

Umweltdaten 2021

Baden-Württemberg

LU:BW



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT



4 Boden

Das Wichtigste in Kürze

Im Rahmen des **Moorkatasters** werden seit 2014 in acht Hochmooren Pegelmessungen zum Monitoring der Wasserverhältnisse durchgeführt. Für das Moorkwachstum ungünstige Wasserstände von mehr als 20 cm unter der Geländeoberfläche sind bis 2020 je nach Moor an 0,1 % bis 41 % der Tage aufgetreten. Die Unterschiede resultieren weniger aus der Niederschlagsverteilung als aus der jeweiligen standortspezifischen Struktur.

DI-PCB sind polychlorierte Biphenyle mit einer dioxinartigen (dl = dioxine-like) Wirkung. Ihre Verbreitung in den Böden Baden-Württembergs wurde in Abhängigkeit maßgeblicher Eintragspfade näher untersucht. Da Böden mit Überschwemmungseinfluss tendenziell die höchsten dl-PCB-Gehalte aufweisen, kann das Abwasser, vermittelt über Sedimenteintrag, als maßgeblicher Eintragspfad angenommen werden. Lokal können Einträge über den Luftpfad eine Rolle spielen.

Flächendeckend werden in nicht spezifisch belasteten Böden des landesweiten Bodenmessnetzes (sogenannten „Hintergrundböden“) **per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS)** in geringen Konzentrationen gemessen. Als naheliegende Eintragsursache wird ein ubiquitärer Eintrag über den Luftpfad angenommen.

Seit Beginn der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg im Jahr 1987 wurden insgesamt 105 662 Flächen erfasst, die bereits weitestgehend nach den Kriterien der Altlastenbewertung eingestuft sind. Aktuell werden 14 998 **altlastverdächtige Flächen** und 2 699 **Altlasten** im Bodenschutz- und Altlastenkataster geführt. Landesweite Auswertungen zeigen, dass seit dem Start der Altlastenbearbeitung bei 43 461 Fällen (41 %) der Verdacht einer Altlast ausgeräumt worden ist und diese aus der Bearbeitung ausgeschieden werden konnten.



Foto: H.Hohl/LUBW

| | |
|---|-----------|
| 4.1 MOORKATASTER | 72 |
| Gründlenried-Rötseemoos | 72 |
| Wasserstände | 72 |
| Wassertemperatur und Leitfähigkeit | 73 |
| 4.2 DIOXINÄHNLICHE POLYCHLORIERTER BIPHENYLE (DL-PCB) IN BÖDEN | 74 |
| Was sind dl-PCB? | 74 |
| Toxizität von dl-PCB | 74 |
| Gesetzliche Regelungen für dl-PCB | 75 |
| dl-PCB Verbreitung in Böden | 75 |
| Gemeinsame Bewertung von dl-PCB und Dioxine/Furane | 76 |
| Zusammenhang zwischen PCB6 und dl-PCB TEQ | 76 |
| 4.3 PER- UND POLYFLUORIERTER CHEMIKALIEN IM BODEN | 77 |
| Was sind PFAS? | 77 |
| PFAS-Gehalte im Boden | 78 |
| 4.4 ALTLASTEN | 79 |
| Erfassung | 79 |
| Altlastverdächtige Flächen | 79 |
| Gefährdungsabschätzung | 80 |
| Sanierung | 80 |
| EROSIONSMONITORING DER LUBW | 81 |

4.1 Moorkataster

Gründlenried-Rötseemoos

Im Rahmen des Moorkatasters werden seit 2014 in acht Mooren Wasserstandsmessungen durchgeführt. Bei den Wasserstandsmessungen sind aufgrund der kurzen Zeitreihe noch keine Trends ableitbar. Methodische Schwierigkeiten bei der Festlegung der Geländeoberkante in Hochmooren um ± 10 Zentimeter sind zu berücksichtigen.

Der Überblick über die Wasserversorgung der acht Moore zeigt sehr unterschiedliche prozentuale Anteile der Zeiträume mit für das Moorwachstum ungünstigen Wasserständen in 0,1 % bis 41 % des Beobachtungszeitraums.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > **Das Moorkataster**

Mit Blick aus nördlicher Richtung auf das stark überhöhte Relief des Gründlenried-Rötseemooses auf Basis des digitalen Geländemodells ist deutlich die ehemalige Torfabbaufläche mit den Torfstichkanten erkennbar, dahinter beziehungsweise südlich liegend die noch intakt gebliebene Hochmoorfläche. Die **Hochmooroberfläche** des Gründlenried-Rötseemooses ist praktisch eben mit einem in natura kaum wahrnehmbaren Gefälle von Süd nach Nord sowie von Ost nach West um etwa 0,4 %.

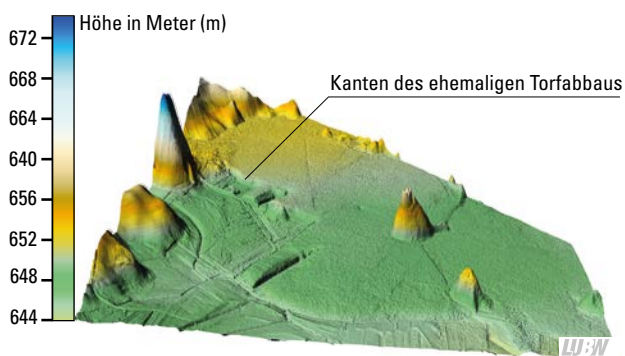


Abb. 4.1-1: Stark überhöhtes Relief des Hochmoorbereichs im Gründlenried-Rötseemoos, von Norden betrachtet. Quelle LUBW; LGL; BKG.

Wasserstände

Die bisherige 7-jährige Pegelmessreihe im intakten Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses zeigt Wasserstände, die im Bereich -20 und +27 Zentimeter (cm) gegenüber der 2014 eingemessenen Geländeoberkante schwanken. Erst ab Wasserständen, die längere Zeit unterhalb von -20 cm liegen, wird von Einschränkungen des Moorwachstums ausgegangen, sodass für das Gründlenried-Rötseemoos durchweg günstige Wasserstände für das Torfmoorwachstum beobachtet werden können. Der historische Torfabbau und die vorhandenen Entwässerungsgräben haben damit zumindest auf den zentralen Hochmoorbereich keinen negativen Einfluss.

Im Bereich des Messpegels neigt der Torfkörper zudem zum Aufschwimmen (auf einem sogenannten Wasserkissen). Dadurch stellt sich für die Moorvegetation ein günstiger Abstand zur Wasseroberfläche ein, der nicht mehr vom Wasserstand, sondern nur noch vom spezifischen Gewicht des auftreibenden Moorkörpers abhängt.

