

# Bodenzustand hessischer Bach- und Flussauen - Belastungen der Auenböden der Diemel

G 3

KATRIN LÜGGER, BENEDIKT KLEIN, NICO SCHUHMACHER & CHRISTIAN STEINICKE

## Einleitung

Auenböden umfassen mit 1 800 km<sup>2</sup> knapp neun Prozent der hessischen Landesfläche. Seit Ende 2015 werden die Auenflächen im Rahmen des Projekts „Bodendiversität und Bodenzustand in hessischen Bach- und Flussauen“ (kurz „Auenprojekt“) systematisch vom HLNUG untersucht. Dabei besteht das Projekt aus zwei Teilen:

Das erste Teilprojekt hat die bessere bodenkundliche Differenzierung der Auenbereiche der hessischen Bodenflächendaten im Maßstab 1 : 50 000 (BFD50) zum Ziel. Hierzu wurden in den vergangenen Jahren umfangreiche bodenkundliche Kartierungen in Auen durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Teilprojektes sol-

len mit der nächsten Aktualisierung der BFD50 veröffentlicht werden.

Das zweite Teilprojekt befasst sich mit dem stofflichen Bodenzustand in hessischen Auen. Letzte umfassende Untersuchungen zum Stoffbestand wurden in Kooperation mit dem damaligen Hessischen Landesamt für Bodenforschung (HLfB) in den 1990er Jahren durchgeführt (MOLDENHAUER 1996). Um die Kenntnisse zu verbessern, wurden hessenweit Bodenproben entnommen und im Labor untersucht mit dem Ziel, den aktuellen Bodenzustand systematisch zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten.

## Auenböden als Schadstoffsenken und -quellen

Ein Stoffeintrag in die Aue erfolgt, zusätzlich zu Einträgen über die Luft, vor allem durch die Ablagerung von Schwebstoffen während der periodisch oder episodisch auftretenden Überschwemmungsereignisse (s. Abb. 1). Mit den abgelagerten Schwebstoffen aus den Gewässern können neben Nährstoffen auch Schadstoffe in die Auenböden gelangen und sich dort langfristig anreichern. Böden in Auengebieten besitzen daher häufig erhöhte Schadstoffgehalte (z. B. HEMBROCK-HEGER 2000, GRUNEWALD & WEBER 2007, RINKLEBE et al. 2007, HLUG 2014).

Die Stoffeinträge sind auf verschiedene Quellen im Einzugsgebiet der Gewässer zurückzuführen. Zum einen spielen natürliche Quellen eine Rolle, da die geochemische Zusammensetzung der eingetragenen Schwebstoffe zunächst von den im Einzugsgebiet vorkommenden Gesteinen bestimmt wird. Zum anderen handelt es sich um anthropogene, also durch den Menschen verursachte Quellen, wie beispiels-

weise industrielle oder bergbauliche Tätigkeiten oder die landwirtschaftliche Nutzung. Auch wenn sich die Schadstoffeinträge in die Oberflächengewässer in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten erheblich verringert haben, sind aufgrund der Langlebigkeit vieler Schadstoffe deren Gehalte in Auenböden heute oft noch erhöht. Der stoffliche Bodenzustand wird also wesentlich auch von der historischen Gewässerbelastung beeinflusst. In diesem Sinne können Auenböden ein „Belastungsarchiv“ darstellen. Die Schadstoffbelastung kann dabei kleinräumig variieren und ist von vielen Einflussgrößen abhängig. Neben der Geländeform, der Überflutungshäufigkeit und -dauer sowie der Fließgeschwindigkeit des Gewässers spielen u. a. auch bestimmte Bodeneigenschaften und die Nutzung eine Rolle (DU LAING et al. 2009). Typische Schadstoffe, die in Auen angereichert sein können, sind Schwermetalle und Arsen sowie persistente organische Schadstoffe (POP), wie z. B. Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)



**Abb. 1:** Ablagerung von Sedimenten auf einer Grünlandfläche nach einem Hochwasserereignis © HLNUG

oder Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F). Wenn landwirtschaftlich genutzte Auenflächen erhöhte Belastungen aufweisen, besteht die Gefahr, dass diese Schadstoffe über pflanzliche Lebensmittel oder tierische Produkte in die Nahrungskette gelangen.

Auenböden bilden aber nicht nur eine Senke für Schadstoffe, sondern können auch als Schadstoffquelle fungieren. Einerseits können schwere Hochwasserereignisse zur erneuten Abschwemmung von belasteten Altsedimenten und Auenböden führen, die sich dann in flussabwärts gelegenen Überflutungsgebieten wieder ablagern und diese kontaminieren können (HOLLERT et al. 2014, CRAWFORD et al. 2022). Außerdem können durch die während eines Hochwassers zeitweise höheren Grundwasserstände Schadstoffe im Boden aktiviert werden, die Grund- und Oberflächenwasser verschmutzen (UBA 2021). Andererseits können Schadstoffe in Auenböden und

Sedimenten auch durch Eingriffe des Menschen wieder freigesetzt werden. Insbesondere Maßnahmen im Rahmen von Gewässerrenaturierungen, wie z. B. Rückbau von Uferbefestigungen oder Wiedervernäsungsmaßnahmen, können Prozesse in Gang setzen, die ebenfalls zu erhöhten Einträgen in das Gewässer sowie das Grundwasser und möglicherweise auch einer erhöhten Pflanzenaufnahme führen können (HLUG 2012).

