



Signale aus der Natur

 Von der Biologischen zur Medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg



Baden-Württemberg

HERAUSGEBER	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, www.lubw.baden-wuerttemberg.de
REDAKTION	Ruth Baumann, Dr. Harald Gebhardt, Dr. Kai-Achim Höpker, Dr. Michael Marten
BEARBEITUNG	Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel: Ruth Baumann, Dagmar Berberich, Dr. Karin Deventer (bis 2005), Dr. Harald Gebhardt (Stv. Referatsleitung), Dr. Kai-Achim Höpker (Referatsleitung), Dr. Michael Marten, Thomas Mayer, Dr. Andreas Prüß, Kay Rahtkens, Daniel Schulz-Engler, Dr. Theo von der Trenck, Biologisches Labor: Thi-Tam Dao Trong, Elke Dresel, Sandra Dezenter, Susanne Eckert, Katja Kramer, Lothar Kitt (bis 2011), Dr. Uwe Matthias (Laborleitung), Gudrun Meyer-Jetter, Dr. Irene Tesseraux, Dagmar Volk-Latchin, Jutta Wolf-Walter, Dr. Jürgen Zipperle (Laborleitung bis 2010), Ursula Zipf (bis 2012)
TEXTBEARBEITUNG UND GESTALTUNG	ÖkoMedia GmbH / Ökonsult GbR
BEZUG	Diese Broschüre ist gedruckt oder als Download im pdf-Format kostenlos erhältlich bei der LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Postfach 100163, 76231 Karlsruhe unter: http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/6638
ISBN	978-3-88251-360-8
STAND	Januar 2013
BILDNACHWEIS	Titelbild: LUBW/Th. Weiss (pixelio.de) S. 04_1: S. Springer (pixelio.de); S. 05_2: M. Witschel, _3: S. Schi (pixelio.de); S. 08_2: R. Lodzig; S. 09_1: J. Winkler, _2: W. Thielicke; S. 10_1: W. Hennegriff, _2: S. Springer (pixelio.de), _3: W. Hennegriff; S. 11_1: J. Gathany, _2: Wikipedia; S. 13_1: M. Hassler, _2: H. Zell; S. 14_3 M. Marten; S. 15_1 M. Marten; S. 16_2 und _3 M. Marten; S. 18_3: shutterstock; S. 19_1: LK Böblingen, _2: LK Böblingen; S. 20_1: NJ. Stapper, _2: NJ. Stapper, _3: NJ. Stapper; S. 21_1: NJ. Stapper, _2: NJ. Stapper; S. 22_1: shutterstock, _2: E. Spiegelhalter STG; S. 24_1: shutterstock; S. 28_1: D. Russell, _3: D. Russell; S. 30_2: O. Ehrmann; S. 31_1: O. Ehrmann; S. 32_3: H. Heuer-Klug, S. 34_3: shutterstock; S. 36_2: M. Witschel, _3: S. Schi (pixelio.de); S. 37_2: M. Witschel; S. 38_1: M. Witschel, _3: ÖkoMedia; S. 40_1: R. Lodzig, _2: B. Zoller, _3: B. Zoller; S. 41_2: shutterstock; S. 46_1: Th. von der Trenck; _2: BASF, _3: M. Ströck; S. 47_1: W. Thielicke, _2: shutterstock; S. 48_1: R. Sturm (pixelio.de), _2: BMU, _3: shutterstock; S. 49_2: J. Winkler; restliche Bilder: LUBW.
DRUCK	Gedruckt: Klimaneutral auf Recyclingpapier

Nachdruck – auch auszugsweise – ist nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.



VORWORT

Mit den „Signalen aus der Natur“ stellt die LUBW ausgewählte Ergebnisse aus nahezu drei Dekaden Tätigkeit der „Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB)“ vor. Hervorgegangen aus dem früheren „Immissionsökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg“ untersuchen wir heute medienübergreifend verschiedenartige Veränderungen in der Umwelt. Beispielsweise informiert uns die landesweite Dauerbeobachtung von Tieren und Pflanzen – sogenannten Bioindikatoren – auf Wald- und Grünlandflächen und an Gewässerstellen über die Belastung und Belastbarkeit von Ökosystemen. Die MUB liefert uns wichtige Erkenntnisse zu Verbleib und Auswirkungen von chemischen Stoffen. Auch zentrale zukunftsorientierte Fragestellungen, wie die nach den Folgen des Klimawandels oder den Auswirkungen des Einsatzes neuer Technologien, werden bearbeitet. Die MUB ist damit ein wichtiger Baustein unserer Aufgabe, das Lebensumfeld der Menschen in Baden-Württemberg zu untersuchen und zu bewerten. Weiß man denn nicht schon genug, müssen wir immer weiter die Umwelt beobachten? Ganz ohne Zweifel resultieren aus der Umweltschutzpolitik der letzten Jahrzehnte bemerkenswerte Erfolge, die sich auch in den Untersuchungsergebnissen der MUB widerspiegeln. Gleichwohl erfährt die Umwelt weitere Veränderungen. So werden fast täglich neue Stoffe synthetisiert und in die Umwelt entlassen, deren Umweltwirkungen im Labor nur begrenzt abgeschätzt werden können. Viele Stoffe akkumulieren und wirken über lange Zeiträume in der Umwelt. Hier müssen wir weiter beobachten. Die Bedeutung von Langzeituntersuchungen wird nicht zuletzt beim Klimawandel deutlich. Anhand der Langzeitmessungen

der Meteorologen wissen wir, dass sich das Klima ändert. Aber erst durch die Dauerbeobachtungen der MUB erkennen wir, dass die Natur bei uns im Land auf die Klimaveränderungen bereits reagiert.

Die Kombination und Verknüpfung von biologischen und chemisch-physikalischen Ergebnissen der einzelnen Messnetze der LUBW ergibt eine interdisziplinär ausgerichtete, medienübergreifende Datenauswertung, mit der zusätzliche Informationen und Bewertungen gewonnen werden. Mit der MUB wollen wir die Entwicklung, Belastung und Veränderung der Umwelt als Ganzes kontinuierlich erfassen.

Um es kurz zu sagen, wir müssen wissen, wie sich Umwelt und Natur entwickeln. Nur dann können wir die Landesregierung über die Umweltsituation fachlich beraten und die Öffentlichkeit umfassend informieren.

In den "Signalen aus der Natur" stellen wir eine Auswahl an Ergebnissen aus der MUB vor. Sie soll die große Bandbreite und vielseitige Anwendbarkeit der MUB als einem modernen Instrument der Umweltüberwachung in Baden-Württemberg zeigen.

Ganz bewusst haben wir uns dabei kurz gefasst und die Ergebnisse auf den Punkt gebracht. Wir hoffen, Ihnen damit den Einstieg in die komplexen Themen zu erleichtern. Weitergehende Informationen mit umfangreicher Darstellung der Untersuchungen finden Sie im Internetangebot der LUBW (www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2884/).

Margareta Barth

Präsidentin der Landesanstalt für
Umwelt, Messungen und Naturschutz
Baden-Württemberg



VORWORT

Margareta Barth, Präsidentin der LUBW 3

ZUSAMMENFASSUNG

Ergebnisse auf einen Blick 6

EINFÜHRUNG

Die Umwelt unter der Lupe 8

KLIMA

Klimaveränderung wandelt Umwelt und Natur im Land 10

Blütenpflanzen reagieren auf den Klimawandel 12

Fliehen Wassertiere vor zunehmender Wärme? 14

WASSER

Alles im Fluss: Ausbreitung gebietsfremder Wassertiere 16

Teeröle im Grundwasser jetzt besser zu bewerten 18

LUFT

Bessere Luft lässt Flechten gedeihen 20

Buchenblätter: mehr Stickstoff, weniger Schadstoffe 22

Der Regen ist nur noch halb so sauer 24

Gesundheitsrisiko durch Bioaerosole? 26



BODEN

Springschwänze reagieren auf Umweltveränderungen	28
Lebensraumqualität von Waldböden verbessert	30

PFLANZEN

Ausbreitung der Allergie auslösenden Beifuß-Ambrosie	32
Keinen transgenen Raps gefunden	34
Pflanzenvielfalt im extensiv genutzten Grünland	36
Wenig Änderung in der Krautschicht des Waldes	38

TIERE

Vogeleier spiegeln langlebige Umwelt-Gifte	40
Mit Regenwürmern Schwermetalle bewerten	42

MENSCH

Gefährlich oder nicht – das ist beim Abfall oft die Frage	44
Chancen und Risiken der Nanomaterialien	46
Edelmetalle am Straßenrand	48



Ergebnisse auf einen Blick

Die Medienübergreifende Umweltbeobachtung Baden-Württemberg (MUB) untersucht und bewertet Veränderungen der Umwelt. Seit fast drei Dekaden wird der Zustand von Wald-, Grünland- und Fließgewässerökosystemen ermittelt. Die Ergebnisse zeigen die Erfolge der Umweltpolitik, aber auch kritische Belastungen.

KLIMAWANDEL UND KLIMAFOLGEN

Meteorologische Langzeitdaten belegen eine Klimaveränderung für Baden-Württemberg. Erste Folgen zeichnen sich in der Natur ab.

- Wärme liebende südliche Tier- und Pflanzenarten breiten sich im Land aus. Veränderungen von Lebensgemeinschaften und die Ausbreitung von Insekten, die als Krankheitsüberträger fungieren können, werden verfolgt.
- Wild- und Nutzpflanzen blühen immer früher. Offen sind die Auswirkungen auf Blütenbestäuber und deren Nahrungsbeziehungen.
- Pflanzen mit ozeanischer Verbreitung, die wintermildes Klima bevorzugen, nehmen zu. Dies deuten ökologische Bewertungen von Wald- und Grünlandpflanzen an.
- In Gewässern ist erkennbar, dass Wärme liebende wirbellose Tierarten flussaufwärts in kühlere Bachabschnitte wandern.

NEUE TIERE UND PFLANZEN

Klimawandel und internationale Handelsbeziehungen können eine Ursache für das Auftreten neuer Tier- und Pflanzenarten in Baden-Württemberg sein.

- Die Allergie auslösende Beifuß-Ambrosie breitet sich durch globalen Warenaustausch und aufgrund verlängerter Vegetationsperioden in den letzten 20 - 30 Jahren vor allem im Oberrheingebiet und Stuttgarter Raum aus. Herkunft der Samen ist importiertes Vogelfutter. Die LUBW unterstützt durch Monitoring und Beratung bei der Bekämpfung.
- Schiffsverkehr sorgt für Artenveränderungen in Fließgewässern. Arten aus dem Schwarzen Meer werden in Rhein und Neckar verschleppt und können sich etablieren. Das Langzeit-Monitoring belegt 36 neue Kleintierarten. Diese bedrohen seltene und geschützte Arten.



ZUSAMMEN- FASSUNG

VERÄNDERUNGEN DURCH CHEMISCHE STOFFE

Für Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid, Stickoxide, Schwermetalle und organische Verbindungen ergeben sich positive Entwicklungen, aber auch weiterhin kritische Belastungen.

- Der Rückgang der Schwefeldioxidemissionen wirkt sich positiv auf Pflanzen und Tiere verschiedener Lebensräume aus. Flechtenarten, die eine bessere Luftqualität indizieren, nehmen zu. Pflanzenproben aus dem Grünland belegen ebenfalls den Rückgang der Schwefeldepositionen.
- Die Schwermetallbelastung der Böden an den Waldstandorten ist in den letzten 30 Jahren erheblich zurückgegangen. Dies zeigen Untersuchungen von Regenwürmern.
- Hohe Bleigehalte in Waldpflanzen wurden noch zu Beginn der 1990er Jahre nachgewiesen. Im Zuge des Verbotes von Blei in Kraftstoffen sanken die Gehalte in Buchenblättern zwischen 1986 und 2011 um mehr als 90 Prozent. Dagegen stieg der Stickstoffgehalt um durchschnittlich 16 Prozent an.
- Die Abnahme toxischer Metalle und Schwermetalle in Gewässern verbessert die Lebensraumqualität für Fische, Amphibien und wirbellose Wassertiere. Eier und Larven haben höhere Überlebensraten.
- Ökologische Zeigerwerte belegen die Stabilität der Krautschicht in den untersuchten Wäldern. Die Biodiversität der Krautschicht hat sich kaum verändert.
- Im Extensiv-Grünland beeinflussen Pflegemaßnahmen den Pflanzenreichtum stärker als Stickstoffangebot und Klimawandel. Es wurde ein schwacher Trend für eine Abnahme der Nährstoffzahl (Stickstoff) beobachtet. Tendenziell erhöhen sich die mittleren Zeigerwerte für Licht und Temperatur.
- Toxische und schwer abbaubare Organohalogenverbindungen (POPs) wie DDT, DDE, HCB und PCB belasten die Umwelt. Verbote und andere Maßnahmen führten zu einem merklichen Rückgang dieser Stoffe in den 1980er Jahren. Die Eier des Bioindikators Wanderfalke weisen aber immer noch hohe Belastungen auf. Es wurden 93 von 177 weit verbreiteten potenziellen Schadstoffen nachgewiesen, wie derzeit verwendete nichtchlorierte Pestizide.
- Zur Bewertung von Teerölen im Grundwasser sowie zur Einstufung der Gefährlichkeit von Abfällen wurden Verfahren und Untersuchungsmethoden entwickelt.

UMWELTAUSWIRKUNGEN VON TECHNOLOGIEN

Beim Einsatz neuer Technologien ist deren ökotoxikologische Bewertung und ggfs. ein Umweltmonitoring notwendig. Negative Umweltauswirkungen können erkannt und rechtzeitig Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

- Zum Themenbereich „Nanotechnologie“ wurde der wissenschaftliche Sachstand zur Toxikologie und Ökotoxikologie von Nanomaterialien in einer Studie zusammengestellt.

• Der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ist in Baden-Württemberg nicht erlaubt. Durch Importe, Freisetzungsversuche sowie Saatgutkontamination besteht die Gefahr einer Einschleppung. Gentechnisch veränderter Raps besitzt ein hohes Verwilderungspotenzial. Das Rapsmonitoring ergab bisher keinen Nachweis einer Verwilderung im Land.

• Kfz-Abgaskatalysatoren setzen sensibilisierende und katalytisch wirkende Edelmetalle (Platin, Palladium, Rhodium) frei. Mit exponierten Graskulturen wurde der Umwelteintrag bestimmt. Daraus ergeben sich keine Hinweise für Schäden an Agrarpflanzen. Platingehalte in der Luft viel befahrener Straßen liegen weit unterhalb der Auslöseschwelle für Atemwegsallergien beim Menschen.

• Anlagen der Abfallwirtschaft und der Intensivtierhaltung können Bioaerosole (u. a. Schimmelpilze, Bakterien, Viren) freisetzen. Für Anwohner können sich Gesundheitsbeeinträchtigungen ergeben. Neue Messmethoden und umweltmedizinische Bewertungsverfahren wurden entwickelt.

Diese Ergebnisse der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung sind Beispiele für die Erfüllung des Auftrages der LUBW „Beobachten – Bewerten – Beraten“.

Ausführliche Ergebnisse finden sich im Internetauftritt der LUBW unter dem Stichwort „Medienübergreifende Umweltbeobachtung“.



Waldmonitoring



Bioindikator Wanderfalke



Laboruntersuchungen bei der LUBW

Die Umwelt unter der Lupe

Vom Sauren Regen bis zum Klimawandel: Baden-Württembergs Pflanzen- und Tierwelt hat mit wechselnden Umweltbedingungen zu kämpfen. Seit mehr als 25 Jahren wacht die Medienübergreifende Umweltbeobachtung (MUB) über den „Gesundheitszustand“ von Ökosystemen im Land.

Medienübergreifend die Umwelt zu beobachten heißt: Einzelne Umweltbereiche wie Boden, Wasser und Luft werden nicht getrennt voneinander betrachtet. Die Ergebnisse einzelner Messnetze werden vielmehr miteinander verknüpft und in Beziehung zu Veränderungen in der Natur gesetzt. Das Ziel ist es frühzeitig zu erkennen, wie sich die Umwelt verändert und wie sich Belastungen auf Ökosysteme auswirken.

Rechtlich basiert die MUB auf Bundes- und Landesnaturschutzgesetzen sowie auf Vereinbarungen auf europäischer Ebene. Internationale Abkommen bzw. Vereinbarungen wie die Rio-Konvention zur biologischen Vielfalt, die Fauna-Flora-Habitat Richtlinie oder die Internationale Konvention über persistente organische Schadstoffe verpflichten sogar zur Umweltbeobachtung und Berichterstattung. In Baden-Württemberg sind die Zielsetzungen und Themenfelder der Umweltbeobachtung in den Umweltplänen Baden-Württembergs von 2000 – 2007 und 2007 – 2012 verankert.