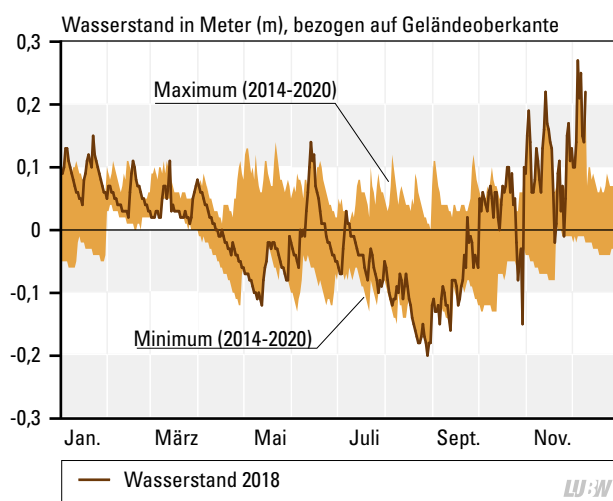


Abb. 4.1-2: Gemessene Wasserstände im intakten Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses 2018 (Spätsommerdürre) sowie die minimalen und maximalen Wasserstände im Messzeitraum 2014 bis 2020. Die Nulllinie entspricht der Geländeoberfläche, die bei der Installation des Pegels im April 2014 eingemessen wurde. Quelle LUBW, Stand 2021.

Tab. 4.1-1: Ausgewählte Kennzahlen der Moore mit Pegelmessungen und modellierten Klimadaten, Messzeitraum 2014 bis 2020.

| | Höhenlage in m ü. NN | Niederschlag in mm/a | Lufttemperatur in °C | Tage mit Wasserstand < 20 cm | Elektrische Leitfähigkeit in $\mu\text{S/cm}$ |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------------------------|---|
| Gründlenried-Rötseemoos | 651 | 1173 | 9,2 | 0,1 % | 35 |
| Hirschenmoor | 879 | 1388 | 7,4 | 17 % | 30 |
| Hornisgrinde | 1158 | 2010 | 6,6 | 36 % | 41 |
| Kohlhüttemoos | 1048 | 1631 | 6,5 | 32 % | 34 |
| Rotmeer | 961 | 1334 | 7,3 | 31 % | 46 |
| Taubenmoos | 982 | 1620 | 6,3 | 41 % | 28 |
| Wildseemoor | 904 | 1433 | 7,0 | 23 % | 50 |
| Wurzacher Ried | 652 | 1040 | 9,0 | 1 % | 36 |

LU:W

Wassertemperatur und Leitfähigkeit

Neben Wasserstandsmessungen werden auch die Wassertemperaturen im Torfkörper aufgezeichnet. Der Temperaturfühler ist im Pegel des Gründlenried-Rötseemooses in 1,7 Meter (m) Tiefe unter der Geländeoberkante eingebaut. Die **Wassertemperaturen** schwanken zwischen 7 und 12,5 Grad Celsius (°C), im jahreszeitlichen Verlauf, den Lufttemperaturen nachlaufend. Wie für Grundwässer in dieser Tiefe üblich, ist der jahreszeitliche Gang stark gedämpft gegenüber dem Gang der Lufttemperaturen. Diese Dämpfung wird verstärkt durch die besondere Isolationswirkung der Torfmoosoberfläche. Die Wärmeleitfähigkeit von Torf in nassem beziehungsweise trockenem Zustand ist deutlich geringer als die eines nassen beziehungsweise trockenen Mineralbodens. Das ist mit ein Grund für die auch unter Temperaturaspekten extremen mikroklimatischen Bedingungen, die in Mooren herrschen. An Strahlungstagen können auf sehr heiße Tage Nächte mit Frost folgen.

Im Mittel stellt sich auch im Wasser des Gründlenried-Rötseemooses die Jahresmitteltemperatur der Umgebung ein. Die Temperaturmessungen am Pegel Gründlenried-Rötseemoos zeigen darüber hinaus einen schwachen Trend einer Temperaturzunahme, der aufgrund der kurzen Zeitreihe jedoch nicht belastbar ist.

Auch der Einfluss der Temperatur ist bei der Frage des günstigen Moorwachstums zu berücksichtigen. Eine Er-

wärmung könnte die Torfmineralisation und damit den Moorabbau und auch die Methanemissionen fördern. Es könnte auch zu nachteiligen Verschiebungen im Artenspektrum kommen. Ob höhere Temperaturen auch das Moorpflanzenwachstum fördern und nachteilige Effekte dadurch ausgeglichen werden können, bleibt noch näher zu erforschen. Mit den Messungen im Rahmen des Moormonitorings werden hierzu wichtige Grundlagendaten zur Verfügung gestellt.

Die **elektrische Leitfähigkeit** kann als Indikator für die im Wasser gelösten Ionen und damit für die Nährstoffgehalte verwendet werden. Für das Gründlenried-Rötseemoos weisen abnehmende Leitfähigkeiten auf eine abnehmende Nährstoffversorgung hin, die im Sinne der Moorerhaltung positiv zu bewerten ist.

Niederschläge weisen in ländlichen Gebieten Leitfähigkeiten um 10 Mikrosiemens pro Zentimeter ($\mu\text{S}/\text{cm}$) auf. Die im Mittel etwa dreifach höheren Leitfähigkeiten am Pegel sind die Folge von Mineralisierungsprozessen, die einerseits die Torfsubstanz betreffen, andererseits die in die Moore eingetragene atmosphärische Staubdeposition (Stickstoffverbindungen, organische und mineralische Substanz wie Bodenpartikel), die im ländlichen Bereich bei etwa 150 Kilogramm pro Hektar und Jahr liegt. Das Auf und Ab der Leitfähigkeiten im jahreszeitlichen Verlauf resultiert aus den Wasserstands- und Temperaturschwankungen.

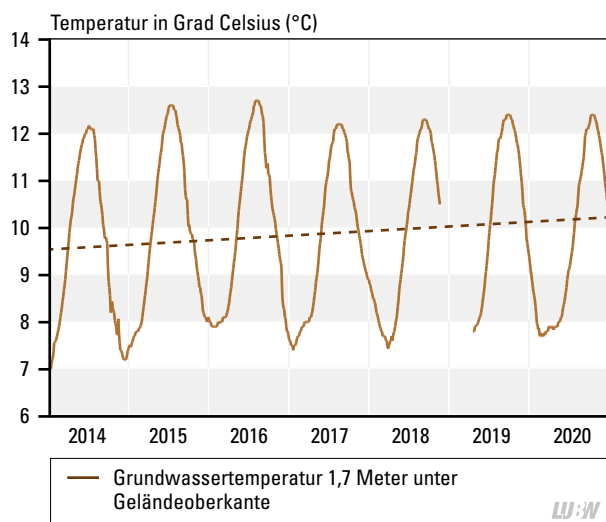


Abb. 4.1-3: Temperaturverlauf 2014 bis 2020 in einer Messtiefe von 1,7 Meter im Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses mit Trendlinie (Datenlücke und Phasenlage unkorrigiert). Quelle LUBW, Stand 2021.