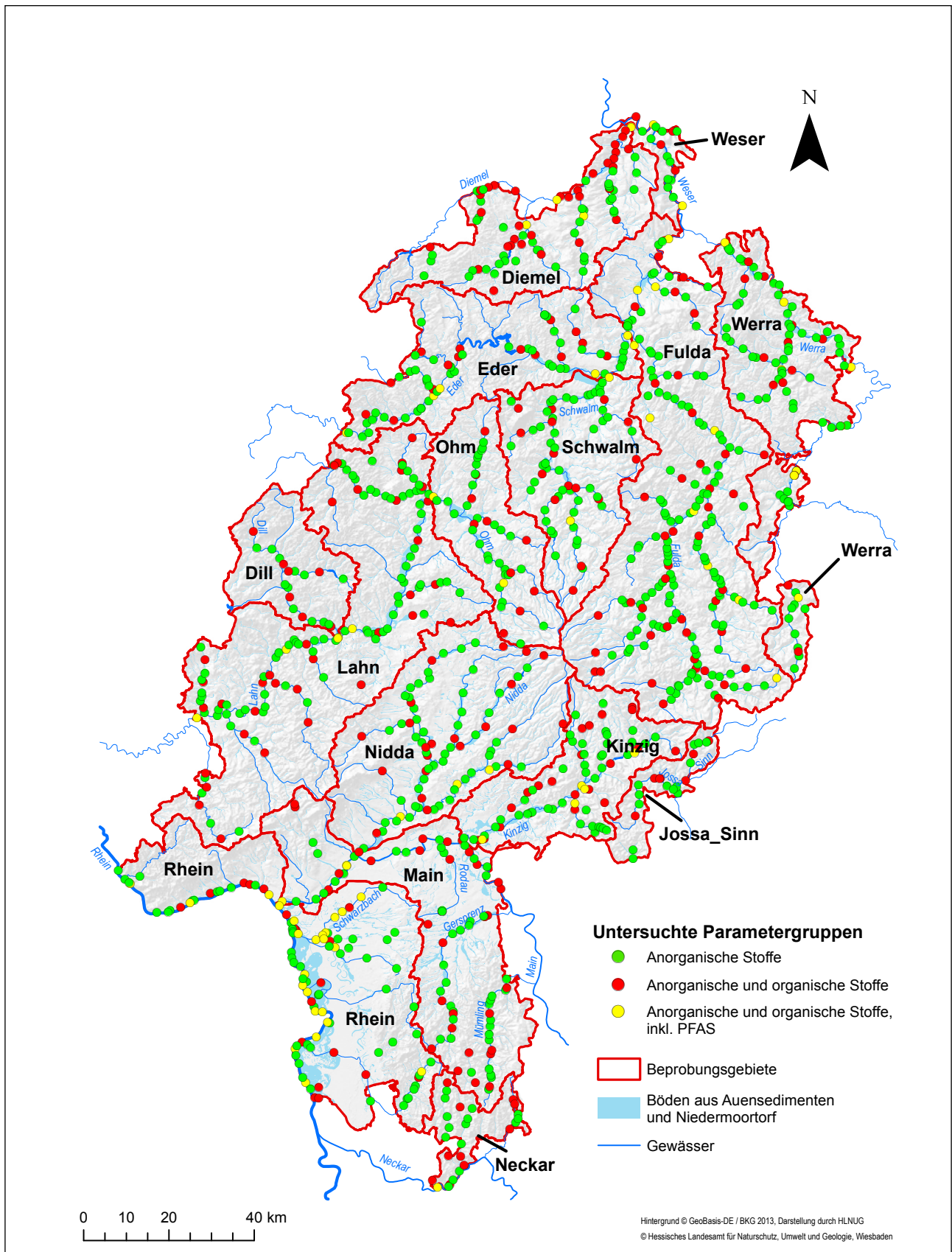
Damit kann auch das Schadstoffinventar der Vergangenheit neue schädliche Bodenveränderungen hervorrufen und heute zu einer Gefährdung von Mensch und Umwelt führen. Umso wichtiger sind Kenntnisse zum stofflichen Bodenzustand der Auenböden, damit diese bei planerischen Fragestellungen berücksichtigt werden können und bei landwirtschaftlicher Nutzung belasteter Flächen durch eine angepasste Bewirtschaftung ein Eintrag in die Nahrungskette möglichst vermieden werden kann.

## Untersuchungskonzept

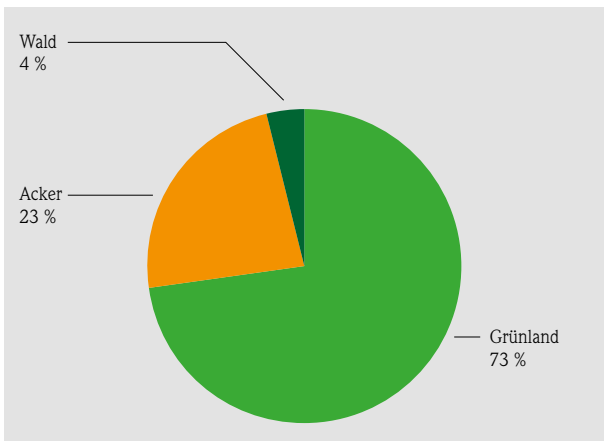
### Standortauswahl und Probennahme

Im Rahmen des Auenprojektes wurden hessenweit Flächenmischproben der Oberböden entnommen. Dafür wurde Hessen in 15 Beprobungsgebiete untergliedert, in denen über 1 000 Beprobungsseg-

mente an mehr als 100 Fließgewässern ausgewiesen wurden. Pro Beprobungssegment wurde jeweils ein Standort beprobt, der im Hinblick auf die im Segment dominierende Landnutzung (Acker, Grünland, Wald)



**Abb. 2:** Lage der untersuchten Standorte in den Beprobungsgebieten, differenziert nach den analysierten Parametergruppen