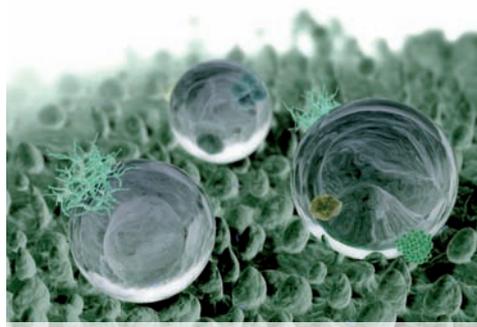
WIE ALLES BEGANN

In den 1980er Jahren waren Waldsterben, Saurer Regen, Luft- und Abwasserverschmutzung die beherrschenden Umweltthemen. Sie gaben den Anlass dafür, 1984 eine landesweite biologische Umweltbeobachtung aufzubauen, die zunächst „Immissionsökologisches Wirkungskataster“ genannt wurde. Damals wie heute sind Dauerbeobachtungsstellen in Wäldern, an Fließgewässern und im Grünland Kernstück der Strategie. Hier beobachten Fachleute auch mit Hilfe von geeigneten Bioindikatoren, wie sich Umwelt und Natur verändern.

In den ersten Jahren wurde schwerpunktmäßig geprüft, wie die Natur auf Schwefeldioxid, Ozon, Stickoxide und Schwermetalle reagiert. Später wurde das Untersuchungsprogramm auf für Mensch und Tier gesundheitsschädliche, langlebige organische Schadstoffe, wie Dioxine, polychlorierte Biphenyle und Pestizide ausgedehnt. Damals stellten Experten vielfach hohe Konzentrationen von Schadstoffen in der Tier- und Pflanzenwelt fest.



Weidelgrasexposition - Schwermetallmonitoring



Nanotechnologie - Lotuseffekt

EINFÜHRUNG

UMWELTPOLITIK ZEIGT ERFOLGE

Das gewachsene Umweltbewusstsein und die Maßnahmen der Umweltpolitik zeigen auch in der Natur Erfolge. So belegen biologische Indikatoren der MUB, z. B. Moose und Flechten für viele Regionen Baden-Württembergs überwiegend einen Rückgang der Luftbelastungen. Auch andere stoffliche Belastungen, z. B. Schwermetalle und einige organische Verbindungen, sind in den letzten Jahren tendenziell in den Ökosystemen zurückgegangen. Diese positiven Signale aus der Natur sind jedoch kein Grund zur Entwarnung. Weiterhin gilt es altbekannte, aber auch neue Stoffe auf gefährliche Eigenschaften zu untersuchen.

AUSBLICK

Die Zukunft wird auch von neuen Fragestellungen wie den Folgen des Klimawandels oder den Auswirkungen neuer innovativer Technologien (z. B. Gentechnologie, Nanotechnologie) geprägt sein.

Entsprechend hat sich die Umweltbeobachtung vom „Immissionsökologischen Wirkungskataster“ zur Medienübergreifenden Umweltbeobachtung erweitert mit heute vier Schwerpunktfeldern:

1. Wirkungen von Klimaveränderungen und Anpassungen der belebten Umwelt
2. Toxizität und Anreicherung chemischer Stoffe in der Umwelt
3. Wirkungen des Einsatzes neuer Technologien auf die Umwelt
4. Analyse und Bewertung des Stoffhaushaltes ausgewählter Umweltschadstoffe

Die hier vorgestellten Untersuchungen machen deutlich, dass die MUB bereits jetzt wichtige Daten- und Bewertungsgrundlagen zu diesen „neuen“ Themenfeldern liefert.

Darauf können Konzeptionen für umweltpolitische Programme und Rechtsetzungen sowie Vollzugshilfen des Umweltministeriums aufbauen.

Auch zukünftig werden die existierenden Dauerbeobachtungsflächen die Basis für die Medienübergreifende Umweltbeobachtung sein.

Sowohl als Frühwarnsystem als auch als Erfolgskontrolle für Umweltschutz und Umweltpolitik. Beispielsweise haben sektorale Maßnahmen zur Senkung der erheblichen Stickstoffbelastungen bisher keinen umfassenden Erfolg gezeigt. Hier steht eine medienübergreifende Beobachtung und Bewertung des Stickstoffs als nächstes an.

Handlungsbedarf gibt es überdies beim Klimawandel, der sich bereits in der Natur bemerkbar macht. Mit der Fortführung des auch in der Deutschen Anpassungsstrategie geforderten Klimabiomonitorings wird die MUB weitere Folgen des Klimawandels diagnostizieren. Durch die Betreuung des Forschungsprogramms KLIMOPASS (Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg) sowie die Einbindung in die Entwicklung einer Strategie zur Anpassung an Folgen des Klimawandels in Baden-Württemberg wird ein vorausschauend planender Ansatz verfolgt. Damit soll dieser großen Herausforderung begegnet werden.

SIGNALE DER NATUR

- Signale der Natur aus der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung unterstützen Natur- und Umweltschutz.
- Die MUB stellt seit den 1980er Jahren positive wie negative Veränderungen in Natur und Umwelt fest.
- Neue Herausforderungen sind der Klimawandel, der Einsatz neuer Technologien und Fragen zum Stoffhaushalt.

KONTAKT

Dr. Kai-Achim Höpker

kai.hoepker@lubw.bwl.de

Dr. Harald Gebhardt

harald.gebhardt@lubw.bwl.de



Gefährdung durch Hochwasser



Starkniederschläge können zunehmen



Extremereignis Hagel

Klimaveränderung wandelt Umwelt und Natur im Land

Die weltweit zehn wärmsten Jahre seit Beginn der Wetteraufzeichnungen vor rund 130 Jahren lagen alle im Zeitraum 1998 bis 2012. Auch in Baden-Württemberg lässt sich der Klimawandel mit zahlreichen Auswirkungen auf Mensch und Natur beobachten. So breiten sich zunehmend neue Pflanzen- und Tierarten aus.

Schon leichte Erhöhungen der Jahresmitteltemperatur haben Folgen für Mensch und Umwelt. Ziel des Klimaschutzes ist, die globale Temperaturerhöhung langfristig auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

ES WIRD WÄRMER

In Baden-Württemberg ist die Jahresmitteltemperatur von Beginn der Messungen Anfang des 20. Jahrhunderts von rund 8 °C auf Werte um 9 °C gestiegen. Auch wenn es zwischendurch wieder kühlere Jahre gibt, der langfristige Trend bleibt: Die Temperaturen steigen. Gab es in Karlsruhe in den 1880er bis 1900er Jahren im Mittel ca. 40 Sommertage ($T > 25\text{ °C}$), so liegen wir heute bei rund 60 Sommertagen. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird mit etwa 80 Tagen gerechnet. Die Winter sind generell milder geworden, die Anzahl der Frosttage hat sich verringert. Zudem haben die Höchstniederschläge im Winter regional unterschiedlich bis zu 35 Prozent zugenommen, ebenso die Hochwasserereignisse in den letzten 30 Jahren. Das Klima in Baden-Württemberg hat sich geändert und wird sich voraussichtlich weiter wandeln. Laut Klimaprojektionen werden die Durchschnittstemperaturen weiter zunehmen. Bis

Mitte des Jahrhunderts sollen die Jahresmitteltemperaturen um weitere 0,8 °C bis 1,7 °C steigen, wenn es nicht gelingt, die Treibhausgasemissionen ausreichend zu begrenzen.

DIE NATUR WANDELT SICH MIT

Wie sich das Klima verändert, nehmen wir hauptsächlich bei zunehmenden Extremereignissen wie Hitzesommer, Hochwasser oder Starkniederschläge wahr. Doch der Klimawandel macht sich in der Natur bereits im Kleinen bemerkbar. Die LUBW konnte in regionalen Untersuchungen und Forschungsprogrammen der „Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB)“ schon früh beobachten, dass sich die Natur in Baden-Württemberg schnell verändert hat. Beispielsweise haben sich mediterrane Insektenarten in den letzten 20 Jahren ausgebreitet. Unter den Neuankömmlingen sind krankheitsübertragende Insekten wie Tigermoskito und Sandmücke. Auch die Wärme lieben-



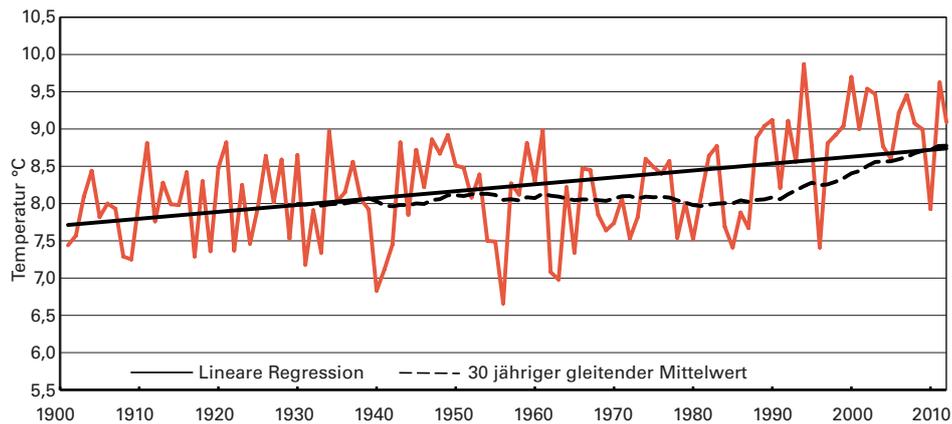
Tigermoskito als Krankheitsüberträger



Einwanderer Feuerlibelle

KLIMA

JAHRESMITTELTEMPERATUREN IN BADEN-WÜRTTEMBERG (1901 - 2012)



Entwicklung der Jahresmitteltemperaturen in Baden-Württemberg (Daten DWD 2013)

den Zecken breiten sich weiter aus. Bei vielen Pflanzen haben sich die Wachstums- und Entwicklungsvorgänge auffallend verändert: Kulturpflanzen wie der Apfel aber auch viele Wildpflanzen blühen heute früher. Wärme liebende Pflanzen wie Hirse oder Götterbaum nehmen in unseren Breiten zu. Es wird auch die Ausbreitung gebietsfremder Wildkräuter, wie z. B. die Beifuß-Ambrosie begünstigt, die Allergien verursachen kann. Mit dem „Klima-Biomonitoring“ deckt die MUB eine Empfehlung in der Deutschen Anpassungsstrategie der Bundesregierung zum Klimafolgen-Monitoring ab.

ANPASSUNG IST NOTWENDIG

Der Klimawandel wirkt sich auch auf viele Lebensbereiche des Menschen aus, angefangen bei der menschlichen Gesundheit, über Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Tourismus, Katastrophenschutz bis hin zur Wirtschaft. Neben den Fragen nach den Folgen des Klimawandels rücken immer stärker auch Fragen nach

notwendigen Anpassungsmaßnahmen in den Vordergrund. Bei diesen Fragen ist es wichtig, nicht nur einzelne Sektoren zu betrachten, sondern interdisziplinär zu arbeiten. Seit 2001 betreut die LUBW interdisziplinär ausgerichtete Forschungsprogramme des Umweltministeriums Baden-Württemberg zum Klimawandel. Mit dem Verbundprojekt KLARA (Klimawandel – Auswirkungen, Risiken, Anpassung; 2001 bis 2005) und dem Programm „Herausforderung Klimawandel“ (2006 - 2010) wurden insbesondere die Klimafolgen untersucht. Mit dem seit 2010 laufenden Programm KLIMOPASS (Klimawandel und modellhafte Anpassung) wird die Forschung nach geeigneten Anpassungsmaßnahmen intensiviert. Konsequenterweise wirkt die LUBW im Auftrag des Umweltministeriums auch an der Entwicklung einer Anpassungsstrategie an die Folgen des Klimawandels für Baden-Württemberg mit.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Der Klimawandel ist auch in Baden-Württemberg nachweisbar.
- Die Sommer- und Hitzetage haben zugenommen, die Frost- und Eistage wurden weniger.
- Neue Wärme liebende Tier- und Pflanzenarten breiten sich aus.
- Strategien zur Anpassung müssen für viele Lebensbereiche des Menschen gefunden werden.

WEITERE INFORMATIONEN

Klimafolgen

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2908/>

UM & LUBW [Hrsg.] (2012): Klimawandel in Baden-Württemberg, Fakten - Folgen - Perspektiven.

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/67972/>

KONTAKT

Dr. Kai-Achim Höpker

kai.hoepker@lubw.bwl.de



Apfelblüte bei Gernsbach-Lautenbach



Alter Boskoop in Vollblüte



Bioindikator Apfelblüte

Blütenpflanzen reagieren auf den Klimawandel

Phänologische Untersuchungen an Pflanzen zeigen, dass der Klimawandel bei Wild- und Nutzpflanzen zu einem früheren Blühbeginn im Frühjahr und teilweise zu einem späteren Blattfall im Herbst, also insgesamt zu einer längeren Vegetationsperiode im Land führt.

Die Phänologie ist die Lehre vom jahreszeitlichen Entwicklungsgang bei Pflanzen und Tieren.

NATURPHÄNOMENE ALS KLIMAZEIGER BLÜHBEGINN DES APFELS

Die Phänologie befasst sich mit den Wachstums- und Entwicklungserscheinungen bei Pflanzen und Tieren. Dabei werden regelmäßig wiederkehrende biologische Phänomene, so genannte phänologische Phasen, beobachtet. Bei Pflanzen sind dies Beginn der Blattentfaltung, Beginn/Ende der Blüte, Fruchtreife oder Beginn des Blattfalls. Das Jahr wird in zehn „phänologische Jahreszeiten“ eingeteilt und als „phänologische Uhr“ dargestellt. Bei der „doppelten phänologischen Uhr“ werden zwei Zeiträume miteinander verglichen. Klimatisch bedingte Veränderungen in der Natur werden dadurch verdeutlicht.

LUBW UNTERSUCHT APFELBLÜTE

Der Beginn der Apfelblüte zeigt nach der Einteilung in phänologische Jahreszeiten den Vollfrühling an. Beobachtet man die verschiedenen Blühstadien beim Apfel über mehrere Jahre, lässt sich daran dokumentieren, wie sich das



Höhenabhängige Entwicklung der Apfelblüte im Murgtal am 23. April 2012 (Daten: LUBW, Grafik: SWR)

Klima verändert. Die LUBW verfolgt seit 2007 den Verlauf der Apfelblüte in einem Beobachtungsgebiet, das von der Oberrheinebene über das Murgtal bis in die Höhenlagen des Nord-Schwarzwaldes reicht. Mit diesen Untersuchungen beteiligt sie sich an der Aktion „Apfelblütenland“ der SWR-Fernsehredaktion „planet-wissen“. Hierbei wird in ganz Deutschland der Beginn der Apfelblüte dokumentiert.



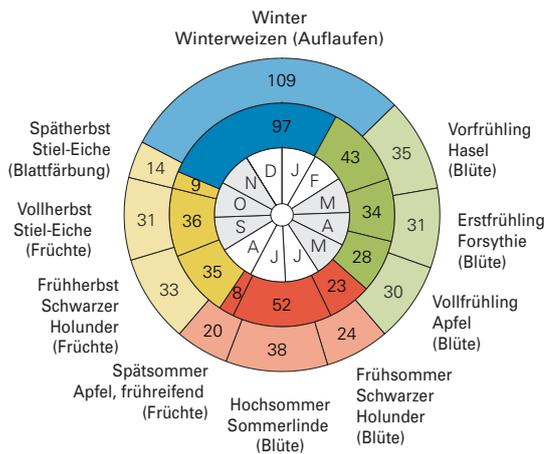
Reife Äpfel im Herbst



Früchte des Schwarzen Holunders

KLIMA

DOPPELTE PHÄNOLOGISCHE UHR



Doppelte phänologische Uhr für den „Nördlichen Oberrheingraben“ für die Zeiträume 1961 - 1990 (äußerer Ring) und 1991 - 2009 (innerer Ring), Daten: DWD

14 BIS 42 TAGE FÜR 1000 METER HÖHENUNTERSCHIED

Je nach Witterung erreichte die Apfelblüte die Höhenlagen des Nord-Schwarzwaldes vom Oberrheintal aus unterschiedlich schnell: Im Jahr 2007 blühte der höchstgelegene Apfelbaum auf dem Schliffkopf (1043 m ü. N. N.) binnen 14 Tagen nach dem Blühbeginn im Oberrheintal. Der Höhengewinn betrug 66 Meter pro Tag. Im Jahr 2008 benötigte die Blüte dagegen für die 923 Meter Höhenunterschied insgesamt 42 Tage (Höhengewinn 22 m pro Tag). 2011 dauerte es 35 Tage (26,4 m pro Tag) und 2012 waren es 42 Tage (22 m pro Tag), bis die Apfelblüte den Schliffkopfgipfel erreichte. Interessanterweise begann am 3. April 2011 die Apfelblüte zum frühesten Termin seit Projektstart im Jahr 2007. Im Jahr 2012 startete sie am 10. April. In den Vorjahren waren es der 18. April 2010, der 12. April 2009, der 9. April 2008 und der 12. April 2007.

