die Menschen und Umwelt gefährden.

In Hessen werden Informationen zu solchen Flächen von den Regierungspräsidien als oberen Bodenschutzbehörden und von den Landkreisen und kreisfreien Städten als unteren Bodenschutzbehörden erfasst und in einem zentralen Informationssystem beim Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), dem „Fachinformationssystem Altflächen und Grundwasserschadensfälle (FIS AG; synonym: Altflächendatei)“, verwaltet.

Insgesamt waren am 01. Juli 2021 im FIS AG 107 158 Einzelflächen bzw. -fälle enthalten (Gesamtanzahl der Flächen in FIS AG). Von Juli 2020 bis Juni 2021 wurden in FIS AG insgesamt 1 435 neue Flächen, davon rund 1 300 durch die Städte und Gemeinden, angelegt.

Die im FIS AG gesammelten Informationen sind eine wichtige Datengrundlage für behördliche Entscheidungen und finden beispielsweise in der Bauleitplanung Berücksichtigung. Auch Bürgerinnen und Bürger können bei den Bodenschutzbehörden Auskünfte zu einzelnen Grundstücken erhalten. Darüber hinaus stehen die Daten dem HLNUG für jährliche statistische Auswertungen zur Verfügung, womit auch die Pflicht zur aktiven Unterrichtung der Öffentlichkeit nach § 10 des Hessischen Umweltinformationsgesetzes (HUIG) erfüllt werden kann.

Das HLNUG veröffentlicht seit 1989 jährlich Zahlen und Fakten zum Themenbereich Altlasten. Stichtag ist jeweils der 01. Juli. Die Altflächendatei wird kontinuierlich weiterentwickelt. Seit 2009 lassen sich die Daten gut vergleichen. Daher konzentriert sich der folgende Beitrag auf den Zeitraum der Jahre 2009–2021. Bei der vorliegenden Auswertung werden im Unterschied zu den Auswertungen in den vergangenen Jahren neben Altablagerungen<sup>1</sup>, Altstandorten<sup>2</sup> und sonstigen schädlichen Bodenveränderungen (ssBV)<sup>3</sup> auch Grundwasserschadensfälle<sup>4</sup> sowie Schadens- oder Untersuchungsgebiete<sup>5</sup> berücksichtigt.

- 1 Altablagerungen sind stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen sowie sonstige Grundstücke, auf denen Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert worden sind. Es handelt sich im Allgemeinen um geschlossene Mülldeponien oder sonstige aufgelassene Müllplätze.
- 2 Altstandorte sind Grundstücke stillgelegter Anlagen und sonstige Grundstücke, auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen worden ist. In die Altflächendatei wird ein Altstandort nur dann aufgenommen, wenn das Gewerbe in der Positivliste des Wirtschaftszweignachtrags in der Altflächendatei enthalten ist. Allein die Eintragung eines Grundstücks als Altstandort begründet noch keinen Altlastenverdacht im Sinne des BBodSchG.
- 3 ssBV sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen. Unter ssBV werden hier Bodenverunreinigungen und daraus hervorgerufene Grundwasserunreinigungen auf gewerblich und industriell genutzten Grundstücken und bei Unfällen mit umweltgefährdenden Stoffen zusammengefasst, die nach BBodSchG untersucht und saniert werden. Dies bedeutet, es handelt sich hier um schadstoffbedingte Verunreinigungen, die durch örtliche Stoffeinträge verursacht worden sind.
- 4 Der Begriff Grundwasserschadensfall wird für Grundwasserunreinigungen nach § 57 des Hessischen Wassergesetzes (HWG) angewendet, die ausschließlich nach Wasserrecht zu beurteilen sind. Prüfkriterien sind die Geringfügigkeitsschwellenwerte nach Anlage 1 der VwV zur Erfassung, Bewertung und Sanierung von Grundwasserunreinigungen (GWS-VwV).
- 5 Ein Schadensgebiet ist eine Fläche oder ein Bereich, auf die oder den mehrere Schäden eine gemeinsame Wirkung haben. Ein Untersuchungsgebiet ist eine Fläche oder ein Bereich, auf der oder dem eine Untersuchung durchgeführt wird, ohne dass die Untersuchung einer einzelnen Schadensfläche (z.B. Altlast) zugeordnet werden kann.

Auch wenn es sich bei Grundwasserschadensfällen nicht um Flächen handelt wird im Folgenden von Flächen gesprochen, da es sich bei der Mehrzahl um solche handelt.

Im Einzelnen sind von den 107 158 erfassten Flächen 1 159 Flächen als Altlasten bzw. sonstige schädliche Bodenveränderungen<sup>6</sup> eingestuft. Bei 3 044 Flächen besteht der Verdacht auf Boden- oder Grundwas-

serverunreinigungen<sup>7</sup>. Auf weiteren 4 954 Flächen konnte ein Verdacht nicht bestätigt werden<sup>8</sup>. Insgesamt wurden in den vergangenen 30 Jahren 2 538 Flächen saniert<sup>9</sup>. Bei 95 463 Flächen wurde bisher keine Kategorisierung vorgenommen. Das heißt, diese wurden in FIS AG als potentiell altlastverdächtige Flächen erfasst, konnten aber noch nicht von den zuständigen Stellen in eine vertiefte Bearbeitung genommen werden.

## 2 Bundesweite Altlastenstatistik: Daten und Fakten aus Hessen

Seit 2005 veröffentlichen die Bundesländer jährlich sogenannte Kennzahlen der Altlastenstatistik in einem gemeinsamen Bericht ([www.labo-deutschland.de](http://www.labo-deutschland.de)). Hierzu melden alle Bundesländer, darunter auch Hessen, jedes Jahr im Juli Daten zu Altablagerungen und Altstandorten, die zusammengefasst als Altflächen bezeichnet werden. Die Daten werden u.a. auf der folgenden Internetseite veröffentlicht: <https://www.umweltbundesamt.de/bild/tab-bundesweite-uebersicht-zur-altlastenstatistik>.

Da in der Vergangenheit die Flächenerfassung und die Ableitung der Daten in den Bundesländern sehr unterschiedlich erfolgte, waren die Angaben der Länder aber kaum vergleichbar. In 2020 verständigten sich die Länder auf einheitlich definierte und berechnete Kennzahlen. Diese Einigung fand ihre Grenze im Bereich der Erfassung von Altflächen, da diese im Bodenschutzrecht der Länder sehr unterschiedlich geregelt ist. Auf Grund der Einigungen ist fortan jedoch eine Vergleichbarkeit in vier von insgesamt fünf Kennzahlenkategorien gegeben (vgl.

[https://www.labo-deutschland.de/documents/Kennzahlen\\_der\\_Altlastenstatistik\\_2020\\_n.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/Kennzahlen_der_Altlastenstatistik_2020_n.pdf).