**Abb. 3:** Prozentualer Anteil der Landnutzung der beprobten Standorte



**Abb. 4:** Entnahme einer Einzelprobe mittels Murach'schem Wurzelbohrer © HLNUG



**Abb. 5:** Bodenkundliche Ansprache mittels Pürckhauerbohrung © HLNUG

sowie das Ausgangssubstrat der Bodenbildung möglichst repräsentativ sein sollte. Ein weiteres Kriterium der Standortauswahl war, dass die Fläche mindestens innerhalb der HQ100-Überflutungsfläche (Hochwasser von mittlerer Wahrscheinlichkeit mit einem voraussichtlichen Wiederkehrintervall von mindestens 100 Jahren) liegen sollte, vorzugsweise innerhalb der HQ10-Überflutungsfläche (Hochwasser von hoher Wahrscheinlichkeit mit einem voraussichtlichen Wiederkehrintervall von mindestens 10 Jahren). Abbildung 2 zeigt die Lage der über 1 000 beprobten Standorte in den einzelnen Beprobungsgebieten. Bei knapp Dreiviertel der Standorte handelte es sich um

Grünlandflächen, knapp ein Viertel wurden ackerbau­lich genutzt (s. Abb. 3). Einhergehend mit dem geringen Flächenanteil an Auenwäldern in Hessen konnten nur wenige Waldstandorte untersucht werden.

Zur Gewinnung der Flächenmischproben der Oberböden wurde im Normalfall eine Fläche von 30 m x 30 m beprobt, indem mindestens 15 Einzelproben über die Flächendiagonalen entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt wurden. Die Entnahme der Einzelproben erfolgte überwiegend mit Hilfe eines Murach'schen Wurzelbohrers (s. Abb. 4). In der Mitte der Beprobungsfläche erfolgte eine Pürckhauerbohrung bis 1 m Tiefe zur bodenkundlichen Ansprache nach dem hessischen Erfassungsstandard Boden/Bodenschutz (FRIEDRICH et al. 2003, s. Abb. 5).

Beprobt wurde unter Beachtung der Entnahmetiefen nach Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) nur der Oberboden. Lag innerhalb der vorgeschriebenen Entnahmetiefe die Grenze eines Bodenhorizontes (Bereiche einheitlicher Bodenmerkmale und -eigenschaften), wurde die Probennahme entsprechend unterteilt. Von allen Proben wurde Bodenmaterial als Rückstellprobe in der Bodenprobenbank des HLNUG eingelagert. Dieses steht für zukünftige Nachuntersuchungen zur Verfügung.

## Analytisches Messprogramm

Das entnommene Bodenmaterial wurde in Anlehnung an das umfangreiche Untersuchungsprogramm der Boden-Dauerbeobachtung sowie entsprechend

den Bewertungsgrundlagen der BBodSchV analysiert. An allen Proben wurden bodenchemische und -physikalische Kennwerte sowie anorganische Stoffge-

halte gemessen. An ca. einem Drittel der Standorte wurde zusätzliches Probenmaterial zur Analytik persistenter organischer Schadstoffe (POP) entnommen. Einige ausgewählte Proben dieser Standorte wurden über die gängigen POP hinaus auch auf Per- und

Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Feststoff und Eluat untersucht. Abbildung 2 zeigt die Lage der Beprobungsflächen farblich differenziert nach den untersuchten Parametergruppen. In Tabelle 1 sind die einzelnen Untersuchungsparameter aufgeführt.

**Tab. 1:** Untersuchungsparameter im Rahmen des Auenprojektes

Bodenchemische und -physikalische Kennwerte	Anorganische Stoffe (Königswasser- und teilweise Ammoniumnitrat-Extraktion)	Organische Schadstoffe
pH-Wert, organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff, Gesamtstickstoff, Calciumcarbonat, Kationenaustauschkapazität, Trockenrohddichte, Korngrößen, Bodenart	Aluminium, Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Calcium, Cobalt, Chrom, Eisen, Kalium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Molybdän, Nickel, Quecksilber, Selen, Thallium, Uran, Vanadium, Zink	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB), Chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW), Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F), Dioxinähnliche Polychlorierte Biphenyle (dl-PCB), Per- und Polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)

## Erste Ergebnisse - Beispiele aus dem Beprobungsgebiet Diemel

Die Diemel entspringt im hessischen Rothaargebirge südlich von Usseln im Waldecker Upland, fließt streckenweise durch Nordrhein-Westfalen und mündet schließlich bei Bad Karlshafen in die Weser. Bei

einer Gesamtlängelänge von 110,5 km liegen 52 km in Hessen. Abbildung 6 zeigt den Verlauf der Diemel und ihrer wichtigsten Nebenflüsse.

### Probennahmen

Im Beprobungsgebiet Diemel wurden auf insgesamt 78 Standorten Flächenmischproben der Oberböden entnommen. Nur 18 der untersuchten Standorte liegen an der Diemel selbst, die übrigen Proben wurden an 12 weiteren Gewässern (u. a. Twiste, Warme und Esse) im Einzugsgebiet entnommen. Standorte im Oberlauf der Diemel vor dem Diemelsee wurden

nicht beprobt, da hier der mittlere Abfluss noch zu gering ist. Bei den untersuchten Standorten handelt es sich ausnahmslos um landwirtschaftlich genutzte Flächen. In Abbildung 6 wird die Lage der im Beprobungsgebiet Diemel untersuchten Standorte differenziert nach ihrer Nutzung dargestellt.