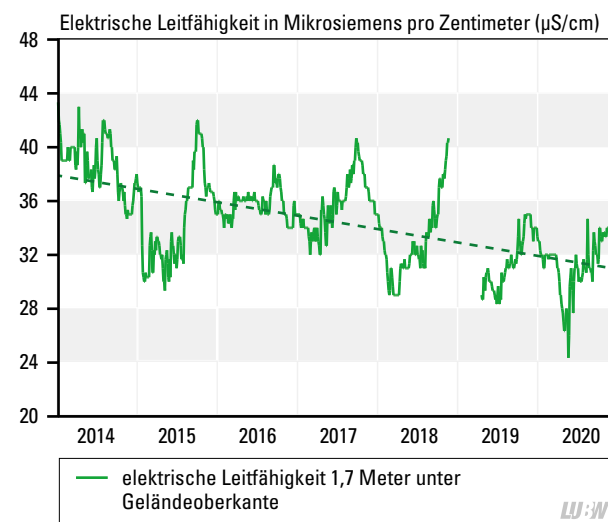


Abb. 4.1-4: Elektrische Leitfähigkeit des Grundwassers in 1,7 Meter Tiefe im Hochmoorbereich des Gründlenried-Rötseemooses. Quelle LUBW, Stand 2021.

4.2 Dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dl-PCB) in Böden

Was sind dl-PCB?

DL-PCB (dioxine-like PCB, deutsch: dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle) sind Vertreter der Stoffgruppe der PCB (polychlorierte Biphenyle), die eine dioxintypische Wirkung aufweisen. Von den 209 möglichen PCB-Kongeneren – also chemischen Verbindungen mit gleicher Grundstruktur aber unterschiedlichem Chlorierungsgrad – sind 12 Kongenere den dl-PCB zuzuordnen.

PCB wurden seit den 1930er-Jahren bis zu ihrem Verbot 1989 industriell in großen Mengen hergestellt und gelangten so in die Umwelt. Als chemisch extrem stabile und nicht brennbare Öle fanden sie vielerlei Verwendung, beispielsweise in Kondensatoren, Transformatoren, als Hydraulikflüssigkeiten, Flammenschutz und Weichmacher in Kunststoffen, Lacken und Fugenmassen. PCB sind persistent, bioakkumulierend und toxisch. Trotz Verbot sind sie deshalb nach wie vor in der Umwelt vorhanden. Die maßgeblichen Senken sind Sedimente und Böden, in die die PCB mengenmäßig hauptsächlich vor dem Verbot 1989 eingetragen wurden. Aber selbst heute noch werden PCB auf niedrigerem Niveau in die Umwelt eingetragen. Quellen sind Altlasten, noch bestehende Bausubstanz wie Fugenmassen, Anstriche oder Deckenplatten sowie Altgeräte, aus denen PCB vor allem bei unsachgemäßer Entsorgung freigesetzt werden können. Aufgrund ihrer Langlebigkeit gelangen PCB aus den genannten Pools noch immer selbst bis in die menschliche Nahrungskette. So tragen dl-PCB regelmäßig zu Überschreitungen der EU-Höchstgehalte für Dioxine und dl-PCB in Lebens- und Futtermitteln bei. Dies aufgrund ihrer Eigenschaft, sich in Fetten anzureichern, insbesondere in der Leber von Lämmern, Schafen oder Wild und im Muskelfleisch fettreicher, wild lebender Flussfische, in Einzelfällen aber auch in fettreichem Rindfleisch oder in Eigelb.

PCB und dl-PCB werden als „Schadstoffe im Fokus“ von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg in Sondererhebungen untersucht.

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > Wie verändern sich unsere Böden? > **Schadstoffe im Fokus**

Toxizität von dl-PCB

Einige PCB ähneln in ihrer Form den Dioxinen. Sie haben dadurch eine dioxintypische Wirkung (unter anderem fruchtschädigend, krebsfördernd) und werden eben deshalb als dl-PCB bezeichnet.

Ihre Wirkungsstärke wird durch Dioxin-Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) beschrieben. Für 3,3',4,4',5-Pentachlorbiphenyl (3,3',4,4',5-PeCB; dl-PCB 126) wurde ein TEF von 0,1 festgestellt, es wirkt also zehnfach schwächer als das 2,3,7,8-TCDD (Seveso-Dioxin) mit der höchsten Toxizität. Für Stoffgemische ist die Gesamtdioxinwirkung additiv. Sie wird als Summe aller Produkte aus den Gehalten der Einzelkongenere und der zugehörigen TEF berechnet (Dioxintoxizitätsäquivalent-Gehalt TEQ). Dabei können Einzelgehalte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze (BG) gleich null (TEQ-A), gleich BG (TEQ-B) oder auf BG/2 (TEQ-C) gesetzt werden.

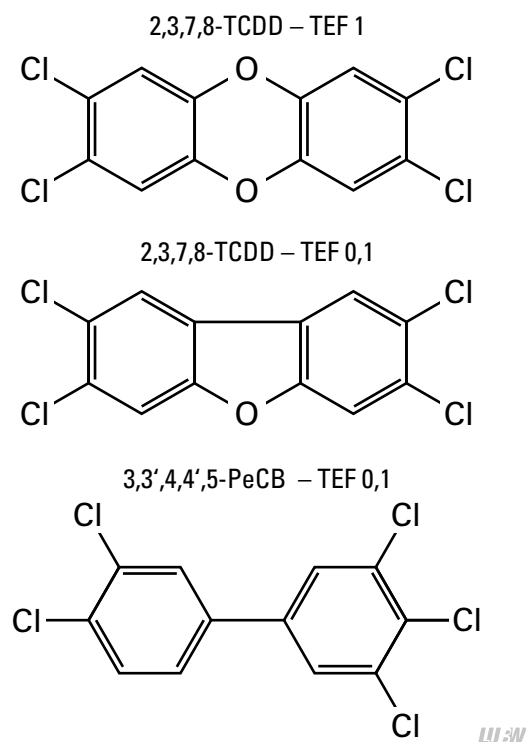


Abb. 4.2-1: Strukturformeln der giftigsten Vertreter aus den Stoffgruppen Dioxine (oben), Furane (Mitte) und PCB (unten) mit ihren Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF nach WHO 2005). Quelle LUBW.