PFLANZEN BLÜHEN FRÜHER

Darüber hinaus beobachtet die LUBW die phänologischen Phasen bei Wild- und Nutzpflanzen im Land. Mithilfe phänologischer Uhren konnte festgestellt werden, dass seit den 1960er Jahren bei vielen Pflanzen Blattaustrieb, Blüte und Fruchtreife im Frühling und Sommer immer früher einsetzen, sie blühen im Landesdurchschnitt um bis zu zwei Wochen früher. Bislang ist offen, welche Auswirkungen dies auf Blütenbestäuber und deren Nahrungsbeziehungen hat. Im Herbst hingegen verspäteten sich Blattverfärbung und Blattfall. Insgesamt verlängert sich dadurch die Vegetationsperiode der Pflanzen. Der Vergleich mit meteorologischen Daten zeigt, dass der Wandel des Klimas den früheren Blühbeginn verursacht.

KLIMAWANDEL VOR ALLEM IN DEN LETZTEN 20 JAHREN

Die Analyse phänologischer Zeitreihen von 1837 bis 2009 der Station Hohenheim zeigt, dass sich die phänologischen Phasen wie der Blütenbeginn schon in früheren Jahrzehnten verschoben haben. So setzt heute die Blüte der Schlehe (*Prunus spinosa*) 30 Tage und die des Schwarzen Holunders (*Sambucus nigra*) etwa 25 Tage früher ein als vor rund 170 Jahren. Doch richtige „Sprünge“ macht die Blüte erst in den letzten 20 Jahren.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die phänologischen Phasen wie Blattaustrieb, Blüte oder Fruchtreife treten im Jahresverlauf immer früher ein.
- Vor allem in den letzten 20 Jahren erfolgte eine sprunghafte Verfrühung.
- Der Klimawandel verlängert die Vegetationsperiode.

WEITERE INFORMATIONEN

LUBW (2007): Naturschutz-Info 2/2007, http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/content/50118/naturschutz_info_2007_2.pdf

LUBW (Hrsg.) (2010): Die Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima (Bearb.: Holz, I. et al.). http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/ID_Umweltbeobachtung_U96-U51-N10

KONTAKT

Dr. Harald Gebhardt
harald.gebhardt@lubw.bwl.de



Iller oberhalb Ulm



Messung an der Nau bei Langenau



Libelle – *Pyrrhosoma nymphula*

Fliehen Wassertiere vor zunehmender Wärme?

Die Artenvielfalt in baden-württembergischen Fließgewässern hat zugenommen. Tendenziell wandern auf dem Gewässerboden lebende Tierarten flussaufwärts in die kühleren Bäche.

ARTENZAHL NIMMT ZU

Die LUBW betreibt ein Messnetz an Fließgewässern in Baden-Württemberg, um Änderungen der Lebensgemeinschaften, z. B. infolge des Klimawandels, zu beobachten. An 30 Dauerbeobachtungsstellen untersucht sie die am Gewässerboden lebenden wirbellosen Tierarten (Makrozoobenthos). Von 1995 - 2008 wurden insgesamt 619 verschiedene Arten gefunden. Eine Probestelle an der unteren Jagst weist mit bisher 197 Arten die höchste Artenanzahl auf, während am Rhein unterhalb Mannheims nur 88 Arten festgestellt wurden. Insgesamt nahm die Anzahl der Arten bis 2005 zu, danach wieder leicht ab.

FLUSSAUFWÄRTS IST ES KÜHLER

Durch die Klimaerwärmung verändern sich auch die Temperaturverhältnisse der Fließgewässer. Dies hat Einfluss darauf, wie sich Wassertiere in den Bächen und Flüssen ausbreiten. In den höher gelegenen Bächen leben bevorzugt Kälte liebende Tierarten, wohingegen Wärme tolerantere Arten eher in Flüssen vorkommen. Steigt nun durch den Klimawandel

die Temperatur der Gewässer, so breiten sich die in den Flüssen lebenden Arten auch auf die Bäche aus. Dies konnte an 10 Dauermessstellen mit Bach-Charakter nachgewiesen werden: Der Anteil der Fluss-Arten hat zwischen 1995 und 2008 im Mittel tendenziell zugenommen. Der Anteil der Bach-Arten nimmt dagegen an diesen Probestellen leicht ab. Kleinere Fließgewässer können somit zunehmend den biologischen Charakter größerer Fließgewässer annehmen.

NOCH ÜBERWIEGEN "KLASSISCHE" BACH-ARTEN

Mehr als 50 Prozent der festgestellten Arten gehören zu den Insekten, die im Erwachsenenstadium an Land leben. Bevor sie ihre Eier im Gewässer ablegen, fliegen sie flussaufwärts und gleichen das durch die Strömung des Gewässers bedingte Abtreiben der Larven aus. Solche so genannten „Kompensationsflüge“ führen oft kilometerweit Bach aufwärts. Was die Tiere bei diesen Flügen zum Anhalten bringt, ist weitgehend noch unbekannt. Die mit zunehmender Höhenlage abnehmende Lufttemperatur kann

Makrozoobenthos ist die Lebensgemeinschaft der kleinen, noch mit bloßem Auge erkennbaren wirbellosen Tiere, die in Gewässern das Bodensubstrat besiedeln.



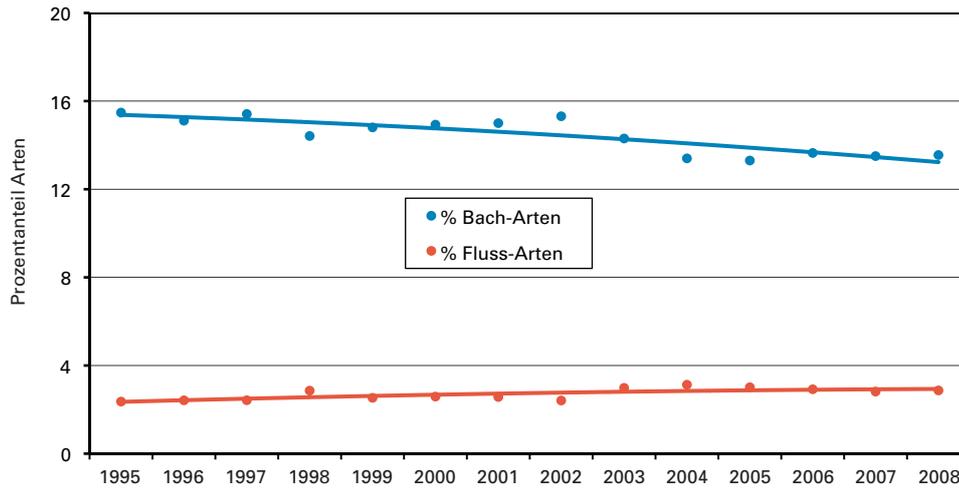
Eintagsfliege – *Siphonurus croaticus*



Wutach oberhalb der Gauchachmündung

KLIMA

ENTWICKLUNG DER BACH- UND FLUSS-ARTEN



Prozentanteil Bach- und Fluss-Arten am Makrozoobenthos an 10 Probestellen mit Bach-Charakter (mit linearem Trend über Jahresmittelwerte aus je vier Beprobungen)

für die Temperatur sensiblen Tiere genauso ein Grund sein wie das Vorhandensein geeigneter Eiablageplätze.

Bisher ist die Veränderung hin zu Wärme liebenden Fluss-Lebensgemeinschaften vergleichsweise klein. Noch werden die Bäche überwiegend von "klassischen" Bach-Arten bewohnt. Der bisherige Untersuchungszeitraum ist aber recht kurz. Schreitet die Entwicklung in gleichem Maße fort, werden viele Bachstandorte in rund 70 Jahren hinsichtlich der dort lebenden Wassertiere die Grenze vom Bach zum Fluss überschreiten.

EINTAGSFLIEGEN ALS THERMOMETER

Die Temperatur beeinflusst den gesamten Lebenszyklus von Lebewesen und wirkt sich darauf aus, welcher Lebensraum für sie geeignet ist und wie schnell sie wachsen. Eintagsfliegen, Steinfliegen oder Köcherfliegen können auf-

grund der bevorzugten Temperaturen in verschiedene Kategorien eingestuft werden. Als Bioindikatoren zeigen die Tiere an, dass die Temperaturen an 22 der 30 Dauerbeobachtungsstellen angestiegen sind, bisher allerdings nur an vier Stellen statistisch gesichert. Verschiedene Gewässer weisen anhand langjähriger Messungen der Wassertemperatur auch einen Rückgang der Wärmebelastung auf. Verminderte Kühlwassernutzung und ein geringerer Wärmeeintrag durch Abwasser sind ursächlich.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Fließgewässerlebensgemeinschaften sind artenreicher geworden.
- Der Klimawandel bringt die Wärme liebenden Arten dazu, flussaufwärts in die ehemals kühleren Bäche zu wandern.

WEITERE INFORMATIONEN

Makrozoobenthos Trendmonitoring
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56183/>

LUBW (2012): Trendbiomonitoring – Biozönotisches Langzeit-Monitoring in Gewässern Baden-Württembergs.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U64-M331

KONTAKT

Dr. Michael Marten
michael.marten@lubw.bwl.de



Frachtschiffe schleppen ungewollt Tiere ein



Kamberkrebs - *Orconectes limosus*



Wenigborster - *Hypania invalida*

Alles im Fluss: Ausbreitung gebietsfremder Wassertiere

Über den Rhein-Main-Donau-Kanal gelangen viele gebietsfremde Tiere in die Flüsse. Mit dem Langzeit-Monitoring der LUBW konnten 36 dieser Kleintierarten in Baden-Württemberg aufgefunden und in ihrer Ausbreitung dokumentiert werden. Einheimische Arten wurden nur lokal verdrängt.

NEUE ARTEN AUS ALLER WELT

Die LUBW untersucht an 30 Dauerbeobachtungsstellen des Messnetzes „Trendbiomonitoring“ intensiv, wie sich die Lebensgemeinschaft (Biozönose) in Bach und Fluss ändert. „Neubürger“ (Neozoa) kommen zunehmend in einigen Flüssen des Landes vor. Diese Neozoa sind zumeist wirbellose Tiere, die den Gewässerboden besiedeln (Makrozoobenthos). Die Wirbellosen der Gewässer stellen ein wichtiges artenreiches Bindeglied zwischen den Pflanzen als Primärproduzenten und den Fischen als Endkonsumenten dar. Viele Arten sind gute Indikatoren der ökologischen Qualität der Gewässer. Die 36 neuen Makrozoobenthos-Arten der Monitoring-Stellen in Baden-Württemberg stammen aus aller Welt: Sieben Arten aus Südeuropa/Mittelmeerraum, vier aus Asien, neun aus Nordamerika, fünfzehn aus dem Kaspischen und Schwarzen Meer (Pontokaspis) und eine Art aus Neuseeland. Vier Arten wurden bereits im 19. Jahrhundert nach Deutschland eingeschleppt, andere sind erst nach Eröffnung

des Rhein-Main-Donaukanals in unsere Flussgebiete gelangt.

VORWIEGEND RHEIN UND NECKAR BETROFFEN

Besonders stark hat sich die Biozönose in Rhein und Neckar geändert: Hierher gelangen gebietsfremde Arten aus der unteren Donau mit dem Ballastwasser der Schiffe über den Rhein-Main-Donau-Kanal zu uns. Im Zuge der Ladungsaufnahme wird das Ballastwasser abgelassen und damit die Neozoa in verschiedenen Flusshäfen „angeimpft“. Von dort breiten sich die Neozoa auf andere Flussabschnitte aus. Während im Rhein 26 und im Neckar 28 Neozoa festgestellt wurden, sind es in der oberen, nicht schiffbaren Donau in Baden-Württemberg nur vier Neozoa-Arten. Auch die Nebengewässer blieben bisher weitgehend von der Invasion verschont. Dort vorhandene Neozoa sind Arten, die sich im 19. Jahrhundert in Deutschland etabliert haben. Dazu gehören die Wandermuschel *Dreissena polymorpha*, die

Neozoa sind neue (neo) Tierarten (zoa), die früher in hiesigen Ökosystemen nicht vorkamen. Makrozoobenthos sind kleine wirbellose Tiere, die in Fließgewässern den Gewässerboden besiedeln.



Quaggamuschel - *Dreissena rostriformis*



Probenaufbereitung und Analyse

WASSER

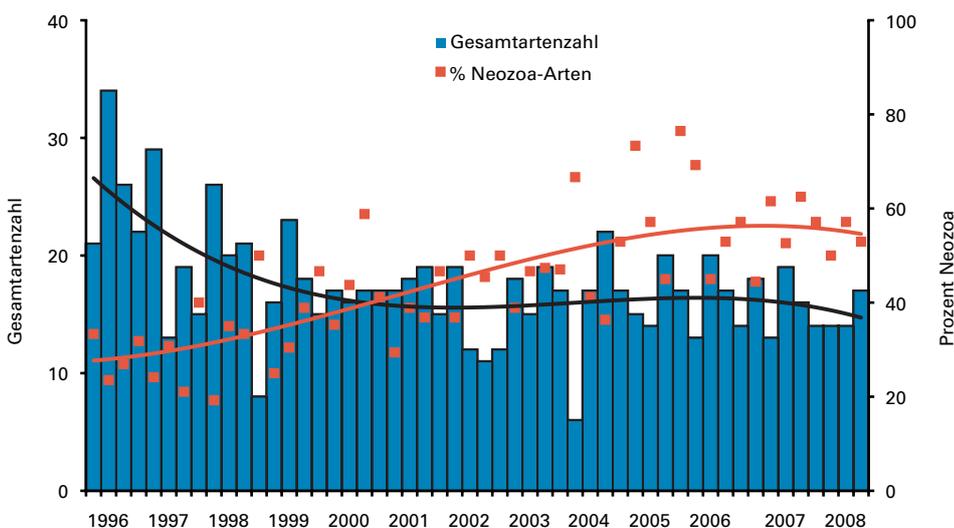
Spitze Blasenschnecke *Physella acuta*, die Neuseeländische Deckelschnecke *Potamopyrgus antipodarum* und der Kamberkrebs *Orconectes limosus*. Dagegen ist z. B. die massiv auftretende Quaggamuschel (*Dreissena rostriformis bugensis*) erst in den letzten acht Jahren nachgewiesen worden.

RASCHE AUSBREITUNG

Dank der Langzeitbeobachtung lässt sich ein charakteristischer Entwicklungsverlauf, entsprechend der Entfernung von der Eintragsquelle, an verschiedenen Probestellen ablesen. Am Restrhein bei Neuenburg zum Beispiel waren zu Beginn des Trendbiomonitorings (1995) nur der Tiger-Strudelwurm *Dugesia tigrina* und die Wandermuschel *Dreissena polymorpha* anzutreffen. Im Laufe der Zeit haben pontokaspische Arten wie der Große Höckerflohkrebs *Dikero-*

gammarus villosus und der Stachelflohkrebs *Echinogammarus ischnus* die Oberhand gewonnen. Im Rhein bei Karlsruhe gehörte dagegen bereits zu Untersuchungsbeginn ein großer Anteil der Makrozoobenthos-Arten zu den Neozoa. Konkurrenzstarke Neozoa wie der Süßwasser-Borstenwurm *Hypania invalida* und der Große Höckerflohkrebs können massenhaft auftreten. Im Rhein wurden im Laufe der Untersuchungsjahre Individuenanteile der Neozoa von über 80 Prozent erreicht! Bei Proben am unteren Neckar gehörte jedes zweite Tier zu einer dieser neuen Arten. Weitere in Baden-Württemberg vorkommende Arten sind beispielsweise die Wollhandkrabbe *Eriocheir sinensis* oder der Kalikokrebs *Orconectes immunis*, die aber im Rahmen dieser Untersuchungen aufgrund ihres eher punktuellen Vorkommens bisher nicht nachgewiesen wurden.

PROBENAHMESTELLE RHEIN BEI MAXAU



Gesamtartenentwicklung und Prozentanteil von Neozoa-Arten mit Trendlinien

SIGNALE AUS DER NATUR:

- Massiver Eintrag von Neozoa in die großen Flüsse führt zum Wandel der Lebensgemeinschaften.
- Schiffsverkehr sorgt für Transport der Neozoa über weite Strecken.
- Gefahr droht für viele seltene und geschützte Arten, wenn sich die Neozoa auch in den Zuflüssen von Rhein und Neckar ausbreiten.

WEITERE INFORMATIONEN

Neozoen und Neophyten
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56168/>

LUBW (2012): Trendbiomonitoring
 Biozönotisches Langzeit-Monitoring in
 Gewässern Baden-Württembergs.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U64-M331

KONTAKT

Dr. Michael Marten
michael.marten@lubw.bwl.de



Ehemaliges Gaswerk in Geislingen an der Steige



Untersuchung einer Wasserprobe im Labor



Analyse von Wasserproben vor Ort

Teeröle im Grundwasser jetzt besser zu bewerten

Unter Mitwirkung der LUBW wurden neue Schadkriterien für wasserlösliche Teeröl-Komponenten erarbeitet. Bei Grundwasser-Verunreinigungen mit diesen Schadstoffen kann dadurch besser bewertet werden, ob eine Sanierung notwendig ist.