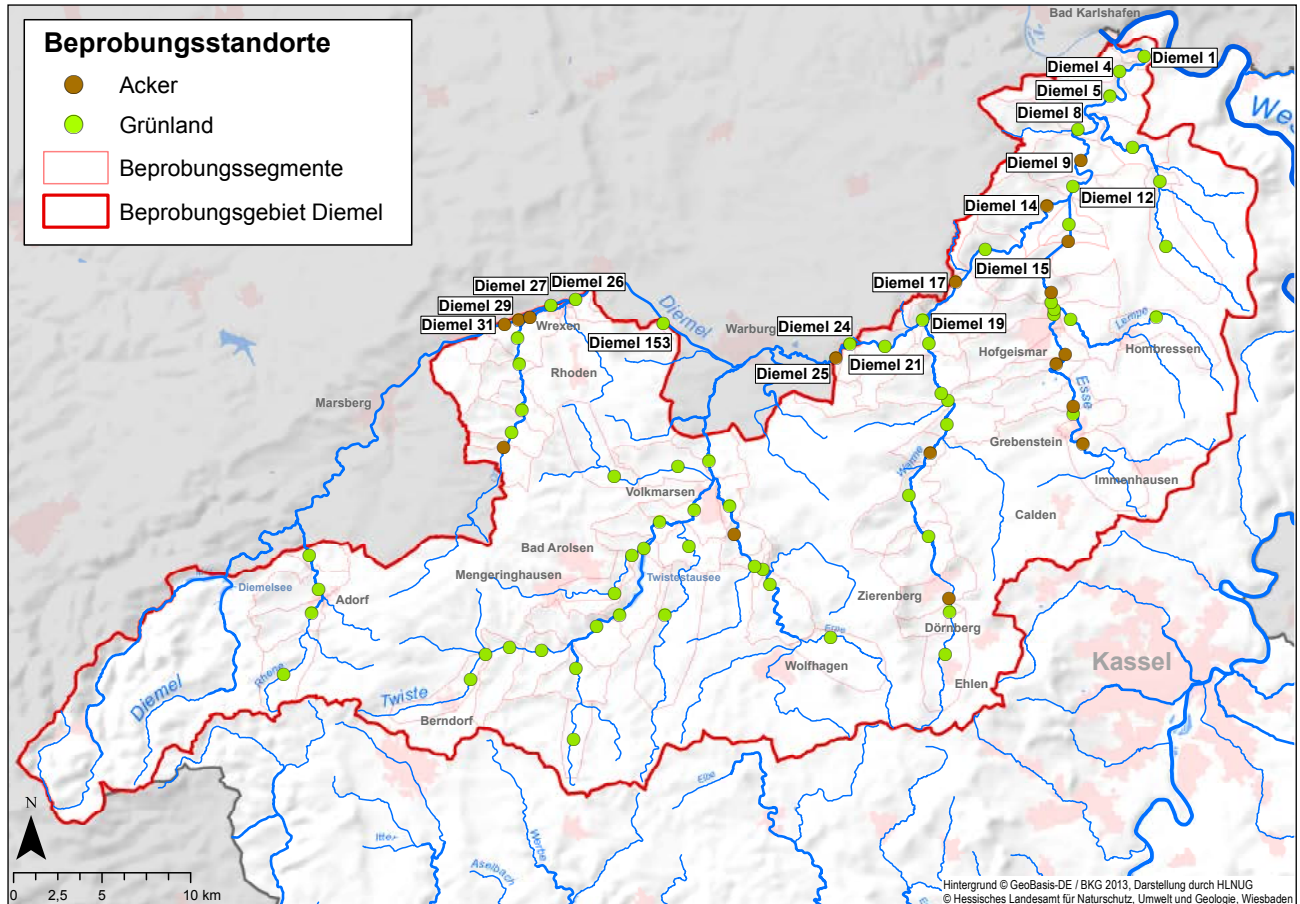
### Ergebnisse

Die Auswertungen der Analysenergebnisse der anorganischen Elemente zeigten vor allem für Kupfer Auffälligkeiten. So liegen die Kupfergehalte in den Auenböden der Diemel im Mittel um den Faktor 4 höher als diejenigen auf den übrigen Standorten im Beprobungsgebiet (s. Tab. 2). In Abbildung 7 werden die Kupfergehalte der untersuchten Oberböden in der Diemelaue flussabwärts gereiht dargestellt.

Mit einer Ausnahme wird an allen Standorten der Vorsorgewert der BBodSchV überschritten. Der maximale Kupfergehalt von 259 mg/kg TM (Trockenmasse) überschreitet zwar den Maßnahmenwert der BBodSchV für Grünlandnutzung durch Schafe von 200 mg/kg TM, findet aber aktuell keine Anwendung, da es sich bei dem untersuchten Standort um eine Ackerfläche handelt.

Auch bei den Auswertungen der Untersuchungsergebnisse organischer Schadstoffe zeigten sich für die Standorte in der Diemelauere Auffälligkeiten. So wurde auf den zunächst für die POP-Analytik aus-

gewählten sechs Standorten eine erhöhte Belastung mit Polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F) gemessen. In der Folge wurden weitere Proben auf diese Stoffgruppe sowie dioxinähnliche



**Abb. 6:** Lage der beprobten Standorte im Beprobungsgebiet Diemel, differenziert nach ihrer Nutzung

**Tab. 2:** Statistische Kennwerte der Kupfer- und PCDD/F- sowie dl-PCB-Gehalte in den Oberböden des Beprobungsgebietes Diemel