Die fünf Kennzahlenkategorien der bundesweiten Altlastenstatistik sind in Tab. 1 aufgeführt. Die dritte Spalte enthält die am 1. Juli 2021 von Hessen gemeldeten Zahlen.

Die fett gedruckten Werte wurden nach dem bundeseinheitlichen Standard ermittelt und können direkt mit den Angaben anderer Länder verglichen werden. Nicht vergleichbar ist die Angabe in Spalte 3 Zeile 1 „potentiell altlastverdächtige Flächen“, da die Länder auf Grund ihrer landesrechtlichen Regelungen bei der Ersterfassung teilweise sehr unterschiedlich vorgehen.

In Hessen werden die potentiellen Altflächen (Altstandorte und Altablagerungen) zunächst nur undifferenziert von den Städten und Gemeinden durch regelmäßige Auswertung der Gewerberegister erfasst. Diese werden häufig anlassbezogen, also beispiels-

- 
- 6 Altablagerungen oder Altstandorte, auf denen eine sanierungsbedürftige Boden- oder Grundwasserverunreinigung festgestellt wurde oder bereits saniert wird, werden als Altlasten bezeichnet. Handelt es sich nicht um Altflächen, sondern um Betriebsflächen oder Unfallstandorte, werden diese als sonstige schädliche Bodenveränderungen bezeichnet.
  - 7 Liegen auf einer Fläche Anhaltspunkte für eine Verunreinigung vor, besteht zunächst der Verdacht, dass es sich um eine Altlast oder sonstige schädliche Bodenveränderung handelt. Entsprechend werden diese Flächen als altlastverdächtige Flächen oder Verdachtsflächen eingestuft.
  - 8 Die Untersuchungen haben keine Anhaltspunkte für Boden- oder Grundwasserverunreinigungen ergeben. Der Verdacht auf eine Altlast oder sonstige schädliche Bodenveränderung konnte damit ausgeräumt werden. Die Flächen bleiben dennoch in FIS AG enthalten.
  - 9 Die Maßnahmen zur Dekontamination oder Sicherung der Boden- und Grundwasserverunreinigungen auf der Fläche sind abgeschlossen. Da auch nach einer Sanierung noch Schadstoffe in Boden oder Grundwasser verbleiben können, werden zeitweilig oder dauerhaft Maßnahmen zur Nachsorge notwendig sein. Vor allem bei Sicherungsmaßnahmen ist die langfristige Wirksamkeit der Sicherungselemente zu überwachen. Das Sanierungsverfahren ist abgeschlossen, wenn die Nachsorgephase beendet und die Einstufung als Altlast oder sonstige schädliche Bodenveränderung aufgehoben wurde.

**Tab. 1:** Hessische Kennzahlen für die bundeseinheitliche Altlastenstatistik 2021

	Kategorie der bundesweiten Altlastenstatistik	Anzahl der zum 1. Juli 2021 für die bundesweite Altlastenstatistik für Hessen gemeldete Altflächen (www.labo-deutschland.de)	Anzahl der in FIS AG zusätzlich geführten Flächen <sup>1</sup>	Anzahl der Flächen in FIS AG
1	Potentiell altlastverdächtige Flächen	95 382 <sup>2</sup>	81	95 463
2	Gefahrenverdacht abzuklären	<b>2 220</b>	824	3 044
3	Gefahrenverdacht ausgeräumt	<b>4 716</b>	238	4 954
4	Altlasten	<b>843</b>	316	1 159
5	Sanierung abgeschlossen	<b>1 148</b>	1 390	2 538
	<b>Summe</b>	<b>104 309</b>	<b>2 849</b>	<b>107 158</b>

<sup>1</sup> Diese Kategorie umfasst Grundwasserschadensfälle, sonstige schädliche Bodenveränderung, Schadens- oder Untersuchungsgebiet. Im vorliegendem Text wird, auch wenn es sich bei Grundwasserschadensfällen nicht um Flächen handelt, Fläche als Oberbegriff benutzt.

<sup>2</sup> Erfassung nicht bundesweit vergleichbar

weise im Zusammenhang mit Bauvorhaben oder bei Überlegungen zum Flächenrecycling, näher betrachtet und hinsichtlich einer etwaigen Gefährdung

bewertet. Hessen hat daher im Vergleich zu anderen Bundesländern eine relativ hohe Anzahl potentiell altlastverdächtigter Flächen.

### 3 Entwicklungstrends bei der Altlastenbearbeitung in Hessen

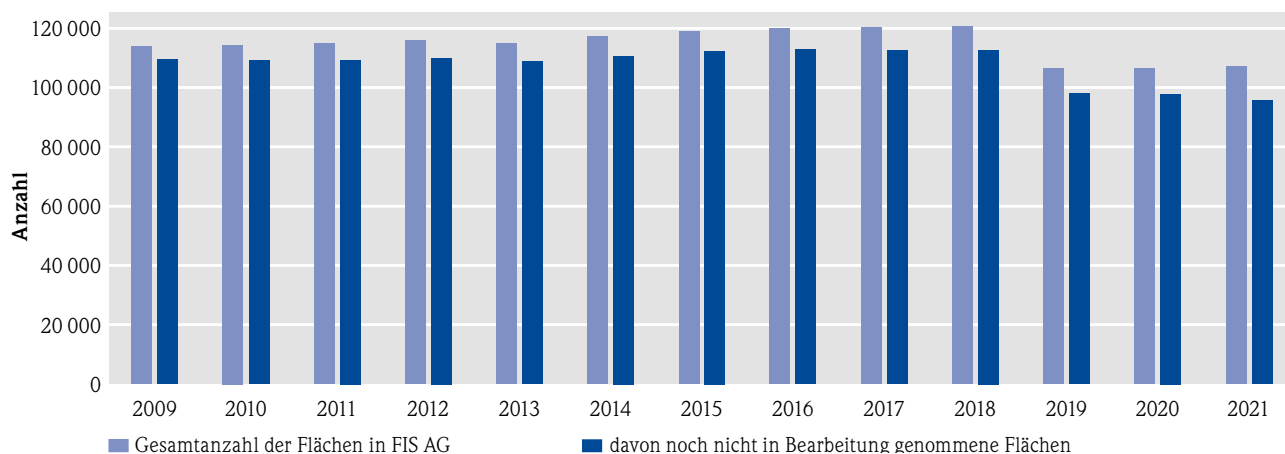
Durch die jährliche Auswertung der Altflächendatei ist es grundsätzlich möglich, eine zeitliche Entwicklung darzustellen. Allerdings muss bei der Interpretation der Daten beachtet werden, dass über die Jahre kleinere Anpassungen im statistischen System

erfolgten. Solche Anpassungen sind fachlich erforderlich und nicht ungewöhnlich. Direkte Jahresvergleiche absoluter Zahlen können daher nur unter Vorbehalt erfolgen. Dennoch ist es oftmals möglich, konkrete Trends abzuleiten.