ALTLASTEN ANHAND VON LEITSUBSTANZEN BEWERTEN

Produktionsabfälle aus der Kohlechemie und der Erzeugung von Stadtgas sind auch mehr als 40 Jahre nach der Stilllegung der meisten Gaswerke immer noch weit verbreitet und bedrohen das Grundwasser als Trinkwasser-Ressource. Ein Unterausschuss der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) erarbeitete unter Beteiligung der LUBW 2009/2010 Geringfügigkeitsschwellen (GFS) für Grundwasser-Verunreinigungen mit wasserlöslichen Teeröl-Inhaltsstoffen. Wenn diese mindestens ein Fremdatom wie Stickstoff, Schwefel oder Sauerstoff in den ringförmigen Kohlenwasserstoff-Molekülen enthalten (NSO-Heterozyklen), erhöht sich die Wasserlöslichkeit der Stoffe und verändert sich ihr toxikologisches Profil. Aus der erhöhten Löslichkeit kann sich auch eine größere Reichweite und räumliche Verbreitung im Grundwasserabstrom ergeben: Nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand lassen sich Teer-Kontaminationen in einer Altlast auf alle

im Teer enthaltenen ca. 10 000 Schadstoffe analysieren. Deshalb einigte sich die LAWA nach umfangreichen Recherchen auf die Untersuchung von 92 prioritären Stoffen.

SCHWELLEN DER VERUNREINIGUNG

In der anerkannten Bewertungspraxis gilt die GFS als Maß für eine Grundwasser-Verunreinigung. Sie bildet die Grenze zwischen einer geringfügigen Veränderung der chemischen Beschaffenheit des Grundwassers und einer schädlichen Verunreinigung. Unterhalb der Schwelle sind, trotz einer Erhöhung gegenüber regionalen Hintergrundwerten, keine ökotoxischen Wirkungen zu erwarten. Auch die Anforderungen der Trinkwasserverordnung oder entsprechend abgeleitete Werte werden eingehalten.

Mit den GFS soll das Grundwasser überall für den menschlichen Gebrauch als Trinkwasser nutzbar bleiben und als Lebensraum intakt gehalten werden. Sollten bei der Trinkbarkeit und bei den ökotoxikologischen Kriterien un-

Verunreinigungen des Grundwassers sind dann geringfügig, wenn sie nicht ökotoxisch sind und die Anforderungen der Trinkwasserverordnung einhalten.

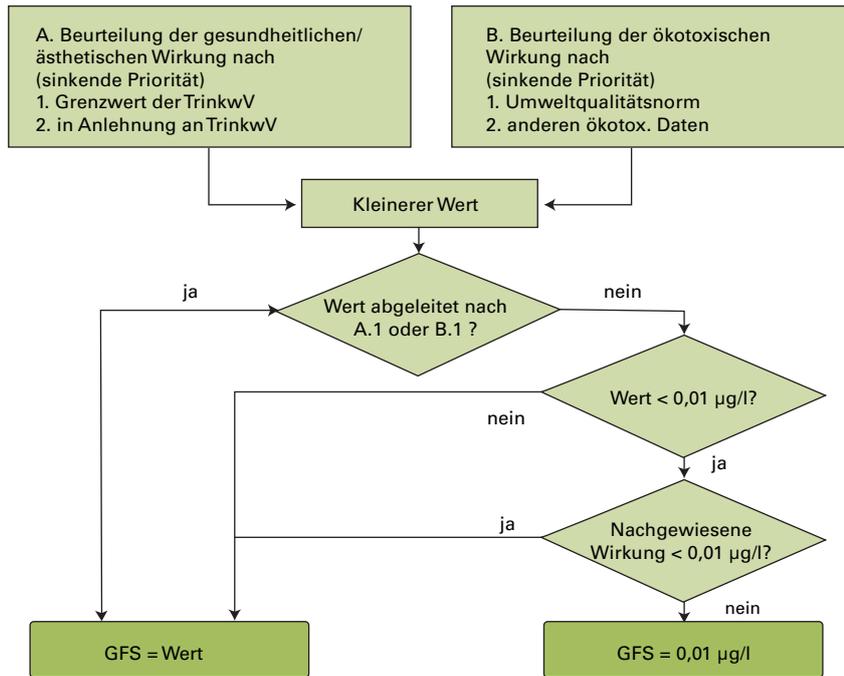


Teer im Boden



Sanierung von Altlasten

GERINGFÜGIGKEITSSCHWELLEN



Ableitungsschema für Geringfügigkeitsschwellen (GFS) nach LAWA (2004)

verschiedene Werte abgeleitet werden, soll der niedrigere Wert als GFS festgelegt werden. Die GFS von Stoffen, die derzeit noch nicht abschließend zu bewerten sind, sollen nach unten auf 0,01 Mikrogramm pro Liter begrenzt werden.

ZWÖLF NEUE GFS-WERTE ERARBEITET

Die Experten recherchierten Daten zur ökotoxikologischen Bewertung und zur sensorischen Wahrnehmungsschwelle der o. g. 92 prioritären Stoffe. Nach der Bewertungsvorschrift der LAWA von 2004 konnten für zwölf ausreichend getestete Stoffe GFS-Werte abgeleitet werden. In Fällen, in denen sich eine GFS nur auf eine ökotoxikologische Bewertung

stützen konnte, wurde das Ergebnis mit Hilfe des Konzepts der gesundheitlichen Orientierungswerte (GOW = Obergrenze des gesundheitlichen Vorsorgebereiches) des Umweltbundesamtes von 2003 geprüft. Als Ergebnis der Recherche und Bewertung der Daten konnten fast alle Substanzen weniger streng bewertet werden als ursprünglich vorgeschlagen. Für die mangels toxikologischer Daten nicht bewertbaren Stoffe soll weiterhin der Summenwert für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) gelten, von denen einige Krebs erregend sind. Damit wird auch hierfür ein ausreichendes Schutzniveau für das Grundwasser-Ökosystem und die Trinkwasser-Ressource erreicht.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Für zwölf Schadstoffe aus Teerölen wurden neue Geringfügigkeitsschwellen (GFS) erarbeitet.
- Damit kann bei Altlasten schneller entschieden werden, ob eine Sanierung notwendig ist.

WEITERE INFORMATIONEN

<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/1208/>

LUBW (2012): Teeröle im Grundwasser jetzt besser bewertbar - Neue bundesweit gültige Beurteilungswerte.

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
ID Umweltbeobachtung U12-S02-N11

KONTAKT

Dr. Theo von der Trenck
theo.v.d.trenck@lubw.bwl.de



Nitrophytische Flechtenarten



Chaenotheca furfuracea



Flechtenbewuchs auf Buchen

Bessere Luft lässt Flechten gedeihen

Flechten sind wichtige Bioindikatoren für die Luftgüte. Im Laufe der Jahre nahm die Zahl der verschiedenen Flechtenarten insgesamt und besonders auch die der seltenen Arten zu. Dabei hat sich auch die Zahl Wärme liebender Arten allein zwischen 1996 und 2009 verdoppelt.

Flechten entstehen durch die Symbiose eines Pilzes mit einer Alge.

FLECHTEN ZEIGEN LUFTGÜTE AN

Flechten reagieren sehr empfindlich auf Veränderungen der Luftfeuchte und der Luftinhaltsstoffe. Daher untersuchen Wissenschaftler besonders die auf Baumrinden lebenden Flechten, wenn sie die Luftqualität und Umweltbedingungen an einem Standort bewerten wollen. Die Krustenflechte *Lecanora conizaeoides* war in den 1980er Jahren in den vom „Saurer Regen“ besonders betroffenen Gebieten oft die einzige Flechte, die nicht nur überleben konnte, sondern sogar durch die schwefelhaltigen Niederschläge gefördert wurde. Sie gilt deshalb als so genannter Säurezeiger. Seit Mitte der 1990er Jahre ist diese Krustenflechte durch die Entschwefelung der Abgase in ganz Baden-Württemberg so stark auf dem Rückzug, dass sie an vielen Standorten nicht mehr gefunden wurde.

Seit Mitte der 1980er Jahre werden Flechten

als Bioindikatoren an den Wald-Dauerbeobachtungsflächen (DBF) des Landes von der LUBW kartiert und ausgewertet.

FLECHTENZAHLEN NEHMEN ZU

Die Zahl der Flechtenarten insgesamt hat an den Wald-DBF im Laufe der Jahre stetig zugenommen. Im Jahr 2009 wurden 171 Flechtenarten auf nur 30 Flächen kartiert, während es 1996 (2002) lediglich 127 (131) Arten auf jeweils 60 Flächen waren. Auch die Flechten, die gegenüber hohen Stickoxidgehalten in der Luft tolerant sind, die nitrophytischen Flechten, haben zugenommen. Seit der Untersuchung in 1996 sind aber auch 29 Arten nicht mehr gefunden worden. Demgegenüber ist die Zunahme seltener Arten als positive Entwicklung zu werten. Zehn der neu gefundenen Arten gelten als „vom Aussterben bedroht“, eine galt sogar als „ausgestorben oder verschollen“.



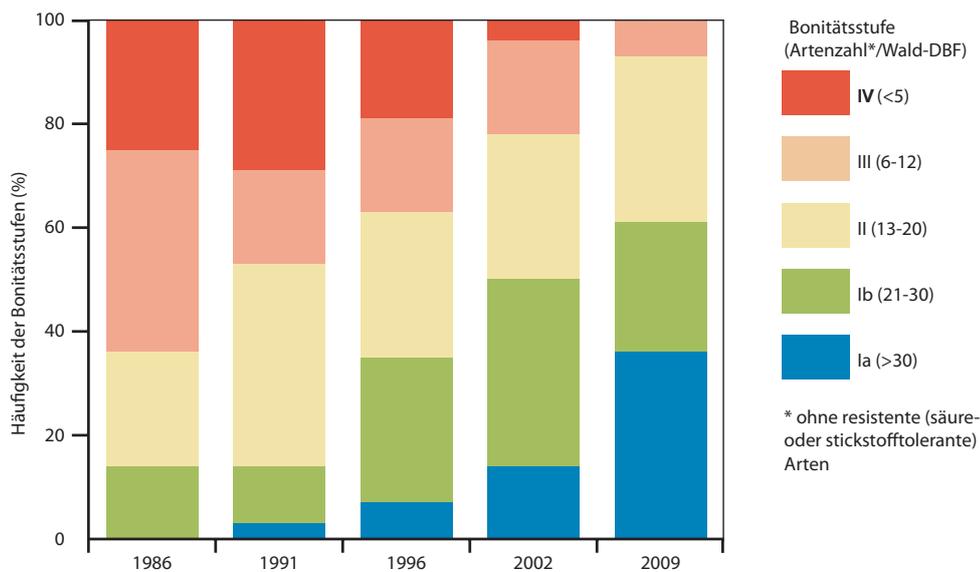
Zählgitter zur Flechtenerhebung



Xanthoria polycarpa

LUFT

FLECHTEN-BONITÄTSSTUFEN



Zeitliche Veränderung der Flechten-Bonitätsstufen von 1986 bis 2009 (30 Wald-Standorte)

LUFT MEISTENS BESSER

Mehr Flechtenarten stehen in der Regel für eine geringere Schadstoffbelastung der Luft. Demnach hat sich die Luftqualität an 18 von 30 Standorten im Jahr 2009 gegenüber 2002 verbessert. Die Flächen mit den schlechtesten Bonitätsstufen (IV) liegen im Rheintal, im Odenwald und in Stuttgart. Seit 1996 hat sich die Zahl der Standorte mit der besten Bonitätsstufe (Ia) verfünffacht. Standorte mit der schlechtesten Bonitätsstufe wurden 2009 erstmals nicht mehr nachgewiesen.

KLIMAINDIKATOREN

Flechten reagieren auf Temperatur, mehr noch aber auf die Luftfeuchtigkeit. Deshalb kommen zum Beispiel in den kühl-feuchten Höhenlagen des Schwarzwaldes naturgemäß mehr Arten vor, als in den wärmeren, aber auch trockeneren Tieflagen des Rheintales. Im Zuge der Zunahme der Flechtenarten im Land hat sich auch die Zahl atlantischer und mediterraner Arten deutlich erhöht. Offen bleibt, ob dies eine ausschließliche Folge des Klimawandels ist.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Zunahme von Flechtenarten zeigt eine Verbesserung der Luftqualität im Land.
- Klimawandel hat die Flechtenvielfalt erhöht. Weitere Arten mit atlantischem oder mediterranem Verbreitungsschwerpunkt werden erwartet.

WEITERE INFORMATIONEN

Flechten in Baden-Württemberg
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56142/>

LUBW [Hrsg.] (2010): Flechtenerhebung an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg – Kartierung 2009 und Auswertung der Erhebungen von 1986 bis 2009 (Bearb.: Stapper, N. J.).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U51-M312-J09

KONTAKT

Kay Rahtkens
kay.rahtkens@lubw.bwl.de



Bioindikator Buchenblatt



Waldreiches Baden-Württemberg



Buchenwaldstandort bei Bebenhausen

Buchenblätter: mehr Stickstoff, weniger Schadstoffe

Während die mittleren Stickstoffkonzentrationen in Buchenblättern im Wald anstiegen, gingen die Bleigehalte bei Pflanzenproben aus Wald- und Grünland deutlich zurück. Bei den Schwefelgehalten zeigt sich für den Wald kein einheitlicher Trend.

Viele Schadstoffe werden über den Luftpfad eingetragen. Zunächst verursachten Blei und Schwefel massive Umweltprobleme. Jetzt belasten u. a. Stickoxide Luft und Lebewesen.

NÄHR- UND SCHADSTOFFE

Die LUBW untersucht seit 1985 auf Wald-Dauerbeobachtungsflächen (DBF) und Grünland-DBF Pflanzenproben auf verschiedene Nährstoffe und Schwermetalle. Zunächst wurden die Proben regelmäßig auf die Schwermetalle Blei, Cadmium, Zink sowie Mangan analysiert. Später kamen die Elemente Arsen, Antimon, Eisen, Kobalt, Chrom, Kupfer, Nickel, Vanadium, Titan und Quecksilber hinzu. Ziel ist es, die regionale Immissionsbelastung der Vegetation auf den DBF zu charakterisieren.

STEIGENDE STICKSTOFFGEHALTE

An allen Wald-Standorten sind die Stickstoffkonzentrationen in Buchenblättern zwischen der ersten und der letzten Erhebung angestiegen, im Durchschnitt um rund 16 Prozent. Trotz allgemein abnehmender Stickoxidemissionen können die immer noch hohen anthropogen bedingten Gehalte in der Luft zu einer Anreicherung im Boden führen. Dadurch steht

den Pflanzen mehr wachstumsfördernder Stickstoff zur Verfügung. Die drei Standorte mit den höchsten Werten in 2011 sind: Tauberbischofsheim: 32 500 mg N/kg TS; Welzheim: 29 250 mg N/kg TS; Zwiefalten: 29 150 mg N/kg TS. Das Plus an Stickstoff kann die Artenzusammensetzung in nährstoffarmen Ökosystemen mittel- bis langfristig verändern.

SCHWEFEL IN BUCHENBLÄTTERN

Die allgemeine, immissionsbedingte Schwefelbelastung hat sich im Laufe der 1990er Jahre deutlich verringert. Dies ist auf internationale und nationale Luftreinhaltestrategien sowie auf den wirtschaftlichen Umbruch in Mittel- und Osteuropa zurückzuführen. In Baden-Württemberg kann auf den Waldstandorten ein geringfügiger Anstieg auf das Niveau Mitte der 1980er Jahre festgestellt werden. Damit ergeben sich andere Verhältnisse als im Grünland. Dort lässt sich ein Rückgang der Schwefeldepositionen nachweisen.