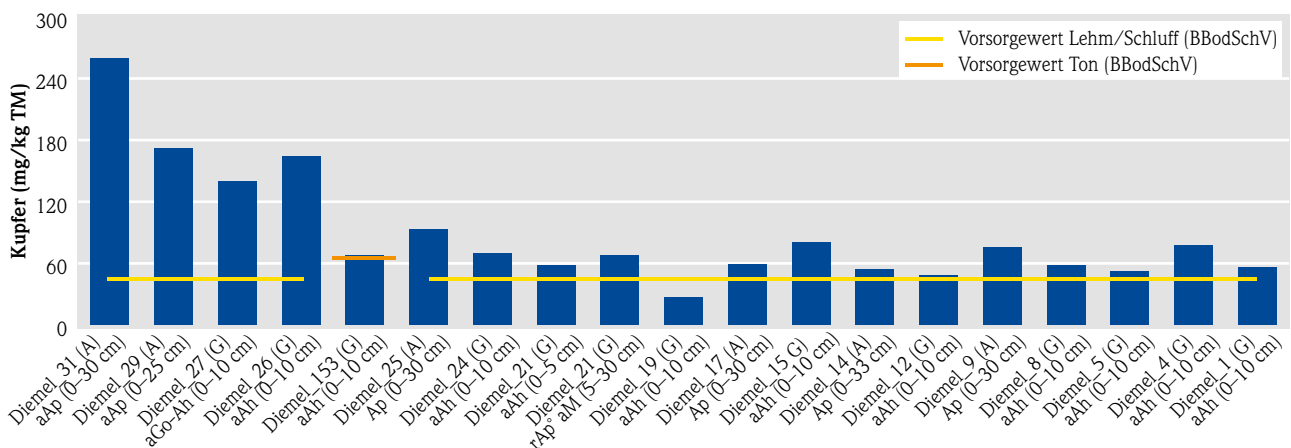
	Kupfer (mg/kg TM)	PCDD/F (ng WHO <sub>2005</sub> /kg TM)	dl-PCB (ng WHO <sub>2005</sub> /kg TM)
<b>Oberböden Diemelauere</b>			
Anzahl	18	16	16
Spannweite	27–259	3,00–35,17	0,27–3,15
Mittelwert	90	14,88	1,39
Median	69	12,55	1,29
<b>Oberböden Beprobungsgebiet Diemel, ohne Diemelauere</b>			
Anzahl	60	20	20
Spannweite	7–70	0,55–5,56	0,36–0,72
Mittelwert	20	1,94	0,36
Median	16	1,69	0,32

Polychlorierte Biphenyle (dl-PCB) nachanalysiert. Insgesamt liegen aktuell PCDD/F-Analysen von 16 landwirtschaftlich genutzten Flächen an der Diemel vor. Diese liegen im Mittel um etwa das 7-fache über den Gehalten der übrigen untersuchten Standorte im Beprobungsgebiet (s. Tab. 2) und ein Vielfaches über den hessischen PCDD/F-Hintergrundwerten für Acker- und Grünland im ländlichen Raum (LABO 2017, HLNUG 2017). Tendenziell gilt das auch für die dl-PCB-Gehalte, allerdings ist hier der Unterschied zu den untersuchten Standorten außerhalb der Diemelau im Mittel geringer und nicht alle Standorte überschreiten die Hintergrundwerte (s. Tab. 2).

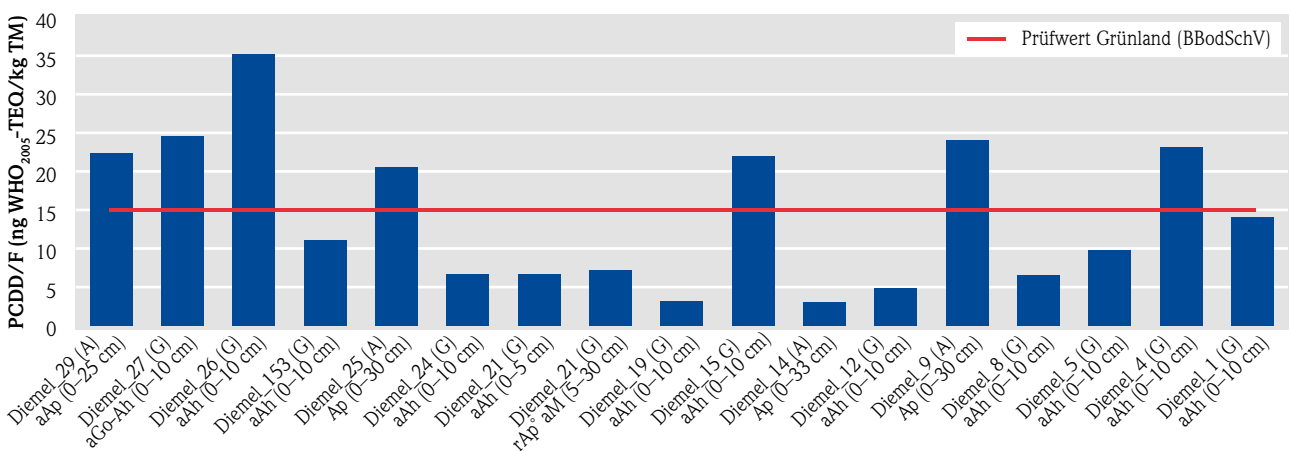
Abbildung 8 zeigt, wiederum flussabwärts gereiht, die gemessenen PCDD/F-Gehalte der Oberböden. Während die BBodSchV in der geltenden Fassung (g. F.) bisher zur Bewertung von PCDD/F nur einen

Maßnahmenwert für den Wirkungspfad Boden-Mensch beinhaltet, ist in der novellierten BBodSchV (BBodSchV n. F.), die am 1. August 2023 in Kraft tritt, ein neuer Prüfwert für den Wirkungspfad Boden-Pflanze auf Grünlandflächen enthalten. Dieser Prüfwert von 15 ng WHO-TEQ/kg TM wird auf 4 Standorten an der Diemel überschritten. Auf weiteren 3 Flächen konnten ebenfalls Gehalte oberhalb des Prüfwertes gemessen werden, jedoch findet er hier aktuell keine Anwendung, da es sich um Ackerstandorte handelt. Der maximale Gehalt, der mit 35,17 ng WHO-TEQ/kg TM mehr als das Doppelte des Prüfwertes beträgt, wurde auf einer als Weide genutzten Grünlandfläche bei Wrexen analysiert.