Gesetzliche Regelungen für dl-PCB

Im Bodenschutzrecht gibt es für dl-PCB bislang keine gesetzliche Regelung; daher liegen nur wenige Daten von Bodenuntersuchungen vor. In der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) (1999) ist die gesamte Stoffgruppe der 209 möglichen PCB anhand der Gesamtsumme von sechs sogenannten Indikator-PCB (PCB₆) geregelt. Diese zählen nicht zu den dl-PCB. Für Dioxine und Furane sind in der BBodSchV Maßnahmenwerte für den Wirkungspfad Boden-Mensch festgelegt, des Weiteren in einer Empfehlung der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE sogenannte Richtwerte, jeweils angegeben in I-TEQ, nach einem älteren, vergleichbaren Bewertungssystem (Internationale Toxizitätsäquivalente nach NATO 1988).

Mit einer zusätzlichen Regelung der dl-PCB wäre es möglich, additive Effekte aus Dioxinen plus dl-PCB bei der typischen Dioxinwirkung zu berücksichtigen. Dieser Weg wurde im Futter- und Lebensmittelbereich beschränkt. Für Dioxine in Futter- und Lebensmitteln gibt es seit 2002, für dl-PCB seit 2006 EU-weit geltende Höchstwerte (Richtlinie 2006/13/EG, Verordnung (EG) Nr. 1881/2006).

Tab. 4.2-1: Maßnahmenwerte für Dioxine/Furane nach BBodSchV (Wirkungspfad Boden-Mensch) sowie Richtwerte für Dioxine/Furane nach der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE (landwirtschaftlich, gärtnerisch genutzte Böden).

| | Maßnahmenwerte in Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ |
|---------------------------|---|
| Kinderspielflächen | 100 |
| Wohngebiete | 1000 |
| Park- und Freizeitanlagen | 1000 |
| Industrie und Gewerbe | 10000 |

| | Richtwerte in Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ |
|--|---|
| jegliche Nutzung der Böden möglich | Zielwert < 5 |
| Prüfaufträge und Handlungsempfehlungen im Sinne der Vorsorge | 5 bis 40 |
| Einschränkung der Nutzung, uneingeschränkte Nutzung bei minimalem Dioxintransfer | ab 40 |

I-TEQ: Internationale Toxizitätsäquivalente

LUBW

dl-PCB-Verbreitung in Böden

Um die Verbreitung der dl-PCB in Böden Baden-Württembergs näher zu untersuchen, wurden von der LUBW in den letzten Jahren Untersuchungskampagnen in unterschiedlichen Expositionskulissen durchgeführt. Es zeigen sich tendenziell zunehmende Toxizitätsäquivalent-Gehalte (TEQ-Gehalte) in folgender Reihenfolge:

- Hintergrundbereich (ohne bekannte spezifische Einträge),
- Böden mit Klärschlammaufbringung,
- Böden mit möglichem Eintrag aufgrund der Nähe zu potenziellen Emittenten,
- Böden mit Überschwemmungseinfluss.

Damit kann das Abwasser, vermittelt über Sedimenttransport und Klärschlamm, als eine maßgebliche Quelle für PCB-Einträge in Böden angenommen werden. Aber auch die Nähe von Emittenten wie Schredderanlagen der Abfallaufbereitung oder Abbruchgebäuden kann zumindest lokal über den Luftpfad zu erhöhten Einträgen in Böden führen. Für weitere Beurteilungen wurden aus Daten des Bodenmonitoringprogramms der LUBW Hintergrundwerte für die drei Hauptnutzungsklassen Wald, Acker und Grünland für Baden-Württemberg abgeleitet [LABO 2017].

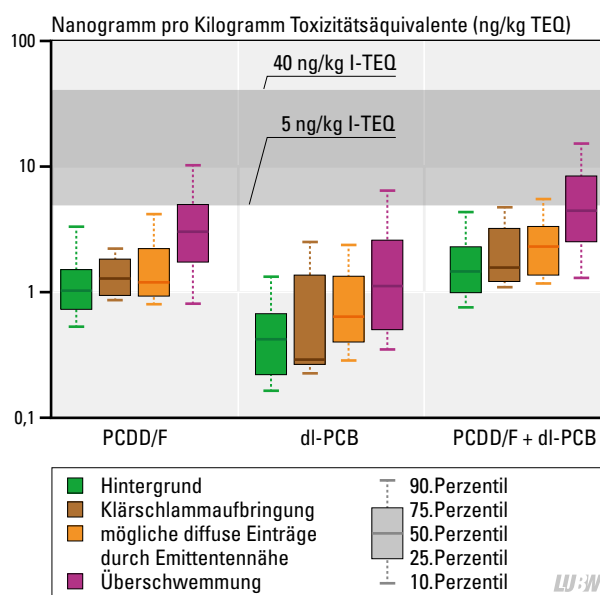


Abb. 4.2-2: Dioxin-Toxizitätsäquivalente-B für Dioxine/Furane, dl-PCB und deren Summe in den vier betrachteten Expositionskulissen (nur oberster Mineralbodenhorizont, alle Nutzungen). Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

Gemeinsame Bewertung von dl-PCB und Dioxinen/Furanen

Würden die Toxizitätsäquivalente (TEQ) der dl-PCB zusätzlich zu denen der Dioxine/Furane bei der Bewertung baden-württembergischer Böden berücksichtigt, ergäbe sich lediglich bei den Standorten mit Überschwemmungseinfluss stellenweise eine ungünstigere Einstufung. Der Richtwert von 5 Nanogramm pro Kilogramm I-TEQ für Dioxine/Furane nach der Bund/Länder-Arbeitsgruppe DIOXINE, unterhalb dessen von keinerlei Gefährdung auszugehen ist, würde dann in etwa 40 % der Überschwemmungsflächen überschritten werden.

Betrachtet man den Beitrag der einzelnen Dioxin- und dl-PCB-Kongenere zur Summe der Toxizitätsäquivalente, so ist dieser in nahezu allen Proben bei dl-PCB 126 am größten. Von den weiteren dl-PCB leistet lediglich dl-PCB 169 einen geringen Beitrag, alle anderen sind bedeutungslos. Der Beitrag von dl-PCB 126 schwankt dabei stark, woraus sich ein eher loser Zusammenhang zwischen Vorkommen von dl-PCB und Dioxinen in den Böden ergibt. Dies zeigt, dass sich die Eintragspfade für beide Stoffgruppen lokal unterscheiden können.

Zusammenhang zwischen PCB₆ und dl-PCB TEQ

Zwischen der Gehaltssumme PCB₆ und den dl-PCB-bedingten Toxizitätsäquivalenten (TEQ) in Böden ist nur ein schwacher Zusammenhang feststellbar. Dennoch erlaubt er die Übertragung von Trends und Entwicklungen, die auf viel breiterer Untersuchungsbasis bei den PCB₆ festgestellt werden konnten. Hier erweisen sich die landwirtschaftlichen Böden als die mit den tendenziell höchsten PCB-Stoffvorräten [LUBW 2008]. Eine Verbesserung des heutigen Eintrags über den Luftpfad zeigt sich an deutlich abnehmenden PCB-Gehalten in der Waldhumusaufgabe unter forstlicher Nutzung [LUBW 2019].