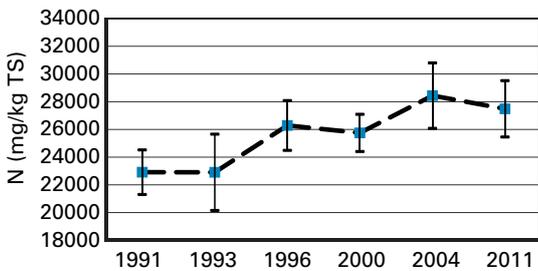
Buschwindröschen, ein typischer Waldbewohner



Vorbereitung zur Blattanalyse

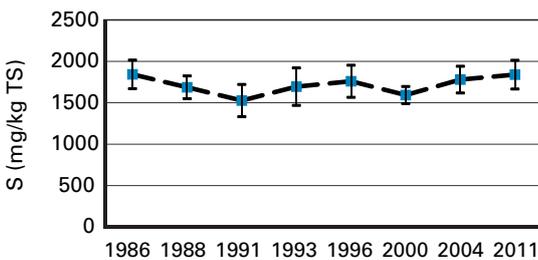
LUFT

STICKSTOFF IN BUCHENBLÄTTERN



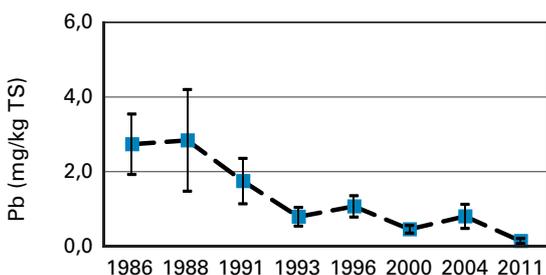
Mittlere Gehalte und Streubreite von Stickstoff in Buchenblättern (in mg/kg Trockensubstanz, 14 Standorte)

SCHWEFEL IN BUCHENBLÄTTERN



Mittlere Gehalte und Streubreite von Schwefel in Buchenblättern (in mg/kg Trockensubstanz, 14 Standorte)

BLEI IN BUCHENBLÄTTERN



Mittlere Gehalte und Streubreite von Blei in Buchenblättern (in mg/kg Trockensubstanz, 14 Standorte)

WENIGER BLEI

Zwischen 1988 und 2011 ging der Bleigehalt in den Pflanzenproben der Wald-DBF stark zurück. Anfang der 1990er Jahre wurden noch hohe Konzentrationen dieses Schwermetalls in den Pflanzen nachgewiesen. Danach sanken die Immissionsbelastungen aufgrund des Verbotes von Blei in Kraftstoffen kontinuierlich

ab. Die Bleigehalte in den Buchenblättern sind an allen Standorten um über 90 Prozent zurückgegangen. Vielfach liegen die Werte 2011 jetzt unterhalb der Bestimmungsgrenze. Dies war in den 1980er und 1990er Jahren nicht der Fall.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Stickstoffkonzentrationen stiegen in Buchenblättern in allen Landesteilen an.
- Bleigehalte in den Pflanzen sind infolge der Einführung bleifreier Kraftstoffe deutlich zurückgegangen.
- Rückgang der immissionsbedingten Schwefelkonzentrationen ist im Grünland nachweisbar.

WEITERE INFORMATIONEN

Monitoring Waldökosysteme
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56449/>

LUBW [Hrsg.] (2009): Analyse der Vegetationsentwicklung im Wald von 1985 bis 2007 (Bearb.: Holz, I. et al.).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U51-M32-J08.

KONTAKT

Dr. Jürgen Zipperle
juergen.zipperle@lubw.bwl.de



Saurer Regen beeinträchtigt Ökosysteme



Versauerter Bach im Schwarzwald



pH-Wert-Messung von Bachwasser

Der Regen ist nur noch halb so sauer

Die durch den „Sauren Regen“ verursachten Umweltschäden sind dank umfassender Luftreinhaltemaßnahmen seit Mitte der 1980er Jahre deutlich zurückgegangen. Böden und Gewässer sind heute viel weniger von der Versauerung betroffen.

Der pH-Wert ist ein Maß für den Säuregehalt einer wässrigen Lösung. Je saurer eine Lösung, umso niedriger ist der Wert. Aluminium-Toxizität wird hervorgerufen durch freie Aluminium-Ionen (Al^{3+}). Unterhalb eines pH-Wertes von 4,2 kommt es zu einer verstärkten Mobilisierung von Al^{3+} in Böden und zum Austrag in Gewässern.

VERSAUERUNG VON BÖDEN UND GEWÄSSERN

Die Versauerung der Umwelt war in den 1980er und 1990er Jahren eines der großen Umweltthemen. Deshalb wurden Ursachen und Ausmaß der atmosphärischen Säureinträge und ihre Auswirkungen auf Organismen erfasst. Die LUBW hat die Ergebnisse landesweit für besonders versauerungsgefährdete Gebiete medienübergreifend ausgewertet. Als Bioindikatoren für Seen und Flüsse untersuchen die Experten Bachforellen, Amphibien und wirbellose Wassertiere (Makrozoobenthos).

SÄUREEINTRÄGE HALBIERT

Die atmosphärischen Säureinträge haben sich in Baden-Württemberg in den letzten 25 Jahren im Mittel von 2,0 auf 1,0 Kilomol Säureäquivalent je Hektar und Jahr halbiert. In Folge ist der pH-Wert im Niederschlag von pH 4,6 bis auf circa pH 5 gestiegen. Hauptursache dafür sind drastisch verringerte Schwefeldioxid-Emissionen. Die vom Menschen erzeugten

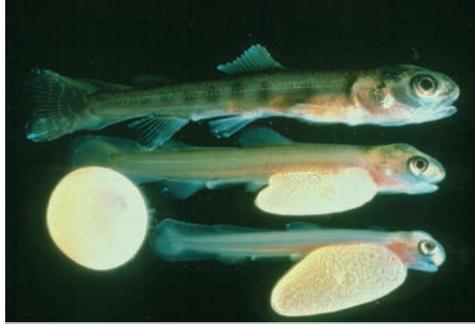
Säureinträge werden vor allem durch weiterhin hohe Stickstoffemissionen aus Verkehr, Industrie und Landwirtschaft verursacht.

FRÖSCHEN UND FORELLEN GEHT ES BESSER

In den 1980er Jahren schadete die anthropogene Gewässerversauerung den Amphibien, besonders in ohnehin schon von der Natur aus sauren Gewässern. Seit Mitte der 1990er Jahre sind die Schäden, beispielsweise an Laich und Larven des Grasfrosches, in fast allen untersuchten Schwarzwaldseen deutlich zurückgegangen. Außerdem wurden im Jahr 2012 erstmals wieder in ehemals stark sauren Seen (u. a. Schurmsee, Kaltenbachsee, Buhlbachsee) wieder Populationen der Erdkröte, der säureempfindlichsten Amphibienart, nachgewiesen. Auch den Bachforellen in den Fließgewässern geht es 2012 besser. Heute leben in acht von elf untersuchten Bächen in den versauerungsgefährdeten Gebieten mehr Bachforellen als in den Jahren bis 1995, meist in einer gesunden



Säuregeschädigte Bachforelle



Entwicklungsstadien der Bachforelle (vom Ei zum Jungtier)

LUFT

Mischung alter und junger Fische. Im Kaltenbach im Nordschwarzwald gibt es aufgrund von Versauerung keine Bachforellen mehr. Auch in den beiden untersuchten Odenwäldchen (Steinbach, Bärenbach) waren die Bachforellenpopulationen in den 1980er Jahren durch Versauerung beeinträchtigt. Bis 2006 verstärkte sich dieser Trend. Im Untersuchungsjahr 2012 hat sich die Bestandssituation verbessert.

Besonders toxisch auf Fische wirken Aluminium-Ionen, die sich bei niedrigen pH-Werten in sauren Böden lösen und nach Starkregen oder während der Schneeschmelze vermehrt in die Gewässer gelangen. Im Nordschwarzwald korrespondiert bis 2006 die Erholung der Bachforellenpopulationen mit einer deutlichen Abnahme der Aluminiumgehalte in den Fischlebern. Im Jahr 2012 wurde ein Anstieg der Aluminiumgehalte in den Fischlebern festgestellt. Ob sich dies auf die Populationen aus-

wirken wird, muss in den Folgejahren untersucht werden. Die Aluminiumgehalte liegen jedoch weit unterhalb der Werte aus der Anfangszeit der Untersuchungen. Die Verbesserung der Fließgewässersituation wird auch durch die Zunahme von säureempfindlichen Arten des Makrozoobenthos bestätigt. Mit den Befunden aus den Untersuchungen mit Regenwürmern wird ebenso ein Rückgang der Versauerung in Waldböden belegt.

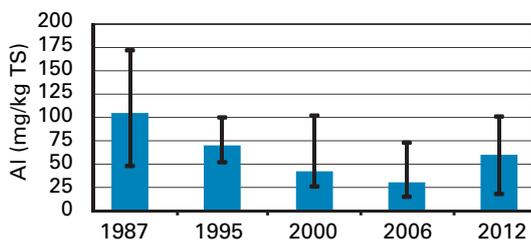
SAURE GRUNDWÄSSER EHER SELTEN

Natürlich saure Böden und anthropogen verstärkt versauerte Grundwässer mit pH-Werten < 6,5 treten in schwach gepufferten Gebieten im Schwarzwald und Odenwald auf. Diese machen rund 20 Prozent der Landesfläche aus. Seit Mitte der 1990er Jahre wurden extrem niedrige pH-Werte erheblich seltener gemessen. Die Versauerungssituation hat sich damit stabilisiert.

SIGNALE AUS DER NATUR

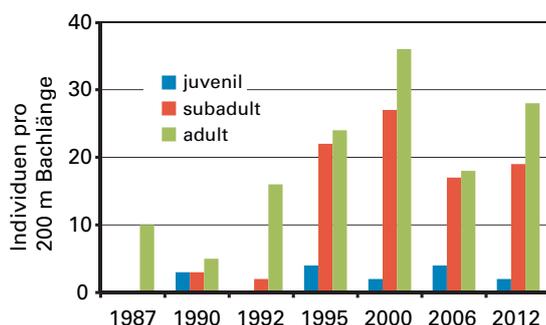
- Die Säureinträge haben sich in den letzten 25 Jahren halbiert. Folge: Verbesserung der Lebensraumqualität. Die Stickstoffeinträge sind jedoch weiterhin zu hoch.
- Fisch- und Amphibienbestände zeigen einen Trend zur Erholung.
- Anthropogen versauerte Grundwässer treten noch vereinzelt im Nordschwarzwald und im Odenwald auf.

METALLBELASTUNG VON BACHFORELLEN



Mittlere Aluminiumgehalte und deren Minimum-/Maximum-Werte (Spannweite, Mittelwerte) in Lebern von Bachforellen (4 Bäche des Nord- und des Mittleren Schwarzwaldes mit 5 Fischen pro Bach und Jahr; TS = Trockensubstanz)

ENTWICKLUNG DER ALTERSSTRUKTUR



Entwicklung der Bachforellenpopulation im Wälzbach/Nordschwarzwald

juvenil = jugendliche Individuen, subadult = halbwüchsige Individuen, adult = erwachsene Individuen

WEITERE INFORMATIONEN

Versauerung in Baden-Württemberg
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56177/>

LUBW (2010): Bericht zur Versauerung der Umwelt.

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U93-S1-J09

KONTAKT

Kay Rahtkens
kay.rahtkens@lubw.bwl.de



Schimmelpilz *Aspergillus*



Schimmelpilz *Cladosporium*



Luftprobennahme Schimmelpilze

Gesundheitsrisiko durch Bioaerosole?

Bioaerosole sind luftgetragene Teilchen biologischer Herkunft, die zum Beispiel von Abfallverwertungsanlagen frei gesetzt werden können. Um mögliche Gesundheitsrisiken durch Bioaerosole bewerten zu können, müssen Messverfahren entwickelt werden.

VORKOMMEN UND WIRKUNGEN

Bioaerosole biologischer Herkunft wie Schimmelpilze, Bakterien und Viren sind natürliche Bestandteile der Luft. Das Größenspektrum dieser biologischen Teilchen reicht von weniger als 1 Mikrometer (μm) bis etwa 10 μm . Bioaerosole sind damit Feinstaub. Vor allem Schimmelpilze und Bakterien spielen eine wesentliche Rolle im Stoffkreislauf, beim Abbau organischen Materials.

Gesundheitliche Auswirkungen sind vor allem bei Beschäftigten in der Kompostierung und Recyclingwirtschaft sowie in der Intensiv-Landwirtschaft bekannt. Die Erkrankungen betreffen vorwiegend die Atemwege (z. B. „Farmerlunge“) und reichen von entzündlichen Reizsymptomen oder Einschränkungen der Lungenfunktion über Allergien bis hin zu Infektionen.

Beschwerden über Geruchsbelästigungen in der Umgebung solcher Anlagen führten zur Frage, ob Bioaerosole auch für die Anwohner gesundheitliche Folgen haben können. Bei den

mit der Entfernung von der Anlage sinkenden Konzentrationen spielen vor allem Allergierisiken für die Anwohner eine Rolle. Gesundheitsrisiken von Bioaerosolen können bisher nicht quantitativ eingeschätzt werden. Somit gibt es keine gesundheitlich begründeten Grenzwerte. Deshalb wird derzeit eine Richtlinie zur umweltmedizinischen Bewertung von Bioaerosol-Immissionen unter Mitwirkung der LUBW erarbeitet.

MESSVERFAHREN FÜR BIOAEROSOLE

Die LUBW ist seit Jahren an der Standardisierung von Messverfahren für Bioaerosole beteiligt. Seit 2003 nimmt die LUBW mit diesen Verfahren Hintergrundmessungen vorwiegend zu Schimmelpilzen vor. Weitere Untersuchungen werden beispielsweise zur Frage nach Leitkeimen an bestimmten Anlagentypen der Abfall- und Recyclingwirtschaft wie Altpapier, Holzverwertung oder Wertstoffsartierung durchgeführt. Ein Projekt, in dem für ausgewählte Anlagen solche Leitkeime ermittelt

Bioaerosole sind unter anderem lebende oder tote Mikroorganismen wie Viren, Bakterien, Pilze/Hefen, Blütenpollen oder Sporen.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Anlagen der Abfallwirtschaft und der Intensivtierhaltung können vermehrt Bioaerosole freisetzen.
- Für Anwohner können sich Gesundheitsbeeinträchtigungen wie Allergien ergeben.
- Als Grundlage für die umweltmedizinische Bewertung werden anlagenspezifische „Leitkeime“ gesucht.

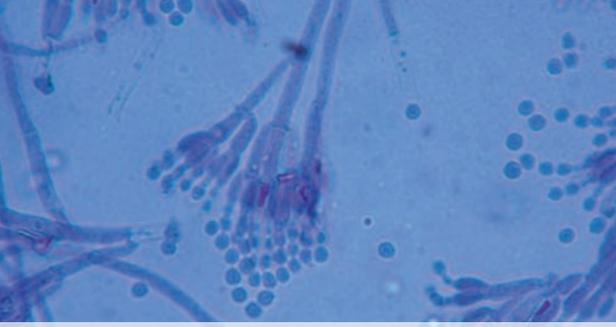
WEITERE INFORMATIONEN

Bioaerosolmonitoring
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56163/>

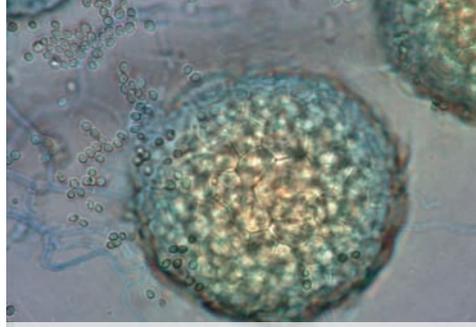
LUBW (2011): Monitoring Bioaerosole 2009/2010.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U43-S03-J10

KONTAKT

Dr. Irene Tesseraux
irene.tesseraux@lubw.bwl.de



Schimmelpilz *Penicillium*



Schimmelpilz *Eurötium*

werden konnten, hat die LUBW im Frühjahr 2011 abgeschlossen.

STARKE JAHRESZEITLICHE VARIATION

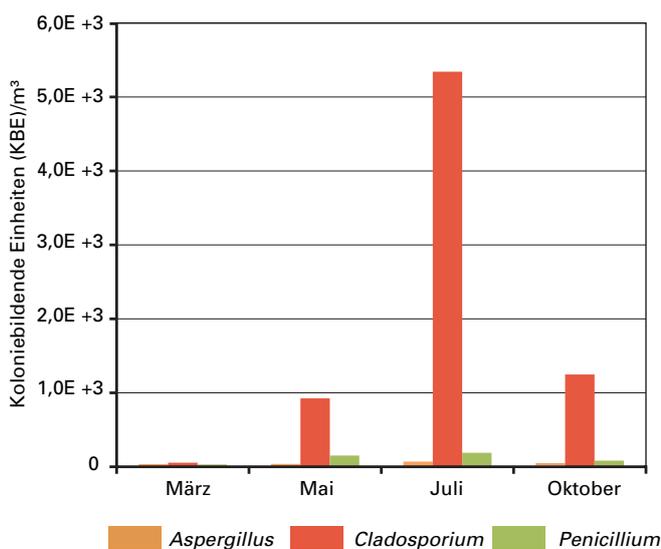
Die während mehrerer Jahre durchgeführten Messungen zeigten, dass Schimmelpilzkonzentrationen in den Sommer- und Herbstmonaten bis zu drei Größenordnungen höher sein können als im Winter. Weiterhin war zu beobachten, dass diese erhöhte Konzentration in der Hintergrundluft ganz überwiegend an dem vermehrten Auftreten bestimmter Schimmelpilze (Gattung *Cladosporium*) liegt, während andere Gattungen und Spezies das ganze Jahr über kaum Konzentrationsunterschiede aufweisen. Aufgrund der jahreszeitlichen Variationen können Bioaerosolmessungen an Anlagen nur im

Vergleich zum zeitgleich gemessenen Hintergrund bewertet werden.