#### 3.1 Positiver Trend bei der Bearbeitung von potentiellen Altflächen

Ein positiver Trend zeigt sich z. B. in der Abnahme der Anzahl der „noch nicht in Bearbeitung genom-

menen Flächen“ bei nahezu gleichbleibender Gesamtanzahl der Flächen in FIS AG. Dies zeigt, dass



**Abb. 1:** Entwicklung des Gesamtanzahl der Flächen in FIS AG und der noch nicht in Bearbeitung genommene Flächen

der Erfassungsgrad in den Städten und Gemeinden in Hessen gestiegen ist, nicht mehr so viele Neuerfassungen pro Jahr hinzukommen und gleichzeitig die zuständigen Behörden stetig mit der Bearbeitung vorankommen.

Der relativ starke Rückgang bei beiden Zahlenkategorien im Jahr 2019 erklärt sich damit, dass im Jahr 2018 in Frankfurt alle rund 36 000 Altstandorte, die

seit den 1990-iger Jahren in der Altflächendatei erfasst wurden, validiert wurden. Validierung bedeutet, dass die Flächen hinsichtlich ihrer tatsächlichen Nutzung und des Betriebszeitraumes überprüft wurden und die Standorte mit der heute gültigen Adresse und den Koordinaten erfasst wurden. Bei der Validierung konnten in Frankfurt viele Einzelflächen zusammengefasst und doppelt erfasste Flächen aus dem System entfernt werden.

### 3.2 Fortschritte bei der Validierung der ausgewerteten Gewerberegisterdaten

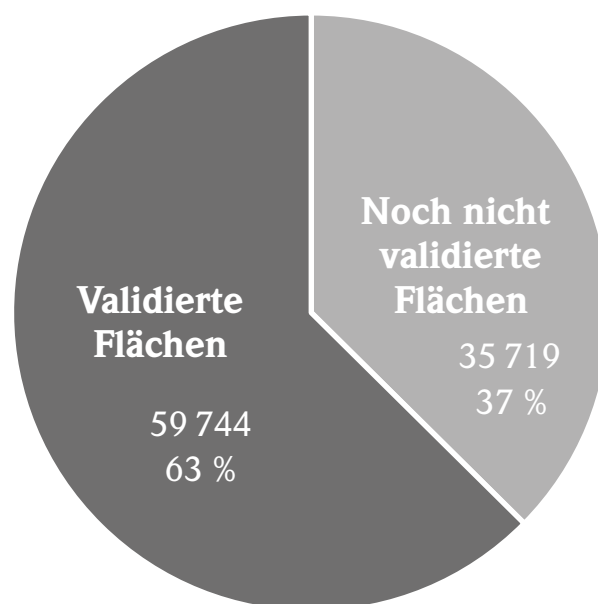
Für eine möglichst vollständige Erfassung aller Altflächen erfolgt in Hessen zunächst die Identifikation potentieller Flächen auf Grund der Gewerberegisterauswertung. Hierzu werden vorzugsweise die kommunalen Gewerberegister auf altlastenrelevante Branchen ausgewertet. Hierbei ermittelte Flächen müssen dann im nächsten Schritt validiert werden. Hier wurden in den letzten Jahren Fortschritte erzielt.

In Abb. 2 wird die Anzahl der Flächen, die erfasst aber noch nicht in die systematische Altlastenbearbeitung genommen wurden in Hinblick auf eine bereits erfolgte Validierung, dargestellt. Zum Abfragezeitpunkt waren 59 744 Flächen validiert. Dies entspricht 63 % der Flächen. Dagegen waren 35 719 Flächen bzw. 37 % der Flächen nicht validiert, also nur auf Grund der regelmäßigen Auswertung der Gewerberegisterdaten gelistet.

Gegenüber 2020 ist damit der Anteil der validierten Flächen erneut gestiegen.

In 2018 betrug der Anteil der validierten Flächen nur ca. 34 %. Trotz des Zuwachses auf 63 %

in 2021 sind noch immer 89 % aller Flächen aus der Altflächendatei (vgl. Abb. 1) nicht im Hinblick auf eine tatsächliche Gefährdung bewertet.



**Abb. 2:** Stand der Flächenvalidierung bei den noch nicht in Bearbeitung genommenen Flächen (vgl. Abb. 1)

**Tab. 2:** Anteil der bereits validierten Flächen an den potentiell altlastverdächtigen Flächen in FIS AG

	2018	2020	2021
Anzahl der sich noch nicht in Bearbeitung befindlichen Flächen (Potentiell altlastverdächtige Flächen in FIS AG)	112 621	97 829	95 463
Davon validiert	38 290	58 697	59 744
Anteil der validierten Flächen	34%	60%	63%



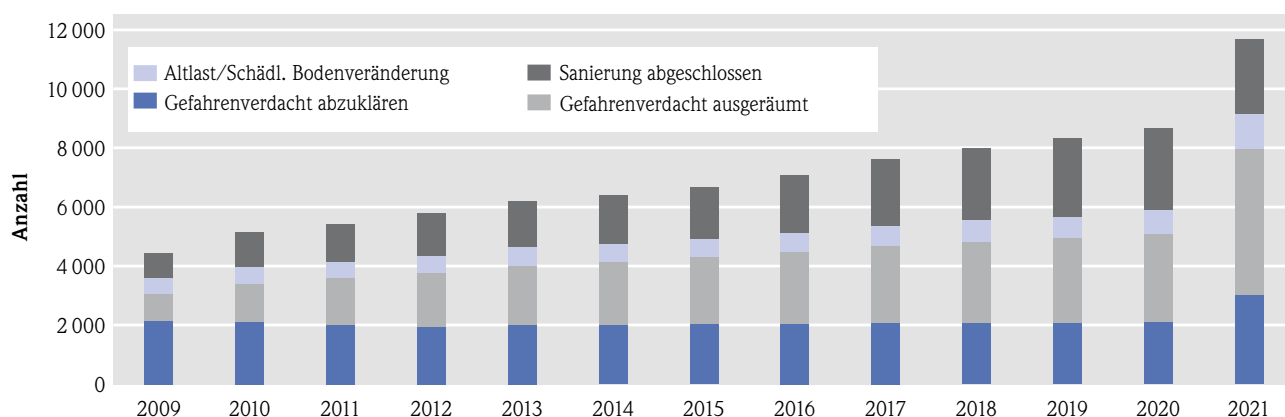


Abb. 3: Entwicklung der Flächenzahlen bei der systematischen Altlastenbearbeitung

### 3.3 Fortschritte bei der systematischen Altlastenbearbeitung

Deutlicher werden die Fortschritte bei der systematischen Altlastenbearbeitung durch die Betrachtung der Entwicklung der Kategorien 2 bis 5 der Abb. 1 im zeitlichen Verlauf. Die Abb. 3 zeigt, dass von Jahr

zu Jahr mehr Flächen nach der Ersterfassung validiert und in die systematische Bearbeitung genommen werden konnten.