Weitere Ergebnisse der Bodenuntersuchungen und Details zu den Untersuchungsmethoden unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Angebote >
 Publikationen >
dl-PCB in den Böden von Baden-Württemberg

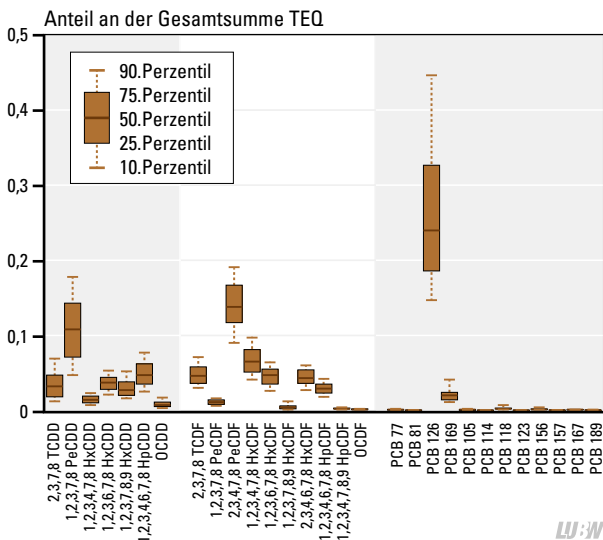


Abb. 4.2-3: Beitrag der Einzelkongenere zu der TEQ-B-Summe (WHO 2008) aus Dioxinen/Furanen und aus dl-PCB. Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

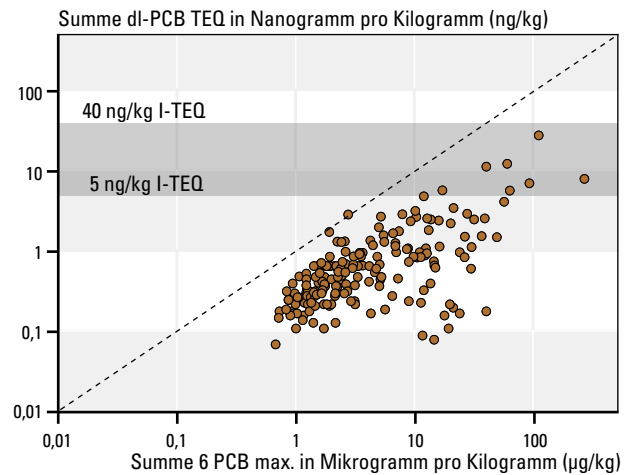


Abb. 4.2-4: Korrelation zwischen PCB₆ und der Summe der dl-PCB-TEQ-B (nur oberster Mineralbodenhorizont, alle Nutzungen). Probenentnahmen 2009 bis 2016. Quelle LUBW.

4.3 Per- und polyfluorierte Chemikalien im Boden

Was sind PFAS?

Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) sind organische Verbindungen, die ausschließlich synthetisch hergestellt und inzwischen weltweit in allen Umweltkompartimenten gefunden werden. Synonym werden auch die Begriffe PFC (per- und polyfluorierte Chemikalien) und PFT (perfluorierte Tenside) verwendet. Chemisch handelt es sich um Verbindungen, bei denen die an Kohlenstoffketten gebundenen Wasserstoffatome entweder vollständig (perfluoriert) oder teilweise (polyfluoriert) durch Fluoratome ersetzt sind. Man unterscheidet zwischen kurz- und langkettigen PFAS und nach den funktionellen Gruppen, beispielsweise in Perfluorcarbonsäuren (PFCA) oder Perfluorsulfonsäuren (PFSA).

Aufgrund ihrer thermischen und chemischen Stabilität sowie wasser-, fett- und schmutzabweisenden Eigenschaften wurden beziehungsweise werden PFAS-Verbindungen in der Industrie, in Löschschäumen und in einer Vielzahl an Verbraucherprodukten, beispielsweise antihafbeschichte-

tem Kochgeschirr, in der Textil- und Papierindustrie sowie in Imprägniersprays und weiteren Produkten, verwendet.

Viele PFAS sind als bioakkumulierend, persistent und toxisch klassifiziert und können sich nicht nur in Böden anreichern, sondern durch die Anreicherung in Pflanzen und Tieren über die Nahrungskette auch den Menschen erreichen.

Seit 2015 werden auch nicht spezifisch belastete Böden in Baden-Württemberg auf PFAS untersucht, also Böden, in denen diese Stoffe nicht a priori erwartet werden. Neben verschiedenen Nutzungsarten der Standorte (Acker, Grünland und Wald) wurden unterschiedliche Bodenhorizonte und zur Beurteilung der zeitlichen Entwicklung einige bereits in den Jahren 1968 bis Mitte 1970er-Jahre entnommene Bodenproben untersucht. Zusätzlich werden methodische Fragestellungen näher betrachtet. Bisher liegen Untersuchungsergebnisse von insgesamt 53 Standorten vor.

Tab. 4.3-1: Analytierte lang- und kurzketzige Perfluorcarbonsäuren (PFCA) und Perfluorsulfonsäuren (PFSA) nach OECD¹⁾.

| Perfluorcarbonsäuren | | Perfluorsulfonsäuren | |
|------------------------------------|--|-----------------------------------|--|
| kurzkettig | langkettig | kurzkettig | langkettig |
| Perfluorbutansäure (PFBA) | Perfluorooctansäure (PFOA) | Perfluorbutansulfonsäure (PFBS) | Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS) |
| Perfluorpentansäure (PFPeA) | Perfluorononansäure (PFNA) | Perfluorpentansulfonsäure (PFPeS) | Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS) |
| Perfluorhexansäure (PFHxA) | Perfluordecansäure (PFDA) | | Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) |
| Perfluorheptansäure (PFHpA) | Perfluorundecansäure (PFUnA) | | Perfluordecansulfonsäure (PFDS) |
| 7H-Dodecafluorheptansäure (HPFHpA) | Perfluordodecansäure (PFDoA) | | Perfluorooctansulfonsäureamid (PFOSA) |
| | 2H,2H-Perfluordecansäure (H2PFDA) | | 1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS) |
| | 2H,2H,3H,3H-Perfluorundecansäure (H4PFUnA) | | |

1) Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung.