LEITKEIME

Für einige Anlagentypen wurden bereits bestimmte Leitkeime identifiziert, die typischerweise bei Prozessen in diesen Anlagen vermehrt vorkommen. So ist zum Beispiel für Kompostierungsanlagen die Schimmelpilzart *Aspergillus fumigatus* zu nennen. Bei Tierhaltungsanlagen ist als Bakterien-Leitkeim *Staphylococcus aureus* bekannt. Für viele auch neu entstehende Anlagentypen wie im Bereich des Recycling oder der Gewinnung erneuerbarer Energien aus Reststoffen hat die Suche nach spezifischen und eventuell gesundheitlich relevanten Leitparametern für die Beurteilung der Außenluftbelastung aber erst begonnen.

KONZENTRATIONEN VON DREI SCHIMMELPILZGATTUNGEN



Konzentrationen von drei Schimmelpilzgattungen in der Außenluft an einem Hintergrundmessort (Rheinmessstation Karlsruhe Maxau) an ausgewählten jahreszeitlichen Terminen in 2007 - 2009. Mittelwerte aus zwei oder drei parallel genommenen 24-Stunden-Proben. Messdaten aus den Jahren 2007 - 2009



Unpigmentierte Springschwänze



Versauerter Waldoberboden



Isotoma tigrina

Springschwänze reagieren auf Umweltveränderungen

Neben Regenwürmern sind auch Springschwänze wichtig für die Humusbildung. Beide Tiergruppen reagieren sensibel auf Umweltveränderungen. An den untersuchten Waldstandorten nahm seit Mitte der 1980er Jahre die Anzahl der Springschwanz-Arten zu.

BODENTIERE ALS BIOINDIKATOREN

Eine der individuen- und artenreichsten Tiergruppen im Boden sind die Springschwänze (Collembola). An 18 von 1986 bis 2011 untersuchten Wald-Dauerbeobachtungsflächen (Wald-DBF) wurden 138 Collembolen-Arten nachgewiesen. Mit ihrer Ernährungsweise spielen Springschwänze eine große Rolle für die Humusbildung. Mit ökologischen Zeigerwerten der Arten für Temperatur, Säure- und Nährstoffzustand der Böden können Rückschlüsse auf Umweltveränderungen gezogen werden.

Springschwänze (Collembola) sind kleine bis wenige Millimeter große, im Boden lebende Tiere. Sie ernähren sich von abgestorbenem Pflanzenmaterial und Pilzen.

MEHR SPRINGSCHWÄNZE

Die Untersuchungsergebnisse weisen Gemeinschaften von Springschwänzen mit Individuendichten zwischen wenigen tausend und annähernd 100 000 Tieren pro Quadratmeter aus. An vielen Standorten sind die Individuendichten 2011 deutlich höher als zu Beginn der Untersuchungsreihen; es gibt auch Probestellen

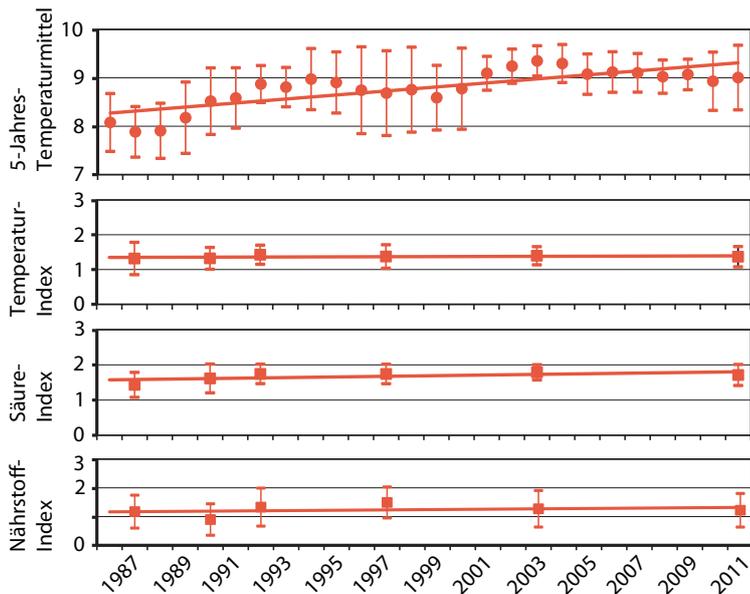
mit abnehmender Tendenz (Weinheim, Hausach, Freiburg). Vor allem im Sommer und Herbst des sehr trockenen Jahres 2003 sind an mehr als der Hälfte der Standorte deutlich geringere Individuendichten festgestellt worden. Die Anzahl der Collembolen-Arten schwankt in Abhängigkeit von den standörtlichen Bedingungen. Im Laufe der Zeit wurden fast überall höhere Artenzahlen festgestellt. Die Zunahme von Individuendichten und Artenzahlen pro Standort deutet auf eine grundsätzliche Verbesserung der Lebensbedingungen in Böden hin, die zwischenzeitliche Abnahme im Jahr 2003 auf Trockenstress.

SPRINGSCHWÄNZE ZEIGEN RÜCKGANG DER VERSAUERUNG AN

Zunehmend mildere Winter können zu Veränderungen der Bodentiergemeinschaften führen. Jedoch zeigt der häufigkeitsgewichtete Wärmeindex für Collembolen im Untersuchungszeitraum noch keine Änderung der Ar-



BIOINDIKATION MIT SPRINGSCHWÄNZEN



Gewichtete Zeiger-Werte von Collembolen. Mittelwerte aus 18 Wald-DBF von 1986 bis 2011 im Vergleich zur Lufttemperaturentwicklung. Die Standardabweichung gibt die Streubreite zwischen den Standorten an. Mittlere Jahreslufttemperatur mit Streubreite über fünf Jahre (Daten DWD)

tengemeinschaft an. Bisher sind allerdings erst wenige Wärme liebende Arten in den Waldböden nachgewiesen worden.

In den 1980er und 1990er Jahren waren auch Bodentiere von der natürlichen und anthropogenen „Versauerung“ der Umwelt betroffen. Einige Springschwanz-Arten ertragen Säurestress schlechter (acidophobe Arten), andere besser (acidophile Arten). Nach wie vor kommen in den versauerungsgefährdeten Gebieten des Schwarzwaldes und Odenwaldes deutlich mehr acidophile (6 bis 9 Arten) als acidophobe Arten (1 bis 3 Arten) vor. In den anderen Regionen ist das Verhältnis ausgeglichener. Insgesamt steigt der berechnete Index für die Säurezeiger der Collembolen zu

Beginn der Untersuchungsreihe im Mittel der Probestellen an. Damit weist die Bewertung eine Verringerung des Säuregrades der Waldböden aus. Auch der Nährstoffindex zeigt einen leichten Anstieg in Richtung nährstoffreicher Bodenverhältnisse.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Lebensbedingungen in Böden haben sich für Springschwänze verbessert.
- Springschwänze haben in Arten- und Gesamtzahl zugenommen.
- Indikatoren belegen den Rückgang der Versauerung der Böden.

WEITERE INFORMATIONEN

Bodenfauna Baden-Württemberg
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56185/>

LUBW [Hrsg.] (2012): Collembolen an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (Bearb.: Griegel, A.).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U74-M316-J11

LUBW [Hrsg.] (2007): Collembolen an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg (Bearb.: Balkenhohl, B. & D. Russell).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U74-M316-J07

KONTAKT

Dr. Michael Marten
michael.marten@lubw.bwl.de
 Kay Rahtkens
kay.rahtkens@lubw.bwl.de



Bodenprofil mit Regenwurm



Lumbricus castaneus



Regenwurmbestimmung

Lebensraumqualität von Waldböden verbessert

Die Schwermetallgehalte von Regenwürmern in Waldböden waren in den versauerungsgefährdeten Gebieten des Schwarzwaldes in den 1980er Jahren deutlich höher als heute. In diesen Gebieten hat es eine Verbesserung der Lebensraumqualität gegeben. Der Klimawandel kann die Regenwurmfauna zukünftig beeinträchtigen.

BIOINDIKATOR REGENWURM

Die LUBW untersucht Regenwürmer schon seit Mitte der 1980er Jahre. Die Bodentiere nehmen Schadstoffe wie Schwermetalle aus dem Boden auf. Mit Hilfe der Regenwurmart *Lumbricus rubellus* wird die Toxizität aktueller Schwermetallgehalte im Boden bewertet. Die Schadstoffe reichern sich jedoch nur in Tieren an, die in sauren und sehr sauren Böden leben, da Schwermetalle erst bei niedrigen pH-Werten in stärkerem Ausmaß verfügbar sind.

SCHWERMETALLE IN WALDBÖDEN

Die ersten landesweiten Untersuchungen aus den Jahren 1985/1986 zeigten eine große Variation an Schwermetallgehalten auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen (Wald-DBF). Die mit Abstand höchsten Blei- und Cadmiumgehalte enthielten die Regenwürmer im Schwarzwald und im Odenwald sowie in Teilen des Keuperberglandes mit Maximalgehalten von

958 mg Pb/kg und knapp 30 mg Cd/kg. Zum einen dominieren hier Böden und Ausgangsgesteine, die Säuren schlecht abpuffern können. Zum anderen sind in dieser Region die Niederschläge und damit Säureeinträge überdurchschnittlich hoch.

Für Blei werden auch heute noch die höchsten Gehalte in den Regenwürmern der versauerungsgefährdeten Gebiete des Schwarzwaldes und des Odenwaldes gemessen. Diese Werte liegen in der Regel deutlich niedriger als zu Beginn der Untersuchungen. Die Bleigehalte dieser Regionen sind nach wie vor um ein Vielfaches höher als in anderen Landesteilen.

In Deutschland gibt es etwa 40 Regenwurmartentypen. Auf den Wald-DBF kommen durchschnittlich nur drei bis fünf Arten vor. Die Regenwurmart *Lumbricus rubellus* lebt überwiegend an der Oberfläche. Andere Arten leben ausschließlich im Mineralboden, z. T. in dauerhaften Röhren. Fällt einer der sogenannten ökolo-

Gesundheitsschädliche Schwermetalle sind unter anderem Cadmium, Blei, Chrom, Quecksilber und Kupfer.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Belastung von Regenwürmern mit Schwermetallen hat in den 1980er und 1990er Jahren deutlich abgenommen.
- Der Klimawandel wird die Regenwürmlebensgemeinschaften regional unterschiedlich beeinflussen.

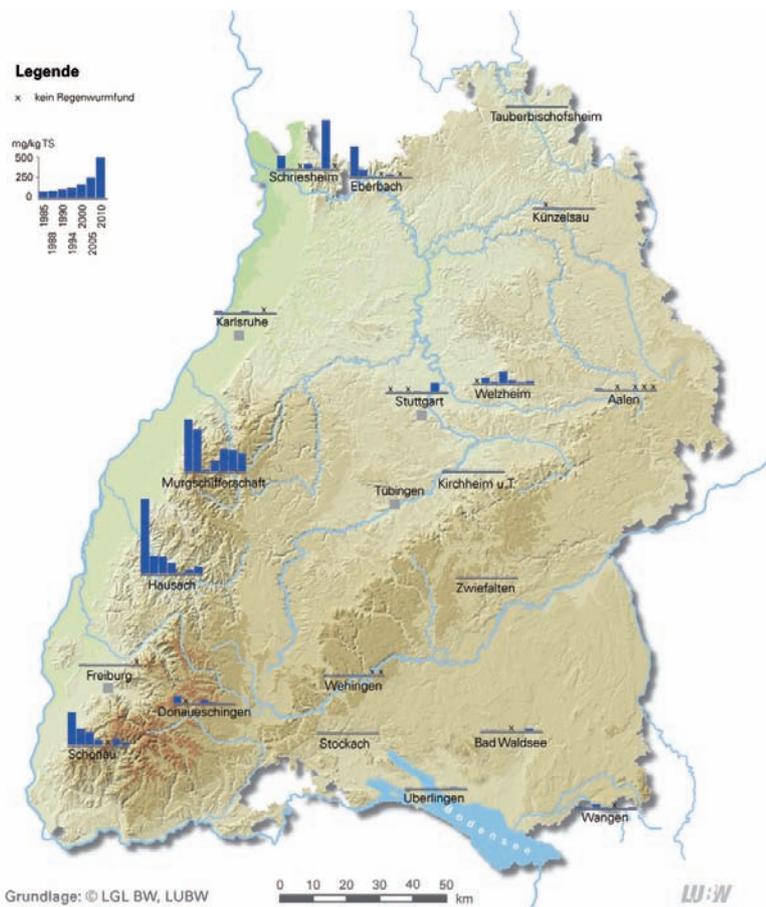
gischen Typen aus, kann sich mittel- bis langfristig der Boden verdichten. Dies hat starke Auswirkungen auf den Boden als Lebensraum.

TROCKENE JAHRE SCHADEN DEN WÜRMERN

Eine Studie im Auftrag der LUBW im Jahr 2008 ergab, dass sich der Klimawandel auf Regenwürmer auswirken kann. Bei mildereren Wintern können die Würmer länger aktiv sein

und haben weniger Verluste durch Frost. Dagegen schaden ihnen die wärmeren und meist auch trockeneren Sommer. Schon jetzt haben trockene Standorte eine geringere Regenwürmpopulation. Besonders ungünstig sind extreme Sommer wie 2003. Sehr nachteilig wären zwei extrem trockene Jahre in Folge. Dies könnte zu einem weitgehenden Ausfall der Regenwürmer an vielen Standorten führen. Eine Wiederbesiedelung würde viele Jahre benötigen.

BLEIGEHALTE IN REGENWÜRMERN



Entwicklung der Bleigehalte in Regenwürmern an 20 Wald-DBF von 1985 - 2010



Beifuß-Ambrosie in Vollblüte



Allergiegefahr durch Ambrosiapollen



Ambrosiapflanze aus Vogelfutter

Ausbreitung der Allergie auslösenden Beifuß-Ambrosie

Der globale Warenaustausch und der Klimawandel fördern Ansiedlung und Ausbreitung gebietsfremder Pflanzenarten wie der Beifuß-Ambrosie. Ihre Pollen können Allergien und Asthma auslösen.

GESUNDHEITLICHE RISIKEN

Die Pollen der um 1860 von Nordamerika nach Deutschland eingeschleppten Beifuß-Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) weisen ein hohes allergenes Potenzial auf. In Deutschland sind 15,7 Prozent der Bevölkerung gegenüber Ambrosiapollen anfällig. Da die Pflanze erst spät im Jahr bis zum Frostbeginn blüht, kann sich die Leidenszeit für Allergiker erheblich verlängern. Andere Pollenallergieauslöser sind zu dieser Jahreszeit bereits verblüht. In Norditalien hat sich die Pflanze in den letzten 20 Jahren rasch ausgebreitet und ist inzwischen einer der Hauptauslöser für inhalative Pollenallergien.

BEIFUSS-AMBROSIE BREITET SICH AUS

Die LUBW hat festgestellt, dass sich die Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg in den letzten beiden Jahrzehnten ausbreitet. Dies hängt hauptsächlich mit der Einfuhr von mit Ambrosiasamen verunreinigtem Vogelfutter zusammen, u. a. aus Ungarn, Rumänien und Kroatien. Dort kommt die Beifuß-Ambrosie

häufig als Unkraut in landwirtschaftlichen Kulturen vor. Zudem werden Ambrosiasamen durch verunreinigten Kompost und Erdaushub verbreitet. Der Umschlag von Agrarprodukten sowie der Transport der Samen entlang von Verkehrswegen tragen ebenfalls zu einer Verbreitung der Pflanze bei. Hinzu kommt, dass der Klimawandel zu einer verlängerten Vegetationsperiode führt. Dies erhöht die Vitalität und Reproduktivität der Art deutlich. Erst mit dem Einsetzen von Frösten wird die Samenreife bei der frostempfindlichen Pflanze unterbunden. Es ist davon auszugehen, dass sich die Beifuß-Ambrosie in Baden-Württemberg weiter rasant ausbreitet, wenn sie nicht bekämpft wird. Dadurch könnten innerhalb von zehn Jahren Bestandsgrößen und ähnlich hohe Pollenemissionen wie in Norditalien auftreten.

BEKÄMPFUNG IST MÜHSAM

In Deutschland existiert keine verbindliche Rechtsgrundlage für die Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie wie z. B. in der Schweiz. Die Bekämpfung wird meist freiwillig von kommunalen

Aufgrund von Erfahrungen in Ländern mit verbreitetem Ambrosiaaufkommen verursacht die Pflanze vor allem Heuschnupfen und Asthma, aber auch allergische Hautreaktionen.