### 3.4 Fortschritte bei den abgeschlossenen Verfahren im Zeitraum 2009-2021

Die Zunahme von abgeschlossenen Verfahren in FIS AG zeigt, dass die zuständigen Behörden die potentiellen Altlastverdachtsfälle kontinuierlich abarbeiten.

aufzubewahren sind, dadurch nimmt die Anzahl der Flächen in den Zeilen „Gefahrenverdacht ausgeräumt“ und „Sanierung abgeschlossen“ von Jahr zu Jahr zu.

So konnte bei insgesamt 4954 Fällen der Gefahrenverdacht ausgeräumt werden (s. Tab. 3). Konnte im Jahr 2009 erst bei 837 Flächen die Sanierung als abgeschlossen angesehen werden, sind es zum 1. Juli 2021 bereits 2538 Flächen. Dabei ist zu bedenken, dass im Hessischen Altlasten- und Bodenschutzgesetz (HAltBodSchG) festgelegt ist, dass die in der Altflächendatei eingegebenen Daten zeitlich unbefristet

Die aufgrund der obigen Erläuterung ungewöhnliche Verringerung der Fallzahl „Sanierung abgeschlossen“ von 2020 auf 2021 geht darauf zurück, dass Flächen, die sich in der Nachsorge<sup>10</sup> befinden (104 Flächen) ab 2021 als „Altlast“ und nicht wie in den Jahren zuvor als „Sanierung abgeschlossen“ gezählt werden.

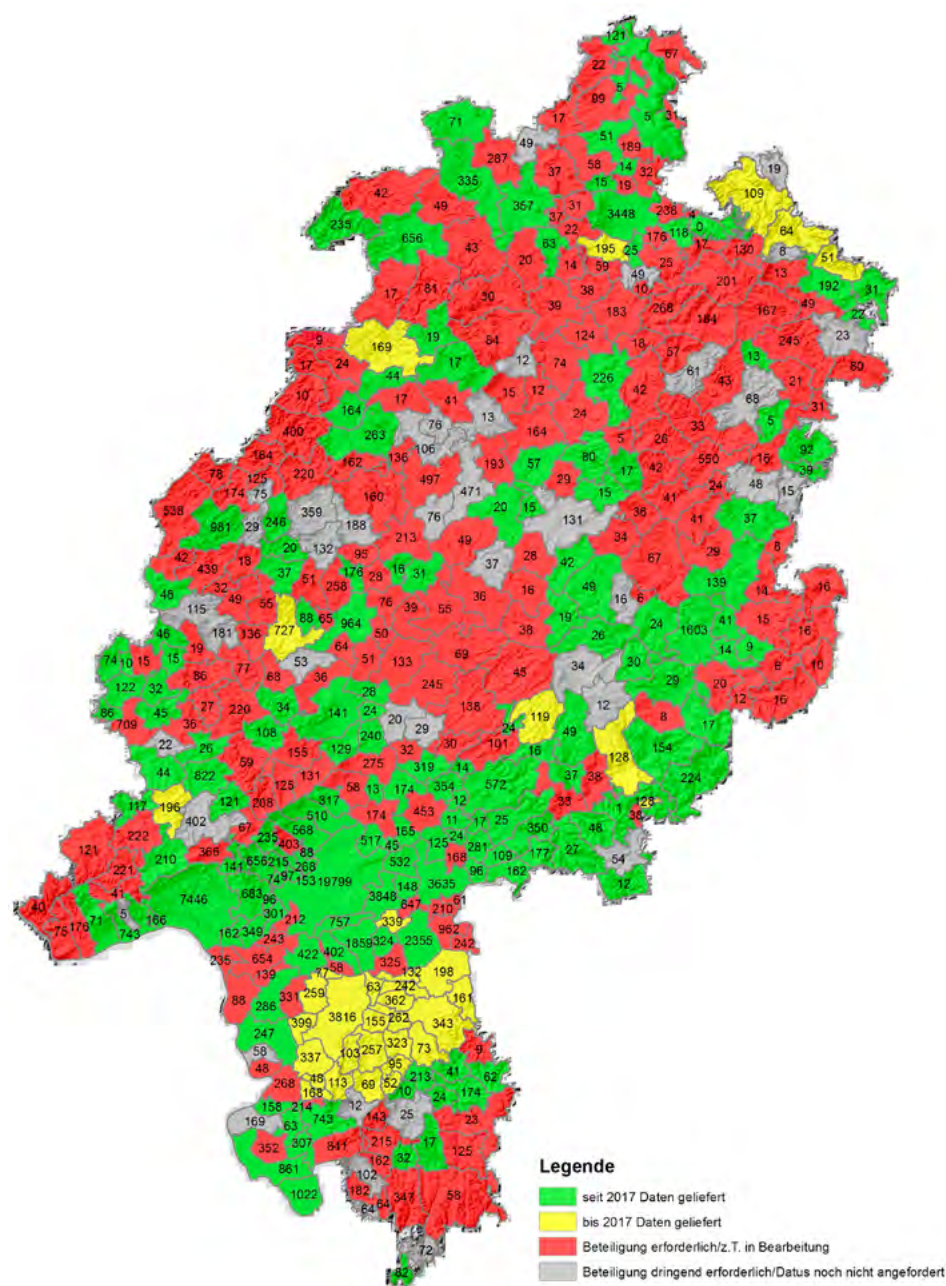
Tab. 3: Abgeschlossene Verfahren in FIS AG

Stand FIS AG jeweils zum 01.07.	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Anzahl der Flächen bei denen der Gefahrenverdacht ausgeräumt wurde	944	1290	1584	1794	1993	2124	2239	2431	2596	2747	2856	2973	4954
Anzahl der Flächen bei der eine Sanierung abgeschlossen wurde	837	1174	1259	1427	1521	1652	1752	1938	2262	2409	2656	2754	2538

10 Wenn nach abgeschlossener Sanierung (Dekontamination) die Schadstoffe vermindert, aber nicht vollständig entfernt wurden, sind ggf. Überwachungsmaßnahmen erforderlich; diese können befristet oder dauerhaft notwendig sein. Bei Sanierung durch Sicherung ist dauerhaft die Wirksamkeit der Sicherungselemente, z. B. der Deponieabdichtung, zu überwachen.