PFAS-Gehalte im Boden

Die Untersuchungen der LUBW zu Per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) in nicht spezifisch belasteten Böden des landesweiten Messnetzes zur Bodendauerbeobachtung (sogenannten „Hintergrundböden“) belegen durchgängig analytisch bestimmbare geringe PFAS-Gehalte. Dabei sind im Feststoff im Wesentlichen langkettige Carbon- sowie auch langkettige Sulfonsäuren um die Bestimmungsgrenze von 1 Mikrogramm pro Kilogramm nachweisbar. In Waldböden und deren organischen Auflagen werden etwas höhere Gehalte nachgewiesen als in Acker- und Grünlandböden.

In wässrigen Bodeneluataten können PFAS unterschiedlicher Kettenlängen in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden. An den nicht spezifisch PFAS-belasteten Standorten der Bodendauerbeobachtung werden in der Regel in Oberböden PFAS-Summengehalte < 0,5 Mikrogramm pro Liter (µg/l) gemessen. Die unteren Bodenhorizonte weisen meist geringere Gehalte auf. In solchen „Hintergrundböden“ dominieren kurzkettige Perfluorcarbonsäuren (PFCA), häufig auch Perfluoroctansäure (PFOA) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS).

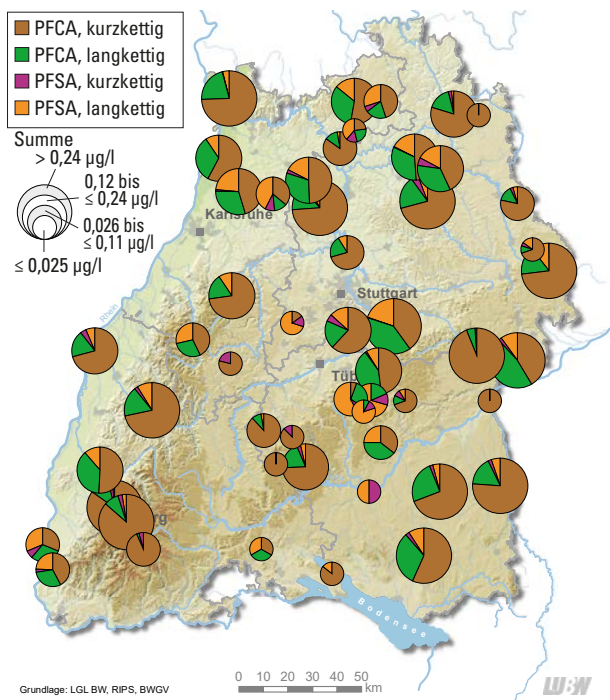


Abb. 4.3-1: Übersichtskarte der auf PFAS untersuchten Standorte des landesweiten Messnetzes zur Bodendauerbeobachtung, unterteilt in kurz- und langkettige Carbon- und Sulfonsäuren (Gehalte im wässrigen Bodeneluat in µg/l). Messzeitraum 2015 bis 2019, Quelle LUBW.

Zum Teil lassen sich weitere Perfluorsulfonsäure (PFSA)-Verbindungen analytisch bestimmen. In nicht spezifisch belasteten Böden in Baden-Württemberg sind PFAS ubiquitär nachweisbar und lassen sich landesweit aus wässrigen Bodeneluataten in niedrigen Konzentrationen bestimmen. Als naheliegende Ursache wird ein ubiquitärer Eintrag über den Luftpfad angenommen. Darüber hinaus zeigen Erkenntnisse aus den Untersuchungskampagnen, dass unterschiedliche Analyse- und Probenaufbereitungsmethoden einen Einfluss auf das Ergebnis bei der Bestimmung der PFAS-Gehalte in Böden haben können [LUBW 2019b; LUBW 2021].

Alle Ergebnisse der PFAS-Untersuchungen und Details zu den Untersuchungsmethoden unter:

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Themen > Boden > Wie verändern sich unsere Böden > Schadstoffe im Fokus

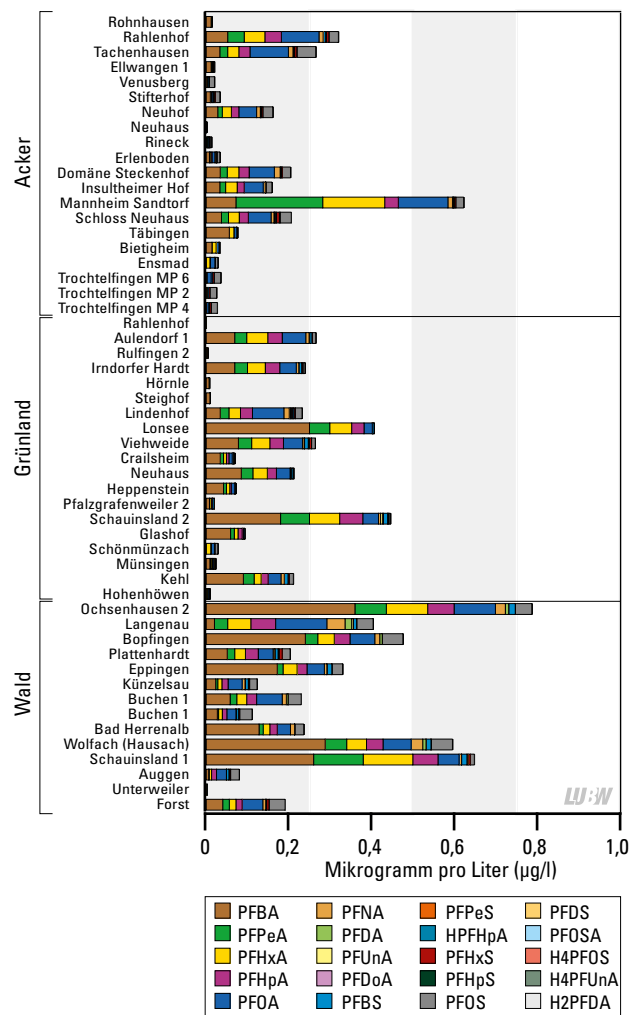


Abb. 4.3-2: PFAS-Einzelsubstanzen an den untersuchten BDF-Standorten (Gehalte im wässrigen Bodeneluat). Messzeitraum 2015 bis 2019. Quelle LUBW.

4.4 Altlasten

Erfassung

Der Begriff „Altlasten“ ist im Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) rechtlich definiert und beschreibt ehemalige Müllhalden oder Müllkippen (Altablagerungen) sowie frühere industriell oder gewerblich genutzte Grundstücke (Altstandorte), auf denen mit umweltgefährdenden Stoffen umgegangen wurde und von denen gegenwärtig Gefahren für den Menschen oder die Umwelt ausgehen können.