Es ist davon auszugehen, dass die festgestellten erhöhten Belastungen sowohl mit Kupfer als auch mit PCDD/F ihre Quelle im historischen Kupfererz-



**Abb. 7:** Kupfergehalte (Königswasser-Extraktion) der untersuchten Oberböden an der Diemel (A = Ackerstandort, G = Grünlandstandort), flussabwärts gereiht, sowie Vorsorgewerte der BBodSchV entsprechend der vorliegenden Bodenart



**Abb. 8:** PCDD/F-Gehalte der untersuchten Oberböden an der Diemel (A = Ackerstandort, G = Grünlandstandort), flussabwärts gereiht, sowie Prüfwert der BBodSchV (n. F.) für den Wirkungspfad Boden-Pflanze für Grünlandflächen

Bergbau in Marsberg (NRW) haben, was nur wenige Kilometer flussaufwärts der ersten untersuchten hessischen Standorte liegt. Im Raum Marsberg finden sich Erzlagerstätten, die vermutlich bereits seit dem 9. Jahrhundert abgebaut wurden (FARRENSCHON & OESTERREICH 2008). Im Laufe des 19. Jahrhunderts kam es durch neue Verhüttungsverfahren zu einer stark ansteigenden Kupfererz-Produktion in Marsberg; 1912 erreichte die Förderung mit über 52 000 t ihren Höhepunkt. Nachdem 1930 der Betrieb zunächst eingestellt worden war, wurde er nur fünf Jahre später unter Einsatz eines neuen Verfahrens der chlorierten Röstung wiederaufgenommen. Dieses Verfahren führte allerdings zu massiven Umweltbelastungen, die zur Folge hatten, dass Wild und Weidevieh verendeten und Anwohner erkrankten, so dass es nach wenigen Jahren wieder eingestellt wurde. Nach dem zweiten Weltkrieg endete die Kupfergewinnung in Marsberg. Die Rückstände der Verhüttung lagerten Jahre auf großen Halden; von 1955–1967 wurden diese Schlacken bundesweit und im benachbarten Ausland unter dem Namen „Kieselrot“ für den Wege-, Spiel- und Sportplatzbau vermarktet, bis 1991 die erhöhten Dioxinbelastungen des Materials auffielen (THEISEN et al. 1993). In Folge wurden die belasteten Bereiche in Marsberg umfassend untersucht und aufwändig saniert (GD NRW 2017), ebenso bundesweit sehr viele der mit Kieselrot ausgebauten Spiel- und Sportanlagen sowie Wege.

Darauf, dass die erhöhten PCDD/F-Belastungen ihre Quelle in Marsberg haben, weisen auch die Homologenmuster hin (s. Abb. 9). Als Homologe bezeichnet man PCDD/F mit einer gleichen Anzahl an Chloratomen. Die Analysen zeigen im Hinblick auf die re-

lativen Anteile der einzelnen Homologen an der Gesamtmenge ein charakteristisches Kieselrot-Muster, welches gekennzeichnet ist von einer deutlichen Dominanz hochchlorierter Furane, v. a. von Octa-, Hepta- und Hexa-CDF (THEISEN et al. 1993, KRAUSE et al. 1993).

Von erhöhten Kupfer- und PCDD/F-Belastungen der Böden im Überschwemmungsgebiet der Diemel im nordrhein-westfälischen Kreis Höxter berichteten bereits STEINWEG & KERH (2004). Die Höhe der dort gemessenen Gehalte liegt für beide Parameter in vergleichbarer Größenordnung mit den aktuellen Ergebnissen. In einem Beitrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV) zu landesweiten Dioxinuntersuchungen von Böden und Pflanzen aus Überschwemmungsgebieten werden neben erhöhten Dioxingehalten in Böden der Diemelaue auch stark belastete Grasproben erwähnt (LANUV 2008). In beiden Veröffentlichungen wird als Ursache der Belastungen die Kupfergewinnung in Marsberg genannt.

In Hessen wurden in den 1990er Jahren Schwebstoffproben der Diemel auf PCDD/F untersucht. Die stark erhöhten Furananteile wurden ebenfalls mit Einträgen dioxinhaltiger Kupferschlacke aus Marsberg in Verbindung gebracht (HLfU 1997). Im Rahmen der ebenfalls in den 1990er Jahren durchgeführten hessenweiten Untersuchungen von Auenböden wurde der einzige beprobte Standort an der Diemel bei Trendelburg hingegen nicht auf PCDD/F untersucht (MOLDENHAUER 1996). Die am Standort gemessenen Kupfergehalte überschreiten aber bis in eine Tiefe von 70 cm ebenfalls knapp den Vorsorgewert.

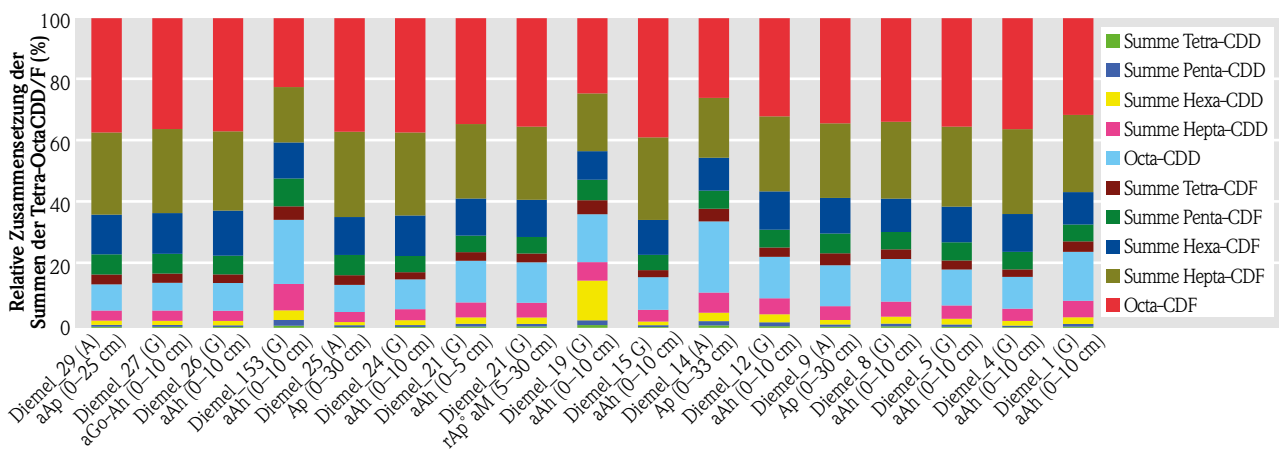


Abb. 9: PCDD/F-Homologenmuster der untersuchten Oberböden an der Diemel (A = Ackerstandort, G = Grünlandstandort), flussabwärts gereiht