**Tab. 4:** Beteiligung an der Erfassung mittels DATUS (Stand 1.7.2021)

Beteiligung an der Erfassung und Fortschreibung mittels des Datenübertragungssystems DATUS	Anteil an der Gemeindezahl (n=422)	Anteil an der Gesamtfläche Hessens (21 115 km <sup>2</sup> )
Beteiligung dringend erforderlich (noch nie Daten geliefert/DATUS noch nicht angefordert)	10 %	≈ 2 000 km <sup>2</sup> , ca. 10 %
Beteiligung erforderlich / z. T. in Bearbeitung	45 %	≈ 10 000 km <sup>2</sup> , ca. 47 %
Bis 2017 Daten geliefert	8 %	≈ 1 500 km <sup>2</sup> , ca. 7 %
Seit 2017 Daten geliefert bzw. aktuell keine Lieferung erforderlich	37 %	≈ 7 600 km <sup>2</sup> , ca. 36 %

**Abb. 4.** Beteiligung der Gemeinde an der Erfassung (Farbdarstellung) sowie Anzahl der in FIS AG erfassten Flächen pro Gemeinde (Ziffern)

## 4 Stand der hessenweiten Erfassung in FIS AG

Bei der hessenweiten Erfassung von altlastenrelevanten Flächen in FIS AG ist die Mitarbeit der Kommunen erforderlich, die ihre Daten über DATUS<sup>11</sup> bereitstellen sollen. So legt § 8 Absatz 4 HAltBodSchG fest, dass Gemeinden und öffentlich-rechtliche Entsorgungspflichtige verpflichtet sind, dem HLNUG ihre vorliegenden Erkenntnisse über Altflächen unverzüglich mitzuteilen. Diese sind seit 1985<sup>12</sup> verpflichtet, die verfügbaren Daten zu erheben und bereits erhobene Daten fortzuschreiben.

Eine Übersicht über den Stand der Datenerfassung und -bereitstellung kann Abb. 4 entnommen werden. Die Anzahl der in FIS AG vorhandenen Flächen zeigt, dass auch für Kommunen, die bisher noch keine Daten geliefert haben, Datensätze vorliegen. Diese stammen z. T. aus flächendeckenden Erfassungen,

die zwischen 1990 und 1993 von vielen hessischen Städten und Gemeinden durchgeführt wurden.

Die Anzahl der über DATUS gesendeten Daten sowie die Beteiligung der Kommunen an der Bereitstellung nimmt stetig zu. Bis zum 1. Juli 2021 hatten sich aber immer noch 10 % der 422 hessischen Gemeinden überhaupt nicht an einem Datenaustausch mit der Altflächendatei beteiligt. Inzwischen (Stand 15.3.2022) betrifft dies noch 8 % der hessischen Kommunen. Insbesondere haben die einwohnerstarken Ballungszentren und größeren Städte Daten geliefert, sodass anzunehmen ist, dass ein Großteil der Flächen bereits erfasst ist. Ziel muss aber natürlich sein, dass alle Kommunen ihre Gewereregister systematisch auswerten, regelmäßig die potentiell altlastverdächtigen Flächen melden und die von ihnen gemeldeten Daten bei neuen Erkenntnissen auch aktualisieren.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Wie in vorherigen Berichtszeiträumen ist auch in diesem die Gesamtsumme der Flächen in der Altflächendatei leicht gestiegen. Grund dafür ist, dass die Erfassung durch die Städte und Gemeinden eine Daueraufgabe ist. Regelmäßig werden Betriebe aus relevanten Wirtschaftszweigen abgemeldet und fallen somit in die Erfassungsroutinen der Altflächendatei.

Noch sind aber nicht alle Städte und Gemeinden ihrer Verpflichtung nach § 8 Absatz 4 HAltBodSchG zur regelmäßigen Erfassung ausreichend nachgekommen. Diese sind dringend aufgerufen, durch Auswertung ihrer Gewereregister potentielle 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. Dies zeigt, dass die „stufenweise Altlastenbearbeitung“ (vgl. Abb. 3) im personell und finanziell möglichen Rahmen bei den zuständigen Behörden kontinuierlich angewandt wird.

Schlussendlich zeigen die in den „Zahlen und Fakten“ zusammengestellten Informationen, dass in den letzten 30 Jahren u. a. bei der systematischen Altlastensanierung in Hessen bereits einiges erreicht wurde. Allerdings weisen sie auch darauf hin, dass weiterhin Handlungsbedarf besteht. Solange durch neue Erkenntnisse, Unfälle oder unsachgemäßen Umgang mit gefährlichen Stoffen weitere Altflächen hinzukommen, bleiben ihre Erfassung, ihre Bewertung und ggf. ihre Sicherung und Sanierung wichtige Daueraufgaben der Umweltpolitik in Hessen.

11 Datenübertragungssystem

12 Erlass vom Umweltminister vom 25.6.1985 an die Kreise und kreisfreien Städte; 31.10.1985 Neufassung des hess. Abfallbeseitigungsgesetzes; 17.12.1985 Entwurf der VO zur Errichtung eines Altablagerungskatasters

## Neuerscheinungen

### Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Geologie von Hessen



Mit der Monographie „Geologie von Hessen“ gibt das HLNUG nach einer mehr als zehnjährigen Bearbeitungszeit ein umfassendes Standardwerk zur geologischen Entwicklungsgeschichte des Landes heraus. 40 Fachleute, überwiegend aus dem Landesamt, haben zusammen an

dem Buch gearbeitet und ausführliche Informationen zum geologischen Aufbau des hessischen Untergrundes zusammengestellt. Auf über 700 Seiten, die mit 300 Abbildungen und Karten reich illustriert sind, werden von den kristallinen Gesteinen im Odenwald über die von Vulkaniten dominierten Regionen, wie z. B. dem Vogelsberg und die Schieferformationen im Taunus bis hin zu den Sand- und Kalksteinen in Ost- und Nordhessen sowie den Verbreitungsgebieten tertiär- und quartärzeitlicher Sedimentgesteine die geologischen Verhältnisse in Hessen detailliert beschrieben. Zahlreiche Textboxen geben vertiefte Einblicke in ausgewählte Themen einzelner Kapitel.

Neben dieser ausführlichen Darstellung des hessischen Gesteinsuntergrundes enthält die Kompilation auch weitere Kapitel zu Böden, Archäologie, Rohstoffen, Geothermie, Hydrogeologie, Geophysik, Ingenieurgeologie und Altlasten. Auch zu hessischen Geotopen und ihrem Schutz wird im abschließenden Kapitel eine kurze Einführung gegeben.

Das Werk richtet sich vor allem an Fachleute aus Wissenschaft und Verwaltung sowie Ingenieur- und Planungsbüros. Aber auch naturkundlich und erdgeschichtlich Interessierten wird mit dem Fachbuch ein umfassendes Nachschlagewerk an die Hand gegeben. Insbesondere das umfangreiche Orts- und Sachregister erleichtert eine gezielte Suche. Auch die Zusammenstellung der aktuellen, weiterführenden Quellen im Literaturverzeichnis kann bei der vertieften Bearbeitung spezieller Themen hilfreich sein.