Die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden der Stadtkreise und Landratsämter erfassen im Rahmen der systematischen Altlastenbearbeitung flurstücksscharf alle Flächen im Bodenschutz- und Altlastenkataster (BAK), bei denen aufgrund der Aktenlage, der Recherche oder sonstiger Untersuchungen Anhaltspunkte sowie Belege für das Vorliegen einer Altlast bestehen. Bis Ende 2019 konnten insgesamt 105 662 Flächen erfasst werden, die den Kategorien altlastverdächtig, Altlast, ausgeschiedene Fälle (A-Fälle) sowie sonstige Flächen ohne Altlastverdacht (B-Fälle, belassen) zugeordnet werden. Bei Letzteren handelt es sich um Flächen, die derzeit ohne akuten Gefahrenbezug im Kataster belassen werden können, jedoch bei einer zukünftigen Umnutzung oder Expositionsänderung (neue Gefahrenlage) erneut bewertet werden müssen. Auch bei neu geplanten Baumaßnahmen müssen hinsichtlich der Anforderungen an eine sachgerechte Entsorgung von belastetem Aushubmaterial (Stichwort „Entsorgungsrelevanz“) diese Flächen (B-Fälle) erneut überprüft werden.

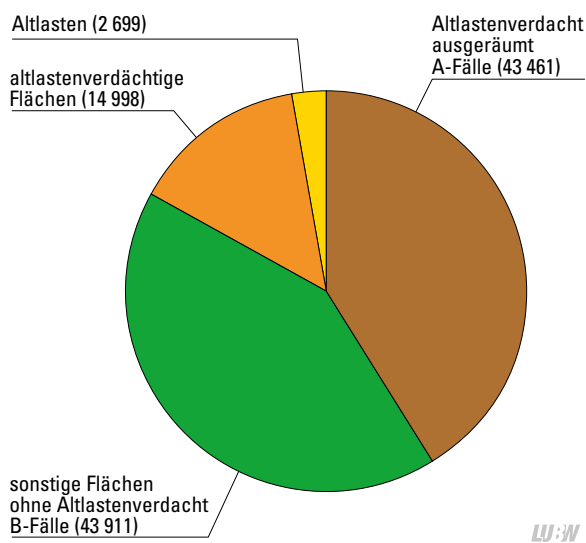


Abb. 4.4-1: Seit Beginn der Altlastenbearbeitung bis Ende 2019 erfasste Flächen. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Altlastverdächtige Flächen

Im Jahr 2019 waren 14 998 altlastenverdächtige Flächen registriert. Altlastverdächtige Altablagerungen wie ehemalige Müllhalden oder Müllkippen machen 2019 noch 11 % (1 584 Flächen) der zu bearbeitenden Fälle aus. Der Großteil der altlastverdächtigen Flächen mit 89 % (13 414) sind Altstandorte, also frühere industriell oder gewerblich genutzte Grundstücke. Abgelagerte oder in den Boden versickerte umweltgefährdende Stoffe können die Umweltmedien Wasser, Pflanzen, Tiere oder den Menschen direkt gefährden.

Durch die kontinuierlich fortgeführte Erfassung von stillgelegten Betriebsflächen steigt die Zahl der altlastverdächtigen Flächen jährlich an. Der Einsatz von neu entwickelten Schadstoffgruppen wie Per- und polyfluorierten Alkylsubstanzen (PFAS) muss seit einigen Jahren mitberücksichtigt werden, wodurch weitere altlastverdächtige Fälle hinzukommen. Aktuell sind 1 292 Flächen mit dem Verdacht oder Nachweis auf PFAS erfasst. So steigen die jährlichen Zahlen an Altstandorten in den letzten 10 Jahren immer noch kontinuierlich an. Die hohen Zahlen belegen, dass ein Ende der Altlastenbearbeitung in absehbarer Zeit nicht in Sicht ist.

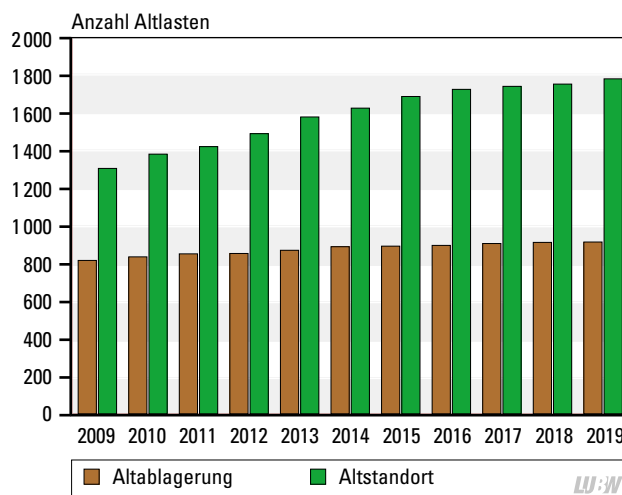


Abb. 4.4-2: Entwicklung der Altlasten zwischen 2009 und 2019. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Gefährdungsabschätzung

Durch Altlasten können die Schutzgüter Boden, Grundwasser, Oberflächengewässer sowie Flora und Fauna und Mensch gefährdet sein. In den überwiegenden Fällen ist in Baden-Württemberg das Grundwasser durch Einwirkungen aus Altlasten betroffen.

Das Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG) unterteilt die Gefährdungsabschätzung in die orientierende Untersuchung und die Detailuntersuchung. Für den Großteil der erfassten altlastverdächtigen Flächen ist nur eine orientierende Untersuchung erforderlich. Sie dient der Überprüfung des Anfangsverdachts. Erst wenn der Verdacht konkrete Anhaltspunkte liefert, folgen vertiefte Untersuchungen zum Nachweis der Gefährdung der Schutzgüter. Mit der Detailuntersuchung sind dann häufig die technischen Untersuchungen abgeschlossen.

Bis Ende 2019 haben die unteren Bodenschutz- und Altlastenbehörden bei 21 272 Fällen, davon 15 946 Altstandorte und 5 326 Altablagerungen, die Gefährdungsabschätzung abgeschlossen. 6 237 Fälle befanden sich in der orientierenden Untersuchung, 501 in der Detailuntersuchung. Alle weiteren Schritte – wie Sanierungsuntersuchung und Sanierungsplanung – zielen bereits in Richtung Sanierung.

Sanierung

Flächen, bei denen der Gefahrenverdacht im Zuge der technischen Untersuchungen (orientierende Untersuchung und Detailuntersuchung) zur Gefährdungsabschätzung ausgeräumt werden konnte, sind in der Regel abschließend bearbeitet. Eine Sanierung wurde als nicht erforderlich angesehen. Unter Umständen sind jedoch Kontrollmaßnahmen wie ein Grundwassermonitoring angezeigt, um das Ausbreitungsverhalten bestimmter Schadstoffe und Restbelastungen im Blick zu behalten und eine Sanierung zu einem späteren Zeitpunkt gegebenenfalls einzufordern.