## Fazit

Im Rahmen des hessenweiten Auenprojektes zeigen im Beprobungsgebiet Diemel in erster Linie die Standorte im Überschwemmungsbereich der Diemel selbst erhöhte Belastungen, während die Ergebnisse der übrigen untersuchten Flächen bis auf sehr wenige Ausnahmen unterhalb der Vorsorgewerte der BBodSchV bzw. im Bereich der Hintergrundwerte liegen. Besonders die PCDD/F-Gehalte, die sich durchgehend erhöht zeigen und an vier Standorten den Prüfwert im Wirkungspfad Boden-Pflanze für Grünlandflächen überschreiten, sowie die Kupfergehalte, die mit einer Ausnahme die Vorsorgewerte überschreiten, sind auffällig. Als Belastungsquelle wird der historische Kupferbergbau im flussaufwärts gelegenen Marsberg angesehen.

Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung der Überschwemmungsflächen an der Diemel sollten insbesondere die erhöhten PCDD/F-Gehalte beachtet werden. Wenn belastete Flächen als Weide oder Mähwiese genutzt werden, muss dafür Sorge getragen werden, dass der Schadstofftransfer vom Boden in das Nutztier und damit ein Eintrag in die Nahrungskette möglichst minimiert wird: Da bei PCDD/F-Belastungen in erster Linie der Verschmutzungspfad eine Rolle spielt, ist es empfehlenswert, Maßnahmen zu ergreifen, die die Bodenaufnahme durch Weidetiere verringern und bei Schnittnutzung von Grünland die erntebedingte Verschmutzung reduzieren (z. B. Vermeidung von Schäden an der Grasnarbe, ausreichende Schnitthöhe bei der Heuernte). In diesem Zusammenhang wurden eine Reihe von konkreten Handlungsempfehlungen veröffentlicht, die teilweise auch speziell für dioxinbelastete Flächen herausgegeben wurden (LABO 2007, LANUV 2011, LLH 2013a, LLH 2013b, LWK Niedersachsen 2022).

Außerdem sollten die festgestellten Belastungsschwerpunkte im Hinblick auf mögliche bauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Struktur und Durchgängigkeit von Gewässern besondere Beachtung finden. So sind Renaturierungen oft mit umfangreichen Erdarbeiten (z. B. Abgrabungen, Bodenumlagerungen, Bodenaufträgen) verbunden. Im Zuge dessen sind Schadstoffmobilisierung und Schadstoffeinträge, die schädliche Bodenveränderungen auslösen könnten, zu vermeiden. Fällt belasteter Bodenaushub an, ist dieser ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten (HLUG 2012).

Beim Auf- und Einbringen von Bodenmaterial sind die in § 12 BBodSchV (g. F.) bzw. den §§ 6–8 BBodSchV (n. F.) enthaltenen Bestimmungen zu berücksichtigen. Im Regelfall wird bei der Verwertung durch Wiedereinbau des Bodenmaterials die Einhaltung der Vorsorgewerte gefordert; eine Ausnahme ist möglich, wenn es sich um eine Verlagerung von Bodenmaterial innerhalb eines Gebietes mit erhöhten Schadstoffgehalten handelt, soweit die Bodenfunktionen nicht zusätzlich beeinträchtigt werden und die Schadstoffsituation am Ort des Aufbringens nicht nachteilig verändert wird (Verschlechterungsverbot). Dioxin-Analysen gehören zunächst nicht zum Untersuchungsumfang von unbelasteten Böden. Allerdings ist in der BBodSchV geregelt, dass zusätzlich weitere Stoffe zu untersuchen sind, wenn Anhaltspunkte auf erhöhte Gehalte dieser Stoffe vorliegen bzw. das Entstehen einer schädlichen Bodenveränderung (Überschreitung von Prüf-/Maßnahmenwerten) zu besorgen ist. Es wird daher empfohlen, umzulagerndes Bodenmaterial aus der Diemelaue vorsorglich auch auf PCDD/F zu untersuchen. Eine Verlagerung von belastetem Bodenmaterial auf geringer belastete Flächen ist zu vermeiden.