Das Buch „Geologie von Hessen“ ist beim Schweizerbart Verlag erschienen und über den Buchhandel zum Preis von 79,90 Euro erhältlich:

[https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510654420/Geologie\\_von\\_Hessen?af=featured](https://www.schweizerbart.de/publications/detail/isbn/9783510654420/Geologie_von_Hessen?af=featured)

### Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Die Weinbergsböden von Hessen – 2. überarbeitete Auflage

In Hessen wird auf mehr als 3 500 ha Fläche Wein angebaut – die Rebflächen der Weinanbaugebiete Rheingau und Hessische Bergstraße bilden einzigartige Kulturlandschaften. Eine wichtige Grundlage des Weinanbaus sind die Böden, denn sie bieten den Reben Nährstoffe und Wasser und ihren Wurzeln Halt zur Verankerung. Dabei ist in den hessischen Anbauregionen eine große Vielfalt an Böden anzutreffen. In Verbindung mit der Geologie, dem Klima

und der Topographie bestimmen die Böden die natürlichen Faktoren des sogenannten Wein-Terroirs, die neben der Arbeit der Winzerin und des Winzers Einfluss auf die Qualität und den Geschmack der angebauten Weine nehmen.

In seiner Reihe „Böden und Bodenschutz in Hessen“ hat das HLNUG eine zweite, überarbeitete Auflage der Broschüre zu den Weinbergsböden von Hessen



veröffentlicht. Dabei wurde eine Vielzahl von Aspekten aktualisiert. So liegt beispielsweise der hessische Weinbaustandort-Viewer mittlerweile in einer zweiten Auflage mit aktuellen Daten und erweiterter Funktionalität vor. Auch wurde ein Kapitel zum stofflichen Bodenzustand von Weinbergsböden ergänzt.

Das HLNUG möchte mit dieser Broschüre auf die Bedeutung des Bodens für den Weinbau aufmerksam machen und Winzerinnen, Winzer und Weinbegeisterte in Hessen anregen, sich die „Bodenwelt“ ihrer Weine zu erschließen.

Das Heft kann über die Vertriebsstelle oder über den Produktshop des HLNUG als Druckexemplar bestellt werden:

[vertrieb@hlnug.hessen.de](mailto:vertrieb@hlnug.hessen.de)  
<https://www.hlnug.de/publikationen>

Weiterhin steht es unter folgendem Link als kostenloser Download zur Verfügung:

[https://www.hlnug.de/fileadmin/shop/publikationen/boden/boeden\\_bodenschutz/Weinberg-boeden.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/shop/publikationen/boden/boeden_bodenschutz/Weinberg-boeden.pdf)



## Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG): Geologie, Boden, Georessourcen und Geogefahren - Rhein-Main-Gebiet (Band 1)

Der geologische und bodenkundliche Aufbau des Untergrunds in Hessen ist sehr komplex und beinhaltet viele Möglichkeiten für den menschlichen Nutzen – zum Beispiel für Erdwärme aus der Tiefe zum Heizen oder zum Hausbau. Speziell im dicht besiedelten Rhein-Main-Gebiet wächst dabei aber der Nutzungskonflikt zwischen neuen Baugrundflächen, Bodenversiegelung und Bodenschutz, der auch das HLNUG vor Herausforderungen stellt. Um wirtschaftlich und zugleich nachhaltig zu planen, braucht es zum einen Wissen zum geologischen Untergrund und möglichen Georisiken bei neuen Bauvorhaben. Zum anderen benötigt es Kenntnisse zum umweltfreundlichen Umgang mit Ressourcen.



Im ersten Band der Schriftenreihe „Geologie, Boden, Georessourcen und Geogefahren“ liefert das HLNUG daher Städten und Kommunen, Verwaltungen, Ingenieur- und Planungsbüros sowie allen naturkundlich Interessierten Informationen zu den regionalen Besonderheiten. Dem Themenfeld Böden und Altlasten ist in dieser Broschüre ein eigenes Kapitel gewidmet.

Die Schriftreihe „Geologie, Boden, Georessourcen und Geogefahren“ kann kostenlos über die Vertriebsstelle oder über den Produktshop des HLNUG als Druckexemplar bestellt werden:

[vertrieb@hlnug.hessen.de](mailto:vertrieb@hlnug.hessen.de)  
<https://www.hlnug.de/publikationen>

Weiterhin steht der o.g. Band unter folgendem Link als kostenloser Download zur Verfügung:

[https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/Geologie\\_\\_Boden\\_\\_Georessourcen\\_\\_und\\_Geogefahren\\_-\\_Band\\_1\\_-\\_Rhein-Main-Gebiet.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/geologie/Geologie__Boden__Georessourcen__und_Geogefahren_-_Band_1_-_Rhein-Main-Gebiet.pdf)

## Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV): Kommunale Bodenschutzkonzepte - Stadt gestalten, Boden erhalten

Kommunale Bodenschutzkonzepte unterstützen Städte und Gemeinden dabei, den Schutz des Bodens bei Planungen und Entscheidungen stärker zu berücksichtigen. Sie helfen, die vielfältigen Prozesse in der Verwaltung zu identifizieren, die das Schutzgut Boden betreffen, und sorgen dafür, dass Entscheidungen auf einer verbesserten Datengrundlage getroffen werden können. Davon profitieren nicht nur die Böden, sondern es werden auch positive Effekte für Klima- und Gewässerschutz erzielt.

Die neue Broschüre des HMUKLV bietet eine kompakte Einführung in die Thematik. Es wird ein Überblick über die fachlichen Hintergründe und das Vorgehen zur Erstellung eines Bodenschutzkonzeptes gegeben. Außerdem werden die wesentlichen Inhalte des Bodenschutzkonzeptes der Stadt Wetzlar,

welches das HMUKLV als Pilotprojekt förderte, zusammenfassend dargestellt.

Die Broschüre steht unter folgendem Link als kostenloser Download zur Verfügung:

[https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-09/kommunale\\_bodenschutzkonzepte.pdf](https://umwelt.hessen.de/sites/umwelt.hessen.de/files/2021-09/kommunale_bodenschutzkonzepte.pdf)



## Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) und Fachbeirat Bodenuntersuchungen (FBU): Methodensammlung Feststoffuntersuchung Version 2.0

Mit Beschluss der 87. Umweltministerkonferenz (UMK) wurden LABO und LAGA gebeten, die Harmonisierung der Untersuchungsmethoden für den Feststoffbereich (Abfall, Boden, Altlasten) anzustreben. Durch eine gemeinsame ad-hoc-AG des LAGA Forums Abfalluntersuchung (Forum-AU) und des Fachbeirats Bodenuntersuchung (FBU) wurde unter Federführung der LAGA eine Methodensammlung Feststoffuntersuchung erarbeitet. Diese stellt eine Zusammenführung der Inhalte der LAGA Methodensammlung Abfalluntersuchung V3.0 (14.10.2016) und der Methodensammlung Boden-/Altlastenuntersuchung V1.1 (28.02.2018) des FBU dar und wird regelmäßig aktualisiert und ergänzt.