Ambrosia als Unkraut in Getreide



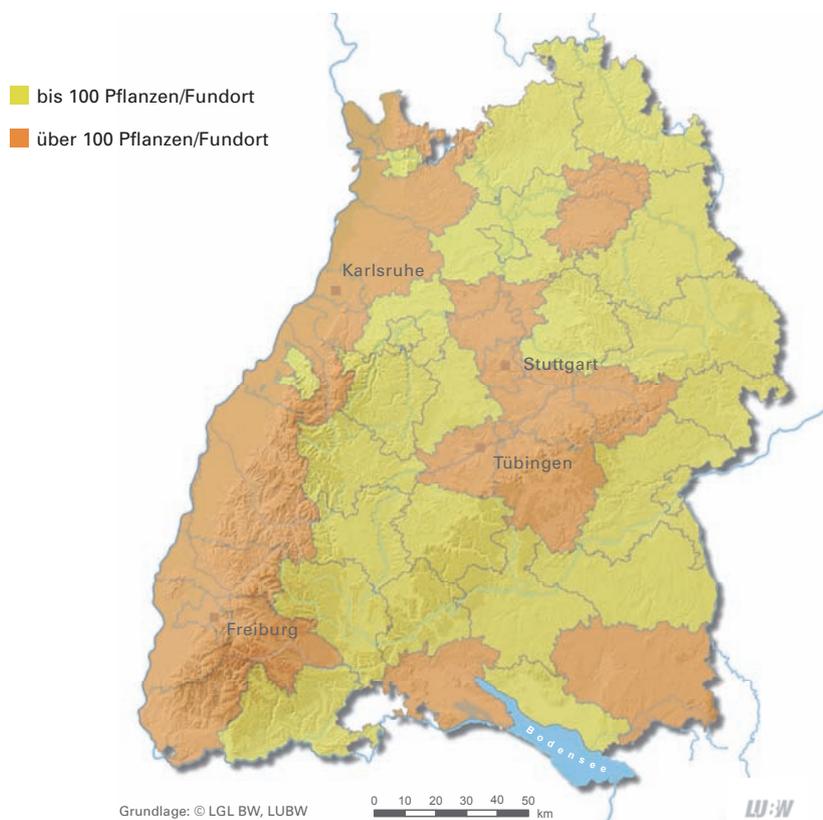
Bekämpfung von Jungpflanzen

PFLANZEN

len und staatlichen Stellen oder von privater Seite vorgenommen. Zur Bekämpfung der Beifuß-Ambrosie muss vorrangig die Blühphase und der damit verbundene Export der Allergie auslösenden Pollen in die Umwelt verhindert werden. Gleichzeitig wird dadurch auch die Samenbildung unterbunden, die die Ursache für die Ansiedlung und Expansion von Ambrosiapflanzen-Beständen ist. Die Bekämpfung erfolgt durch mechanische Maßnahmen wie Ausreißen, Mahd und Umbruch. In einzelnen Fällen werden die Pflanzen auch durch Herbizide bekämpft. In Siedlungsgebieten bedarf es

dafür jedoch einer Ausnahmegenehmigung. Neben der Bekämpfung der Pflanzen ist der Import von verunreinigtem Tierfutter für Vögel und Kleinsäuger zu unterbinden. Die LUBW beobachtet nicht nur die Ausbreitung der Pflanzen im Land, sondern dokumentiert auch die Erfolge bei der Bekämpfung. So konnte die Beifuß-Ambrosie beispielsweise auf ehemals stark befallenen Flächen im Karlsruher und Freiburger Raum zurückgedrängt werden. Zur Information der Öffentlichkeit hat die LUBW eine Meldestelle eingerichtet.

AMBROSIA ARTEMISIIFOLIA FUNDMELDUNGEN 2007 - 2010



Vorkommen von *Ambrosia artemisiifolia* in den Stadt- und Landkreisen Baden-Württembergs

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Beifuß-Ambrosie breitet sich im Land vor allem durch verunreinigtes Vogelfutter aus.
- Allergische Reaktionen sind in der Bevölkerung zukünftig vermehrt zu erwarten.
- Bekämpfungsmaßnahmen zeigen Erfolge und müssen verstärkt fortgeführt werden.

WEITERE INFORMATIONEN

Ambrosia
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/2631/>

LUBW, LGA, SM & UM (2007): Ambrosia-Pflanzen - Ursache für die Zunahme von Allergien?
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U10-U91-N07

KONTAKT

Dr. Harald Gebhardt
harald.gebhardt@lubw.bwl.de



Rapsfelder bei Geislingen



Raps gehört zu den Kreuzblütengewächsen



Rapsernte

Keinen transgenen Raps gefunden

Durch Importe, Freisetzungsversuche sowie Saatgutkontaminationen und aufgrund des hohen Verwilderingspotenzials von Raps können sich gentechnisch veränderte Rapspflanzen auf Ruderal-Standorten ansiedeln. Bisher wurde in Baden-Württemberg auf diesen Standorten kein transgener Raps nachgewiesen.

Ruderalflächen bezeichnen Standorte mit steinigem, humusarmem Untergrund wie Kiesplätze, Wegränder oder Schutthalden.

AUSBREITUNG AUCH OHNE ANBAU

Im Jahr 2010 betrug der Anteil von Raps-Sorten mit gentechnischer Veränderung weltweit 22 Prozent der gesamten Rapsanbaufläche. In Deutschland dürfen gentechnisch veränderte Rapsorten landwirtschaftlich nicht angebaut werden, jedoch ist der Import von Samen zur Weiterverarbeitung erlaubt. Das Beispiel Japan zeigt allerdings, dass für gentechnisch veränderten Raps Möglichkeiten zur Ausbreitung bestehen. In Ländern wie Japan dürfen transgene Rapsorten nicht angebaut werden, jedoch ist der Import erlaubt.

Studien belegen, dass in Japan 90 Prozent des Rapses auf Ruderal-Standorten (Straßenränder, Schutthalden etc.) sowie in Hafennähe transgene Eigenschaften aufweisen.

AUCH IN DEUTSCHLAND MÖGLICH

In der Vergangenheit wurden in Deutschland Freisetzungsstudien mit gentechnisch verändertem Raps durchgeführt. Da Rapssamen im Boden lange überdauern können, sind auch Jahre nach einer Freisetzung noch gentechnisch veränderte Rapspflanzen in der Umwelt zu finden. Daneben kann konventioneller Raps mit Samen von gentechnisch veränderten Rapspflanzen kontaminiert sein. Nicht zuletzt können bei der Einfuhr und dem Weitertransport von gentechnisch verändertem Raps Transportverluste auftreten. Möglich ist auch, dass sich gentechnisch veränderter Raps mit nicht transgenen Kultur- und Wildarten der Gattung *Brassica* kreuzt und mit dem veränderten Erbgut fortpflanzt.



Rapsaufwuchs an Verladestation



Vorbereitung zur Analyse

PFLANZEN

UNTERSUCHUNG IM LAND

Die LUBW untersuchte im Jahr 2009 gemeinsam mit der Universität Hohenheim die Ausbreitung von transgenem Raps entlang von Transportwegen in Baden-Württemberg. Vor allem wurden Hafen- und Industriegebiete sowie Bahnstreckenanlagen entlang des Neckars auf das Vorkommen von Raps an Ruderal-Standorten überprüft. Besonders berücksichtigt wurden auch Standorte von Ölmühlen, Siloanlagen und Anlagen landwirtschaftlicher Genossenschaften, da hier Populationen von Ausfall- bzw. Ruderalraps am ehesten zu erwarten sind. Jüngste Untersuchungen in der Schweiz belegen, dass sich transgener Raps ausbreiten und etablieren kann, ohne dass ein Anbau stattgefunden hat. Im Jahr 2012 wurden deswegen in Kooperation mit den unteren Landwirtschaftsbehörden zusätzliche Standorte untersucht.

SCHNELLTESTS GEBEN ENTWARNUNG

Die Blattproben können mit Schnelltests auf eine gentechnisch erzeugte Herbizidtoleranz untersucht werden. Die Überprüfung der Rapspopulationen auf transgene Eigenschaften mittels dieser Schnelltests erwies sich als geeignete Screening-Methode. Zusätzlich wurden die Befunde mit molekularbiologischen Methoden (PCR) überprüft. Weder mit den Schnelltests noch mit der Methode der PCR wurden bisher an den beprobten Standorten gentechnisch veränderte Rapspflanzen gefunden.

STANDORTE MIT RUDERAL-RAPSPOPULATIONEN 2012



Grundlage: © LGL BW, LUBW

LUBW

Probstellen im Rhein-Neckar-Einzugsgebiet

WEITER BEOBACHTEN

Trotzdem sollten die Umschlagplätze und Transportwege von importiertem Rapssamen weiter beobachtet werden, da Verluste auch zukünftig nicht ausgeschlossen werden können. Das Auftauchen von anderen transgenen Samen im Handel wie beispielsweise gentechnisch verändertem Lein (*Linum usitatissimum*) zeigt, dass sich das Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen nicht nur auf Raps beschränken darf.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Bisher wurde kein gentechnisch veränderter Raps auf Ruderal-Standorten im Land gefunden.
- Besonders die Umschlagplätze und Transportwege von importiertem Rapssamen sind weiter zu beobachten.

WEITERE INFORMATIONEN

Gentechnisch veränderte Organismen
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56178/>

LUBW (2009): Untersuchungen zur Ausbreitung von herbizid-tolerantem Raps mittels GVO Schnelltests (Bearb.: Franzaring, J. et al.).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U53-S06-J09

KONTAKT

Dr. Jürgen Zipperle
juergen.zipperle@lubw.bwl.de



Grünlandfläche auf der Schwäbischen Alb



Artenreiches Extensivgrünland



Grünlandpflege durch Schafbeweidung

Pflanzenvielfalt im extensiv genutzten Grünland

Den größten Einfluss auf den Artenreichtum und die Diversität der Grünlandvegetation haben Pflegemaßnahmen wie das Mähen und das Entfernen von Büschen. Wirkungen von Stickstoffemissionen sind eher rückläufig. Auch der Klimawandel wirkt sich bisher kaum aus.

ARTENREICHTUM UND ÖKOLOGISCHE ZEIGERWERTE

Die LUBW untersucht seit 25 Jahren Grünland-Dauerbeobachtungsflächen (DBF) in Naturschutzgebieten. Zentrale Fragen sind: Ändert sich die Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaften langfristig und welche Faktoren sind dafür verantwortlich?

Schwerpunkt der Untersuchungen auf den DBF bilden vegetationskundliche Aufnahmen an 18 Standorten. Die meisten Beobachtungsflächen liegen im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb. Vor allem gemähte bzw. beweidete Kalk-Halbtrockenrasen und bodensaure Magerasen wurden untersucht. Magerrasen können auf wenigen Quadratmetern bis über 70 verschiedene Pflanzenarten aufweisen. Während die artenreichen Wiesen lange Zeit als Nebenprodukt einer traditionellen, extensiven Bewirtschaftung entstanden, werden sie heute durch extensive Nutzung und gezielte Pflegemaßnahmen gefördert. Die natürliche Vielfalt ist in den Grünlandgesellschaften unterschiedlich ausge-

prägt. So haben bodensaure Standorte wie die DBF Kappelberg, Rohrhardsberg und Rauhe Wiese wesentlich weniger Arten als die basenreichen Standorte Hörnekopf, Dellenhäule und Apfelberg. Neben dem Artenreichtum werden die ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg ausgewertet.

GROSSER EINFLUSS DER PFLEGE

Die mittlere Lichtzahl aller Grünland-DBF liegt zwischen 6 (Halbschatten-/Halblichtpflanze) und 8 (Halblicht-/Volllichtpflanze). Die Lichtzahl steigt im Mittel der 13 durchgehend beprobten Flächen im Lauf der Untersuchungen signifikant an. Der Grund ist häufig eine Entbuschung und das Pflegen der Säume. Dadurch nehmen die Deckungsgrade von lichtbedürftigen Arten zu. Pflanzen an offenen, sonnigen Standorten (hoher L-Wert) haben meist auch einen höheren Temperatur-Wert.

Die mittleren Temperaturzahlen der einzelnen DBF zwischen 3 (Kühlezeiger) und 6 (Mäßigwärmezeiger/Wärmezeiger) spiegeln das Stand-

Die ökologischen Zeigerwerte klassifizieren mitteleuropäische Pflanzenarten nach ihrem ökologischen „Verhalten“ und botanischen Eigenschaften. Umgekehrt lässt sich ein Standort über das Vorkommen bestimmter Pflanzenarten charakterisieren. Für Licht, Temperatur, Kontinentalität, Reaktion, Feuchte und Stickstoff sind die Pflanzen mit Bewertungszahlen zwischen 1 und 9 eingestuft.



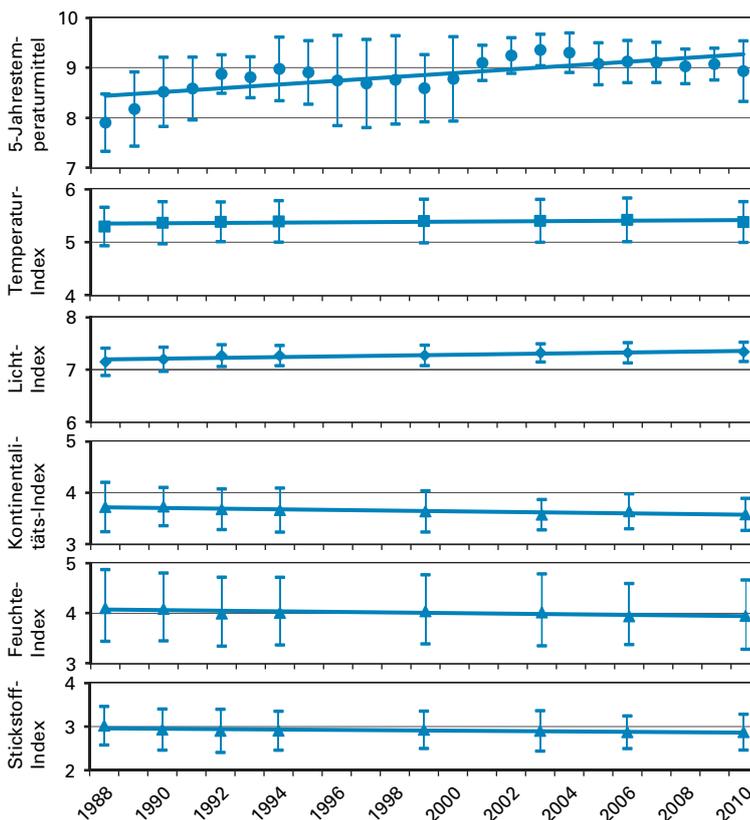
Konventionelle Grünlandbewirtschaftung



Grünlandflächen prägen das Landschaftsbild

PFLANZEN

GRÜNLAND UNTER DER LUPE



Gewichtete Ellenberg-Indices im Mittel von 13 Grünland-DBF im Vergleich zum gleitenden 5-Jahrestemperaturmittel. Die Standardabweichung gibt die Streubreite zwischen den Standorten an. Mittlere Jahreslufttemperatur mit Streubreite über fünf Jahre (Daten DWD)

ortsspektrum von warmen bis kühlen Standorten wider. Auffallend sind Trends zur Zunahme der Temperaturzahl z. B. an der DBF Falkenhalde sowie ein leichter Trend zur Abnahme an anderen Flächen wie DBF Büchelberg. Im Mittel steigen die Temperaturzahlen signifikant leicht an. Die mittlere Kontinentalitätszahl variiert zwischen 2 (ozeanisch) und 5 (subozeanisch/subkontinental). Die Kontinentalitätszahl ist auf den verschiedenen Standorten überwiegend gesunken, was auf einer Zunahme der Ar-

ten mit ozeanischer Verbreitung basiert. Geänderte mikroklimatische Bedingungen können auch auf das Entfernen von Gehölzen zurückzuführen sein (DBF Kaiserberg). Die mittlere Feuchtezahl liegt zwischen 3 (Trockniszeiger) und 7 (Feuchtezeiger). Ebenso wurde ein schwacher Trend für eine Abnahme der Nährstoffzahl (Stickstoff) beobachtet.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Pflegemaßnahmen beeinflussen den Pflanzenartenreichtum stärker als Stoffeinträge und Klimawandel.
- An den Grünland-DBF erhöhen sich tendenziell die mittleren Licht- und Temperaturwerte. Die mittleren Kontinentalitäts- und Nährstoffwerte sind rückläufig.

WEITERE INFORMATIONEN

Dauerbeobachtung Grünlandökosysteme
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56168/>

LUBW [Hrsg.] (2008): Vegetationsentwicklung im Grünland von 1985 bis 2006 (Bearb.: Holz, I. et al.).

<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U51-M31-J08.

LUBW (2012): Vegetationsentwicklung an Grünland-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg – Bioindikatoren mit Zeigerwerten nach Ellenberg für die Jahre 1988 bis 2010.
 ID Umweltbeobachtung U51-M31-N10.