Erst nach einer Sanierungsuntersuchung wird entschieden, ob, wie und wie viel saniert werden muss. Bis Ende 2019 konnten 3 992 Sanierungen abgeschlossen werden, 529 Altlasten befinden sich derzeit in der Phase der Sanierung. Etliche Sanierungsmaßnahmen können aus technischen Gründen innerhalb kurzer Zeit nicht abgeschlossen werden. Gerade die Laufzeiten von hydraulischen Maßnahmen zur Grundwassersanierung können sich über viele Jahre oder Jahrzehnte erstrecken.

Im Vergleich der altlastverdächtigen Flächen zu sanierungsbedürftigen Altlasten zeigt sich, dass die Anzahl der Altlasten nur einen Bruchteil ausmacht. Seit einigen Jahren übersteigt die Zahl der abgeschlossenen Sanierungen die Zahl der festgestellten Altlasten.

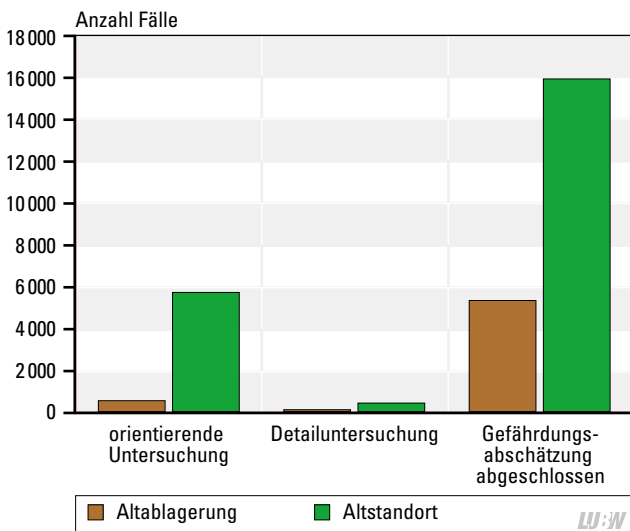


Abb. 4.4-3: Mit Handlungsbedarf „orientierende Untersuchung“, „Detailuntersuchung“ oder „Gefährdungsabschätzung abgeschlossen“ bewertete Flächen. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

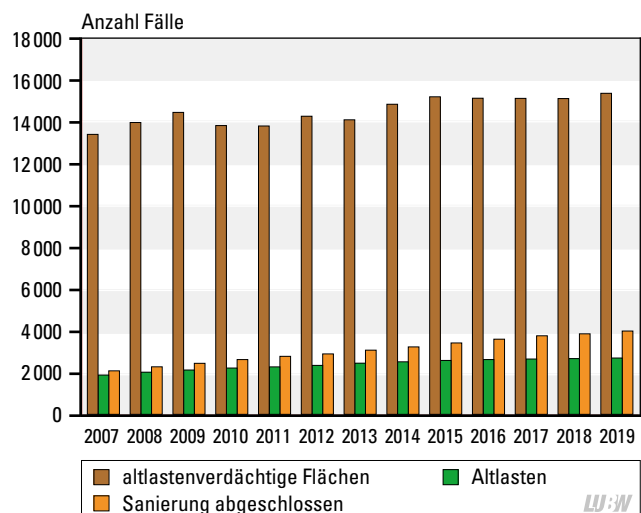


Abb. 4.4-4: Entwicklung der Anzahl der altlastverdächtigen Flächen, Altlasten und sanierten Flächen zwischen 2007 und 2019. Quelle LUBW, Stand Dez. 2019.

Erosionsmonitoring der LUBW

Trotz Fortschritten durch zunehmende Anwendung der konservierenden Bodenbearbeitung verursacht Bodenerosion in Baden-Württemberg immer noch bedeutende Schäden, insbesondere auf den stark erosionsgefährdeten Ackerböden in unseren Lössgebieten (Lössboden ist Boden des Jahres 2021). Mit dem abgetragenen Boden gehen Bodenfruchtbarkeit und Wasserspeicherfähigkeit unwiederbringlich verloren, denn die Bildung neuen Bodens verläuft extrem langsam (Faustzahl: maximal 1 Zentimeter in 100 Jahren). Wo der abgetragene Boden sich ablagert, entstehen zusätzliche Schäden an Gewässerökologie und Infrastruktur.

Zur Erosionsvermeidung kooperiert die LUBW mit der Landwirtschaftsverwaltung. Gemeinsam wurde ein Merkblatt zur Gefahrenabwehr bei Bodenerosion erstellt, und es werden Fachfortbildungen durchgeführt. Die Öffentlichkeit wird unter anderem durch Blog-Beiträge informiert.

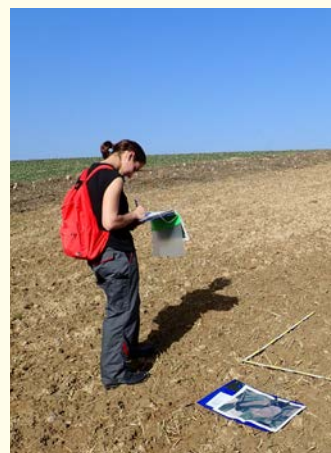
<https://pd.lubw.de/90516>

www.lubw.baden-wuerttemberg.de > Angebote > Blog > Bodenerosion ist weitgehend vermeidbar

Für den Erosionsschutz in Baden-Württemberg sind darüber hinaus sehr detaillierte Informationen über das tatsächliche Erosionsgeschehen im Land erforderlich. Dazu trägt das Erosionsmonitoring der LUBW wesentlich bei. Die LUBW betreibt das Erosionsmonitoring im Rahmen des Bodendauerbeobachtungsprogramms, für das sie nach dem Gesetz zuständig ist.

Methoden des Monitorings

- Monitoringgebiete: jeweils etwa 100 Hektar Ackerflächen in den Lössgebieten Kraichgau und Markgräflerland.
- Erosionserscheinungen im Gelände wie flächenhafte Abträge, Rillen, Rinnen und Gräben, aber auch Bodenablagerungen werden durch Erosionskartierungen quantifiziert und eingemessen.
- Sämtliche Einflussfaktoren werden räumlich und zeitlich hochaufgelöst dokumentiert.
- Klimamessstation zur Messung der Klimaeinflüsse.
- Bewirtschaftungseinflüsse werden durch Kartierung erfasst und über regelmäßige Befragungen der Bewirtschafter erhoben.
- Sozioökonomische und förderpolitische Einflussfaktoren werden berücksichtigt.
- Datenmanagement und -auswertung in Zusammenarbeit mit der Universität Hannover.
- Langfristiger Betrieb, da Bodenerosion zeitlich sehr diskontinuierlich auftritt.



Erosionsformen wie dieses Rinnen- und Akkumulationssystem (oben) werden bei der Kartierung im Gelände erfasst. Ebenso wird die Bodenbedeckung dokumentiert (unten). Fotos H.Hohl/LUBW.