Die Methodensammlung Feststoffuntersuchung ordnet die einzelnen Verfahren den jeweiligen Rechtsbereichen zu und empfiehlt leistungsstarke und robuste Verfahren (Referenzverfahren), die im Sinne der Methodenharmonisierung bevorzugt angewendet werden sollen. Damit stellt sie eine Hilfe für die Behörden, Untersuchungsstellen und Gutachter bei der Auswahl der geeigneten Methoden zur Probenahme, -vorbehandlung, -vorbereitung, -aufarbeitung und Analytik dar.

Mit Stand 15.06.2021 wurde die Methodensammlung Feststoffuntersuchung als Version 2.0 veröffentlicht. Neben einer Verfahrensaktualisierung wurde eine redaktionelle und inhaltliche Überarbeitung vorgenommen.

Die aktuelle Version ist auf den Internetseiten von LABO, LAGA und UBA (FBU) verfügbar, z. B.:

[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20210615\\_methodensammlungfeststoffuntersuchung\\_v2\\_final.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/359/dokumente/20210615_methodensammlungfeststoffuntersuchung_v2_final.pdf)

## Bundesumweltministerium (BMUV): Leitfaden zur PFAS-Bewertung



Die Abkürzung „PFC“ ist in der Fachliteratur zunehmend durch „PFAS“ (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen) verdrängt worden. Dieser Entwicklung hat sich das UBA und das Bundesumweltministerium mittlerweile angeschlossen. Eine bundesweit abgestimmte Arbeitshilfe, die unter Fe-

derführung des Bundesumweltministeriums erstellt wurde, lautet daher: „Leitfaden zur PFAS-Bewertung – Empfehlungen für die bundeseinheitliche Bewer-

tung von Boden- und Gewässerverunreinigungen sowie für die Entsorgung PFAS-haltigen Bodenmaterials“.

Wie sind PFAS-Analysenergebnisse zu bewerten, welche Maßstäbe und Werte gelten?

Im Leitfaden werden die wesentlichen Umweltmedien und Regelungsbereiche behandelt: Grundwasser, Oberflächengewässer, Abwasser, Abfälle, Klärschlämme und Böden sowie die Wirkungspfade Boden-Mensch, Boden-Grundwasser und Boden-Nutzpflanze. Einwände der LAGA zum Kapitel „Umgang mit PFAS-haltigem Bodenmaterial“ konnten mittlerweile ausgeräumt werden.

[https://www.labo-deutschland.de/documents/pfas\\_leitfaden\\_bf.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/pfas_leitfaden_bf.pdf)

## Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bund/Länder-arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO): Fachbericht der PFAS-Koordinierungsgruppe "Fragestellungen zur konsistenten Ableitung von Bewertungskriterien für die Medien Grund- und Oberflächenwasser sowie Boden vor dem Hintergrund neuer EFSA-Empfehlungen"; Arbeitsauftrag aus der Umweltministerkonferenz (38/93)

Im Jahr 2020 hat die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit eine Neubewertung wichtiger per- und polyfluorierter Alkylsubstanzen (PFAS) veröffentlicht. Sie verschärft in dem Bericht deutlich die tolerierbare wöchentliche Aufnahme (TWI) und empfiehlt einen Summenparameter aus vier Einzelstoffen. Die Empfehlungen der EFSA sowie eine Prüfbite der UMK waren für eine LABO-/LAWA-Arbeitsgruppe Anlass Defizite und Forderungen bezüglich der PFAS-Belastungen in Deutschland zusammenzustellen. Ein Defizit, das auch den o. g. Leitfaden des BMUV betrifft, besteht beim Thema Analytik. Bereits heute werden andere PFAS verwendet als noch vor einigen Jahren und für diese „neuen“ PFAS gibt es weder genormte Analyseverfahren noch Bewertungsmaßstäbe. Ein weiterer zu

klärender Aspekt ist die Diskrepanz zwischen regelkonformen hohen Emissionen (beispielsweise im Abwasserbereich) und sich mehr und mehr verschärfenden Immissionswerten.

[https://www.labo-deutschland.de/documents/LAWA-LABO-Fachbericht UMK-Fassung\\_211125\\_2.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LAWA-LABO-Fachbericht UMK-Fassung_211125_2.pdf)





## Interessantes und Wissenswertes

### Archivböden - Ein neues Auswertungsthema bei den Bodenflächendaten 1:50 000 (BFD50)

Böden entstehen an der Erdoberfläche unter dem Einfluss unterschiedlicher Faktoren wie Gestein, Relief, Klima und Wasser, Pflanzen- und Tierwelt, Mensch und Zeit. In ihren Eigenschaften, ihrem Horizont- und Schichtaufbau dokumentieren Böden die Umwelt- und Standortbedingungen, die zu ihrer Entwicklung beitragen. Sie sind damit Archive der Natur- und Kulturgeschichte und in dieser Funktion nach Bundes-Bodenschutzgesetz zu schützen. Eine Auswertung der Bodenflächendaten im Maßstab 1:50 000 weist nun Suchräume für Archivböden mit

besonderer naturgeschichtlicher Bedeutung aus. Für räumliche Planungen liefert die Kulisse Hinweise, wo diese Archivböden vorkommen, und ist ein weiterer Eckpfeiler des vorsorgenden Bodenschutzes in Hessen.

Weitere Information zu den Archivböden mit naturgeschichtlicher Bedeutung finden Sie unter den **thematischen Auswertungen** (<https://www.hlnug.de/?id=8114>) zu den Bodenflächendaten 1:50 000 (BFD50).



**Abb. 1:** Paläoboden (Miozäner Plinthosol) aus dem Hintertaunus. © HLNUG



## Untersuchungen zum Einfluss salzhaltiger Wässer auf die Auenlandschaften der Werra in Kooperation mit der Philipps-Universität Marburg

Prozessabwässer sowie die Abwässer der großen Rückstandshalden des Kalibergbaus werden seit Jahrzehnten auch in die Werra eingeleitet. Welche Auswirkungen haben diese salzhaltigen Wässer auf die Böden und Vegetation der Werra-Aue? Dieser Fragestellung widmet sich ein Dissertationsvorhaben am Fachbereich Geographie der Philipps-Universität Marburg, welches mit Unterstützung des HLNUG durchgeführt wird. Untersucht werden sollen die Wechselwirkungen zwischen Wasser, Boden und Vegetation sowie die Dynamik der Salze im Boden. Insbesondere stellt sich die Frage, ob sich salzbeeinflusste Auenböden unter humiden Klimabedingun-

gen ähnlich verhalten, wie es in ariden Klimaten erforscht wurde. Weiterhin soll untersucht werden, inwieweit eine möglicherweise erhöhte Natrium- oder auch Magnesiumsättigung Schäden am Bodengefüge hervorrufen kann.