## Literatur

- CRAWFORD, S.E., BRINKMANN, M., OUELLET, J.D., LEHMKUHL, F., REICHERTER, K., SCHWARZBAUER, J., BELLANOVA, P., LETMATHE, P., BLANK, L.M., WEBER, R., BRACK, W., VAN DONGEN, J.T., MENZEL, L., HECKER, M., SCHÜTTRUMPF, H. & HOLLERT, H. (2022): Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. – *Journal of Hazardous Materials*, Vol. **421**:1–11; Amsterdam.
- DU LAING, G., RINKLEBE, J., VANDECASTEELE, B., MEERS, E. & TACK, F.M.G. (2009): Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review. – *Science of The Total Environment*, Vol. 407, Issue **13**: 3972–3985; Amsterdam.
- FARRENSCHON, J. & OESTERREICH, B. (2008): Erläuterungen zu Blatt 4519 Marsberg – Geol. Karte Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000, 2. Aufl., 216 S.; Krefeld.
- FRIEDRICH, K., KASEL, H., LÜGGER, K., SCHMANKE, M. & VORDERBRÜGGE, T. (2003): Erfassungsstandard Boden/Bodenschutz Hessen. – 1. Aufl.; Wiesbaden. [<https://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/erfst/index.html>, Stand: 31.10.2022].
- GD NRW – Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (2017): Geologie im Rheinischen Schiefergebirge. Teil 3: Sauer- und Siegerland. – 244 S.; Krefeld.
- GRUNEWALD, K. & WEBER, C. (2007): Auenböden als Schadstoffsенke? Nutzungsrisiken im Elbe-Muldegebiet. – In: ZEPP, H. (Hrsg.): *Ökologische Problemräume Deutschlands*: 181–204; Darmstadt.
- HEMBROCK-HEGER, A. (2000): Persistente Schadstoffe in Böden von Überschwemmungsgebieten in NRW – Untersuchungen in Rhein- und Lippeauen. – In: FRIESE, K., WITTER, B., MIEHLICH, G. & RODE, M. (Hrsg.): *Stoffhaushalt von Auen-ökosystemen*: 379–388; Berlin.
- HLfU – Hessische Landesanstalt für Umwelt (1997): Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe. Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlammern 1991–1996. – Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft **233**; Wiesbaden.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2012): Vorsorgender Bodenschutz bei Baumaßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur und der Durchgängigkeit. – Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft **10**; Wiesbaden.
- HLUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2014): Persistente organische Schadstoffe in landwirtschaftlich genutzten Böden Hessens. – Böden und Bodenschutz in Hessen, Heft **11**; Wiesbaden.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2017): Hintergrundwerte organischer Schadstoffe in hessischen Böden. [[https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/hgw/2017\\_HGW\\_Organik\\_Internet\\_PCDD\\_F\\_dIPCB.pdf](https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/hgw/2017_HGW_Organik_Internet_PCDD_F_dIPCB.pdf), Stand: 31.10.2022].
- HOLLERT, H., BRINKMANN, M., HUDJETZ, S., COFALLA, C. & SCHÜTTRUMPF, H. (2014): Hochwasser – ein unterschätztes Risiko. Schadstoffe als „Zeitbomben“ im Sediment. – *Biologie in unserer Zeit*, **1/2014**: 44–51; Weinheim.
- KRAUSE, G.H.M., DELSCHEN, T., FÜRST, P. & HEIN, D. (1993): Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F). Teil 1–Teil 3: Bewertung der Belastung durch PCDD/F aus der ehemaligen Kupfergewinnung im Raum Marsberg, NRW. Teil 1: PCDD/F in Böden, Vegetation und Kuhmilch. – *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung (UWSF): Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie*, **5 (4)**: 194–215; Landsberg/Lech.
- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2007): Maßnahmenkonzept zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte (Kurzfassung) – Handlungsempfehlungen für die Bodenschutzbehörden für Bewirtschaftungsbeschränkungen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen bei schädlichen Bodenveränderungen. – 26 S.; Berlin. [[https://www.labo-deutschland.de/documents/33\\_Anlage\\_TOP\\_14\\_Nutzpflanzenente\\_kurz\\_1cc.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/33_Anlage_TOP_14_Nutzpflanzenente_kurz_1cc.pdf), Stand: 31.10.2022].

- LABO – Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2017): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. – 4. überarbeitete und ergänzte Auflage, 41 S.; Berlin. [[https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text\\_4e3.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/LABO-HGW-Text_4e3.pdf), [https://www.labo-deutschland.de/documents/Hintergrundwerte\\_Anhang\\_a79.pdf](https://www.labo-deutschland.de/documents/Hintergrundwerte_Anhang_a79.pdf), Stand: 31.10.2022].
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2009): Dioxine und PCB in der Umwelt – Böden und Pflanzen aus Überschwemmungsgebieten, Fließgewässersedimente sowie Lebens- und Futtermittel. – Jahresbericht 2008: 15–22; Recklinghausen.
- LANUV – Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (2011): Handlungsempfehlungen zur Minimierung der Dioxin- und PCB-Anreicherung in der Lebensmittelkette. – 3 S.; Recklinghausen. [[https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/verbraucher/sicherheit/pdf/2011\\_06\\_01%20Handlungsempfehlung\\_Dioxin%20und%20PCB.pdf](https://www.lanuv.nrw.de/fileadmin/lanuv/verbraucher/sicherheit/pdf/2011_06_01%20Handlungsempfehlung_Dioxin%20und%20PCB.pdf), Stand: 31.10.2022].
- LLH – Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (2013a): Schadstoffaufnahme bei der Tierfütterung vermeiden. Teil I: Futterernte vom Grünland – 2 S.; Kassel.
- LLH – Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (2013b): Schadstoffaufnahme bei der Tierfütterung vermeiden. Teil II: Hinweis zur Weidehaltung und Fütterung von Schafen und Rindern. – 2 S.; Kassel.
- LWK Niedersachsen – Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2022): Hinweise zur Bewirtschaftung von Grünlandflächen in Überschwemmungsgebieten an Flusssauen in Niedersachsen. – Merkblatt, 4 S.; Oldenburg. [<https://www.lwk-niedersachsen.de/services/download.cfm?file=38433>, Stand: 31.10.2022].
- MOLDENHAUER, K.-M. (1996): Schwermetalle und organische Schadstoffe in Hochwassersedimenten und Böden hessischer Auen. – Geologisches Jahrbuch Hessen, **124**: 191–213; Wiesbaden.
- RINKLEBE, J., FRANKE, C. & NEUE, H.-U. (2007): Aggregation of Floodplain Soils as an Instrument for Predicting Concentrations of Nutrients and Pollutants. – Geoderma, **141**: 210–223; Amsterdam.
- STEINWEG, B. & KERTH, M. (2004): Digitale Bodenbelastungskarten für emittentenferne Gebiete in Ostwestfalen-Lippe (Nordrhein-Westfalen). – Zeitschrift für Bodenschutz, **4**: 118–123; Berlin.
- THEISEN, J., MAULSHAGEN, A. & FUCHS, J. (1993): Organic and inorganic substances in the copper slag „Kieselrot“. – Chemosphere, **26(5)**: 881–896; Amsterdam.
- UBA – Umweltbundesamt (Hrsg.) (2021): Schadstoffe in Böden nach Hochwasserereignissen – Extreme Starkregen- und Hochwasserereignisse können einen deutlichen stofflichen Fußabdruck in Böden hinterlassen. – 3 S.; Dessau-Roßlau.