Im Rahmen der Untersuchungen werden umfangreiche Boden-, Vegetations- und Wasseruntersuchungen durchgeführt. Bodenproben werden dabei an mehreren Standorten anhand von Bodenprofilenaufnahmen und Bohrstock-Transekten gewonnen. Erste gemeinsame Geländearbeiten und Beprobungen erfolgten im Sommer 2021.



**Abb. 2:** Anlage eines Bodenprofils in der Werra-Aue, im Hintergrund eine Rückstandshalde des Kalibergbaus. © HLNUG

## Untersuchungen zu Quartären Ammoniumverbindungen in hessischen Böden in Kooperation mit der Justus-Liebig-Universität Gießen

Quartäre Ammoniumverbindungen (QAVs) sind Substanzen, die weitreichende Anwendung als Tenside und Desinfektionsmittel in Industrie und Haushalten sowie in der Landwirtschaft finden. Es gibt Studien, die darauf hinweisen, dass eine Exposition gegenüber QAVs zur Bildung von Antibiotikaresistenzen in der Umwelt beitragen könnte. Bislang gibt es aber kaum Untersuchungen über ihr flächenhaftes Vorkommen in Böden.

In einer Kooperation des HLNUG mit dem Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen wird im Rahmen einer

Masterarbeit ein umfassendes Screening auf QAVs in hessischen Böden durchgeführt. Dazu wird Material von Rückstellproben der Bodenprobenbank des HLNUG verwendet, was überwiegend aus dem hessischen Langzeit-Monitoring-Programm der Boden-Dauerbeobachtung entstammt. Über 50 Proben verschiedener Landnutzungen werden im Labor der Universität Gießen auf verschiedene QAV-Einzelsubstanzen untersucht. Erste Ergebnisse deuten auf eine weite Verbreitung von QAVs in hessischen Böden hin und bestärken den weiteren Forschungsbedarf bezüglich der Auswirkungen dieser Substanzen auf antibiotikaresistente Mikroorganismen in Böden.



**Abb. 3:** Die Boden-Probenbank des HLNUG in Limbach. © HLNUG



## Untersuchungen zu (Mikro-)Plastik in hessischen Auenböden in Kooperation mit der Philipps-Universität Marburg

Neben der Belastung von Gewässern mit Plastik stellt auch die Anreicherung in terrestrischen Ökosystemen ein großes Problem dar. In Böden stehen die Partikel in Verdacht, das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit negativ zu beeinflussen. Um den Umfang der Verunreinigung und die mögliche Gefährdung der Böden und ihrer Funktionen durch diese Kontaminanten besser bewerten zu können, werden in Zukunft noch weitere Untersuchungen benötigt.

Zu dieser Thematik hat das HLNUG ein Dissertationsvorhaben zur Untersuchungen hessischer Auenböden auf (Mikro-)Plastik unterstützt, welches an der Philipps-Universität Marburg im Fachbereich Geographie angesiedelt ist. Im Rahmen der Kooperation wurden auch einige Rückstellproben von hessischen Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF) im Überflutungsbereich von Rhein, Main, Fulda und Ahne auf Mikroplastik untersucht. Neben der aktuellen Belastungssituation sollten auf diese Weise auch mögliche Einträge in der Vergangenheit untersucht werden. Die ältesten Proben stammten aus dem Jahr 2003.

Mit einer Ausnahme konnten in allen Proben Plastikpartikel nachgewiesen werden. Die Proben aus der Rheinaue zeigten dabei aufgrund des sehr großen Einzugsgebietes des Flusses und seiner starken industriellen Prägung erwartungsgemäß die höchsten Gehalte. Aber auch in den Böden der Ahneue, die nur ein vergleichsweise kleines und eher ländlich beeinflusstes Einzugsgebiet besitzt, wurden Plastikpartikel gefunden.

Die Ergebnisse der Studie wurden in der Zeitschrift „Bodenschutz“ veröffentlicht:

WEBER, C. J., LÜGGER, K. & HELLER, C. (2022): Mikroplastik in Auenböden der Boden-Dauerbeobachtung – Untersuchungen zur raumzeitlichen Variabilität am Beispiel Hessens. – Bodenschutz 1/22: 20-26; Berlin.

<https://bodenschutzdigital.de/ce/mikroplastik-in-auenboeden-der-boden-dauerbeobachtung/detail.html>



**Abb. 4:** Blick auf die Boden-Dauerbeobachtungsfläche im Überflutungsbereich des Rheins. © HLNUG

## Webinar „Plastik in Böden“ im Rahmen des BMBF-Schwerpunktes „Plastik in der Umwelt“

Ziel des Forschungsschwerpunktes „Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken, Lösungsansätze“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) ist es, wissenschaftliche Verfahren, Methoden, Instrumente und Begriffe zur Untersuchung von Plastik in der Umwelt zu entwickeln und zu etablieren, mit dem langfristigen Ziel, Kunststoffe in der Umwelt spürbar zu reduzieren.

Die Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt werden unter anderem auch in einer Webinar-Reihe „Plastik in der Umwelt“ vorgestellt. Die Teilnahme an allen Webinaren ist kostenfrei. Im Januar 2022 wurde das Webinar „Plastik in Böden“ veranstaltet,

was die Themenfelder Eintragspfade, Verbreitung, Verbleib und Gefahrenpotenziale von Kunststoffen im Boden näher beleuchtet. Die aktuellen Erkenntnisse aus den verschiedenen Verbundprojekten werden in dem Webinar kompakt dargestellt und diskutiert.

Unter folgendem Link werden sowohl die Präsentationen als auch die Videomitschnitte zur Verfügung gestellt:

<https://bmbf-plastik.de/de/veranstaltung/webinar-11-plastik-in-boeden>



**Abb. 5:** Einsatz von Plastikfolien in der Landwirtschaft. © HLNUG

## HLNUG-Altlastenseminar 2022

Das HLNUG-Altlastenseminar 2022 wird am 11. und 12. Oktober 2022 im Bürgerhaus in Lollar stattfinden. Da mögliche Corona-Beschränkungen nicht ausgeschlossen werden können, wird das Seminar als Hybridveranstaltung geplant. Information zum

Programm und zur Anmeldung sind unter HLNUG > Themen > Altlasten > Aktuelles (<https://www.hlnug.de/themen/altlasten/aktuelle-informationen>) zu finden.

## 50 Jahre Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Das HLNUG feiert sein 50-jähriges Bestehen. Einblicke in die vielfältigen Tätigkeiten des Landesamtes im Umweltschutz in Hessen gewährt eine Chronik unter

<https://www.hlnug.de/50-jahre-hlnug>.





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

[www.hlnug.de](http://www.hlnug.de)



Das HLNUG auf Twitter:  
[https://twitter.com/hlnug\\_hessen](https://twitter.com/hlnug_hessen)