KONTAKT

Dr. Michael Marten
michael.marten@lubw.bwl.de
 Dr. Jürgen Zipperle
juergen.zipperle@lubw.bwl.de



Buchenwaldaspekt



Waldmeister - typischer Vertreter der Krautschicht



Sturmeinwirkung in Buchenbestand

Wenig Änderung in der Krautschicht des Waldes

Die LUBW untersucht seit den 1980er Jahren die Waldvegetation auf immissions- und auf klimabedingte Veränderungen. Bislang sind Auswirkungen des Klimawandels kaum feststellbar.

STANDORTFAKTOREN SIND ENTSCHEIDEND

Repräsentativ für die Naturräume Baden-Württembergs werden an 21 Wald-Dauerbeobachtungsflächen (Wald-DBF) langfristig immissions- und klimabedingte Veränderungen untersucht. Buchen-, Eichen-Hainbuchen- und Tannenwälder stehen hierbei im Fokus. Pflanzenarten und -gesellschaften stellen sich auf die jeweiligen Standortbedingungen ein. Bodensaure Buchenwälder weisen oft eine geringe Artenzahl und Deckung in der Moos-, Kraut- und Strauchschicht auf. Dagegen haben Eichen-Hainbuchen-Wälder an basen- und nährstoffreichen, frischen Standorten häufig eine sehr ausgeprägte Kraut- und Strauchschicht. Die Krautvegetation der Waldstandorte ist durch die Baum- und Strauchschicht gegen Witterungseinflüsse abgepuffert. Alte Waldbestände können daher ein eigenes Bestandesklima ausbilden, das durch Kronenauflichtung gestört und meist mit einer Zunahme der Deckung von Strauch- und Krautschicht beantwortet wird.

ÖKOLOGISCHE ZEIGERWERTE

Veränderungen in der Vegetation werden durch die mittleren ökologischen Zeigerwerte nach Ellenberg beschrieben werden. So wird die mittlere Lichtzahl der Krautschicht von der Beschattung durch Baum- und Strauchschicht bestimmt. Änderungen der mittleren Lichtzahl deuten auf ein verändertes Lichtklima des Bestandes hin. Im Mittel der untersuchten Wald-DBF ist die Lichtzahl leicht gefallen (Signifikanz 90 %), die Baumbestände sind dichter geworden (Kronenschluss). Die meisten Wald-DBF haben eine mittlere Temperaturzahl von 5, typisch für submontane und montane Lagen in Mitteleuropa. Die Temperaturkennzahlen sind in Wärme begünstigten Lagen wie dem Rheintal und dem Bodenseeraum höher. Eine klimabedingte Veränderung der Temperaturzahl ist weder in Wärme begünstigten Tieflagen, noch in Höhenlagen signifikant. Die Kontinentalitätszahl beschreibt einen klimatischen Gradienten, ansteigend von ozeanisch bis kontinental. An den Wald-DBF weist die Kontinentalitätszahl im Mittel die stärksten

Das Bestandesklima prägt das bodennahe Klima bis in zwei Meter Höhe. Das hat besonders auf niedrige Gräser und Kräuter starke Auswirkungen. Wenn nach Stürmen weniger Bäume vorhanden sind, dringt mehr Licht und damit Wärme auf den Waldboden.



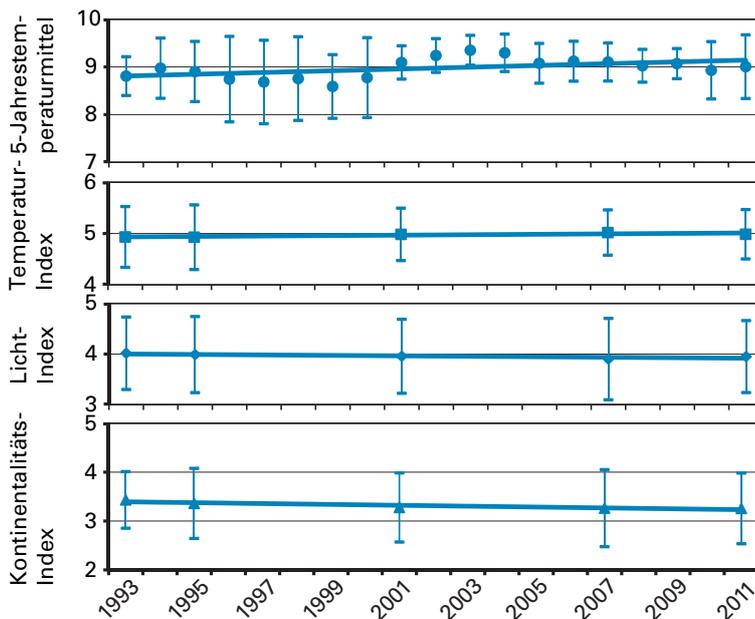
Krautschichtaspekt



Licht steuert Pflanzenwachstum

PFLANZEN

ZEIGEREIGENSCHAFTEN DER KRAUTSCHICHT



Gewichtete Ellenberg-Indices im Mittel von 21 Wald-DBF mit Standardabweichung im Vergleich zum gleitenden 5-Jahrestemperaturmittel. Die Standardabweichung gibt die Streubreite zwischen den Standorten an. Mittlere Jahreslufttemperatur mit Streubreite über fünf Jahre (Daten DWD)

Veränderungen auf. Mit 95 % Signifikanz wird zunehmend ozeanischer Einfluss ausgewiesen. Die mittlere Feuchtezahl der meisten Flächen fällt in die Kategorie 5 (Frischezeiger). Jene für den Säuregrad (Reaktion) und für die Nährstoffversorgung (Stickstoff) weisen je nach Standort große Unterschiede auf. Die häufigkeitsgewichteten und über die 21 Wald-DBF gemittelten Zeigerzahlen für Feuchte, Stickstoff und Reaktion bleiben über die 20 Beobachtungsjahre sehr stabil.

In der Entwicklung der einzelnen Wald-DBF lassen sich maßgebliche Einflüsse von Immissionen oder des Klimawandels bisher nicht erkennen. Auch die Biodiversität der Waldbestände ändert sich kaum. Nachhaltige Auswirkungen von Umweltveränderungen sind in

Waldökosystemen mit den vergleichsweise langen Generationszeiten der Bäume erst bei weiteren Klimaänderungen zu erwarten.

VERÄNDERUNGEN DURCH EXTREMEREIGNISSE

Bisher konnten starke Veränderungen an den Wald-DBF nur festgestellt werden, wenn sie durch Extremereignisse, wie z. B. Sturmwurf, betroffen waren. Sturmwurf bringt veränderte Lichtverhältnisse mit sich. Kraut- und Strauchschicht verändern sich. Dadurch ändert sich in der Regel nicht nur der Wert für die Lichtzahl, sondern auch die anderen Zeigerwerte.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Ökologische Zeigerwerte belegen die Stabilität der Krautschicht der untersuchten Waldökosysteme.
- Eindeutige Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation des Waldbodens sind bislang nicht feststellbar.
- Geänderte Lichtverhältnisse im Bestand (u. a. Auflichtung nach Sturmeinwirkung) können einzelne Standorte maßgeblich beeinflussen.

WEITERE INFORMATIONEN

Dauerbeobachtung Waldökosysteme
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56170/>

LUBW [Hrsg.] (2009): Analyse der Vegetationsentwicklung von 1985 bis 2007/ (Bearb.: Holz, I. et al.).
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U92-M30-J09.

LUBW (2012): Vegetationsentwicklung an Wald-Dauerbeobachtungsflächen in Baden-Württemberg – Bioindikation mit Zeigerwerten nach Ellenberg für die Jahre 1987 bis 2011.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U51-M32-N11

KONTAKT

Dr. Michael Marten
michael.marten@lubw.bwl.de
 Dr. Jürgen Zipperle
juergen.zipperle@lubw.bwl.de



Bioindikator Wanderfalke



Intaktes Gelege des Wanderfalken



Falkenpaar mit Jungen

Vogeleier spiegeln langlebige Umwelt-Gifte

Der am Ende der Nahrungskette stehende Wanderfalke ist ein idealer Bioindikator. In seinen Eiern konzentrieren sich schwer abbaubare Gifte. Was den Greifvogel an den Rand des Aussterbens brachte, nutzen Wissenschaftler als Warndienst für Mensch und Umwelt.

Polychlorierte Biphenyle (PCB) schädigen als komplexe Mischung nach verschiedenen Mechanismen Embryonen, die Leber, das Immun- und das Hormonsystem.

MONITORING MIT FALKENEIERN

In Vogeleiern spiegelt sich die Belastung der Umwelt mit fettlöslichen Schadstoffen, die als langlebig oder persistent bekannt sind. Der Organismus kann diese nicht abbauen. Zu solchen Stoffen gehören die Organohalogen-Verbindungen, kurz POPs (persistent organic pollutants) genannt. In Deutschland sind diese „Dauergifte“ schon seit den 1970er Jahren verboten. Seit 2004 werden POPs international geächtet (Stockholmer Konvention). Die Vertragsstaaten sind zur Ergreifung konkreter Maßnahmen verpflichtet. Um die Verbote in terrestrischen Ökosystemen zu überwachen, ist das Vogelei-Monitoring die Methode der Wahl. Mehr als Meisen, Dohlen und Eulen ist der am Ende der Nahrungskette stehende Wanderfalke mit POPs belastet. Daher ist der Greifvogel der beste Indikator.

Seit 1999 lässt die LUBW abgestorbene Eier, die beim Beringen junger Wanderfalke durch ehrenamtlich tätige Vogelschützer des NABU

abgesammelt werden, auf organische Schadstoffe untersuchen. Aus dieser Zusammenarbeit ist das einzige im terrestrischen Ökosystem durchgeführte POP-Monitoring in Baden-Württemberg entstanden.

PESTIZID-BELASTUNG GESUNKEN

Von 1971 bis 1990 sank die Belastung mit dem Pestizidrückstand DDE. Entsprechend normalisierte sich der Bruterfolg der Vögel. DDE stört den Kalzium-Stoffwechsel, was zu dünnen, zerbrechlichen Eischalen führt. Der ausbleibende Bruterfolg ist ein Grund für das Aussterben des Wanderfalke in den meisten Gegenden Deutschlands.

Trotz immer noch kritischer DDE-Gehalte hat sich seine Population in Baden-Württemberg wieder erholt. Andere Chlorpestizide sind aufgrund der Verbote in den 1970er Jahren heute wesentlich weniger verbreitet und erreichen in den Wanderfalkeneiern unter ein Prozent des DDE-Gehaltes.



Wirkungsbezogene Vogeleianalytik



Wanderfalke im Fokus

TIERE

PCB UND QUECKSILBER

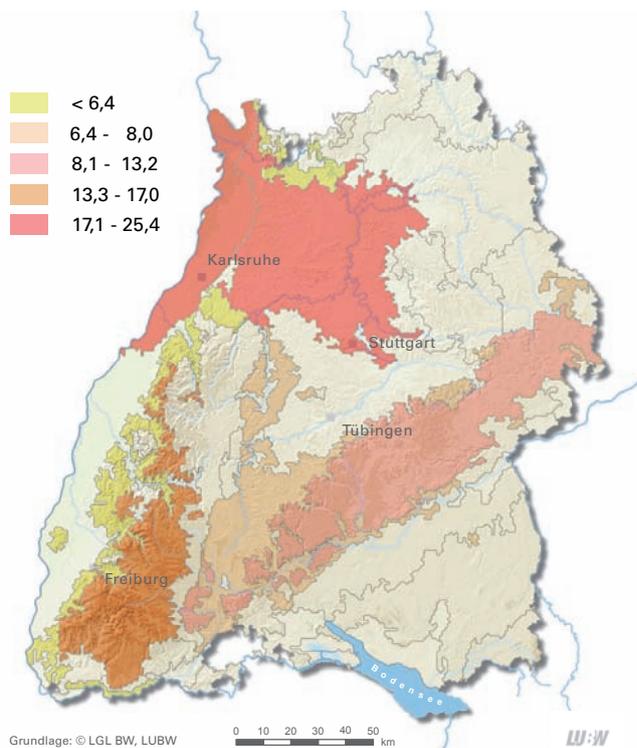
Trotz des positiven Trends sind die Ergebnisse des Monitorings noch immer Besorgnis erregend. Die Wanderfalkeneier enthalten u. a. die bekannt hochgiftigen PCB und „Dioxine“, die aus Industrieprozessen und -produkten stammen, und das in einer für die Tiere direkt schädlichen Menge. Die Kontamination von Falkeneiern mit dem giftigen Cocktail liegt z. T. in dem Bereich, in dem beim Haushuhn der Bruterfolg dramatisch zurückgeht. Außerdem enthielten Falkeneier regelmäßig Quecksilber in so hohen Konzentrationen, dass von einer schädlichen Wirkung auf die Brut ausgegangen werden muss. Für 84 Verdachtsstoffe wie nichtchlorierte Pestizide kann dagegen

Entwarnung gegeben werden, 93 weitere Stoffe wurden nachgewiesen.

REGIONALER VERGLEICH

Bis 2003 sind Falkeneier aus dem Nordwesten des Landes und aus den Mittelgebirgslagen stärker mit DDE belastet. Die einen aufgrund der Besiedlungsdichte, die anderen aufgrund der Höhenlage. Denn persistente Stoffe verteilen sich per Ferntransport global und reichern sich durch Ausfrieren an den Polen und in Gebirgsregionen an. Die DDE-Befunde wurden für die Jahre 2004 - 2009 bestätigt. PCB dagegen stammen überwiegend aus den regionalen Ballungsgebieten und Industriestandorten, weniger aus dem Ferntransport.

DDE IN WANDERFALKENEIERN



DDE in Wanderfalkeneiern ($\mu\text{g/g}$ Trockensubstanz). Belastung verschiedener Regionen Baden-Württembergs in den Jahren 2001 - 2003

SIGNALE AUS DER NATUR

- Wanderfalkeneier sind gute Bioindikatoren für langlebige Organohalogenverbindungen.
- POPs sind zurückgegangen aber immer noch Besorgnis erregend hoch nachweisbar.

WEITERE INFORMATIONEN

Falkeneimonitoring
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56143/>

Schilling, F. & P. Wegner (2001): Der Wanderfalke in der DDT-Ära. Ulmer, Stuttgart-Hohenheim.

LUBW (2012): Warndienst Wanderfalke - Vogeleier spiegeln langlebige Umweltgifte.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U52-M341-N11.

KONTAKT

Dr. Theo von der Trenck
theo.v.d.trenck@lubw.bwl.de



Bioindikator Regenwurm



Waldboden unter der Lupe



Untersuchungsfläche bei Künzelsau

Mit Regenwürmern Schwermetalle bewerten

Zu hohe Metallgehalte können Bodenlebewesen schädigen. Die Empfindlichkeit von Regenwürmern dient der LUBW als Maßstab für die Toxizität der mobilen Schwermetallgehalte in Waldböden. Gemessen an dieser Toxizitätsskala sind die Gehalte ungefährlich.

Die Ökotoxikologie befasst sich mit den Auswirkungen von Stoffen auf Lebewesen.

WENIGER REGENWÜRMER BEI MEHR SCHWERMETALLEN

Essentielle Schwermetalle (Chrom, Eisen, Kupfer, Nickel, Zink) sind in Spuren für physiologische Funktionen notwendig. Im Übermaß können sie bei Bodenorganismen schädliche Veränderungen an Organen, ihrem Verhalten und ihrer Populationsdynamik bewirken. Dies gilt auch für Regenwürmer. Noch Jahrzehnte nach dem Einsatz von Kupferfungiziden zur Pilzbekämpfung im Wein- oder Hopfenanbau, können die durch das verbliebene Kupfer kontaminierten Böden deutlich weniger Regenwürmer als üblich enthalten. Die LUBW prüfte anhand von Toxizitätsdaten für den Regenwurm und Analysendaten für Böden der Wald-Dauerbeobachtungsflächen (DBF), ob diese noch ihre Lebensraumfunktion erfüllen können.

VERSCHIEDEN GIFTIGE METALLE

Die Konzentrationen, bei denen schädliche Veränderungen eintreten (Wirkungsschwellen), können für einzelne Stoffe in Labor und Freiland bestimmt werden. So reagieren Regenwürmer am wenigsten auf Zink, am stärksten auf Chromat. Die chronische Toxizität für Regenwürmer steigt wie folgt an: Zink (Zn) < Blei (Pb) < Nickel (Ni) < Cadmium (Cd) < Kupfer (Cu) < Chromat (CrVI). Die akute Toxizität (tödliche Wirkung bei kurzzeitiger Belastung) ergibt dagegen eine andere Reihenfolge: Pb < Zn < Cd < Ni < Cu < CrVI. In beiden Reihen ist Chromat am giftigsten für Regenwürmer.

SONDERFALL CHROM

Chrom kann in verschiedenen Oxidationsstufen auftreten. Bewertungsrelevant ist sechswertiges Chrom (Chromat), da es typisch für vom Menschen verursachte Bodenbelastungen und



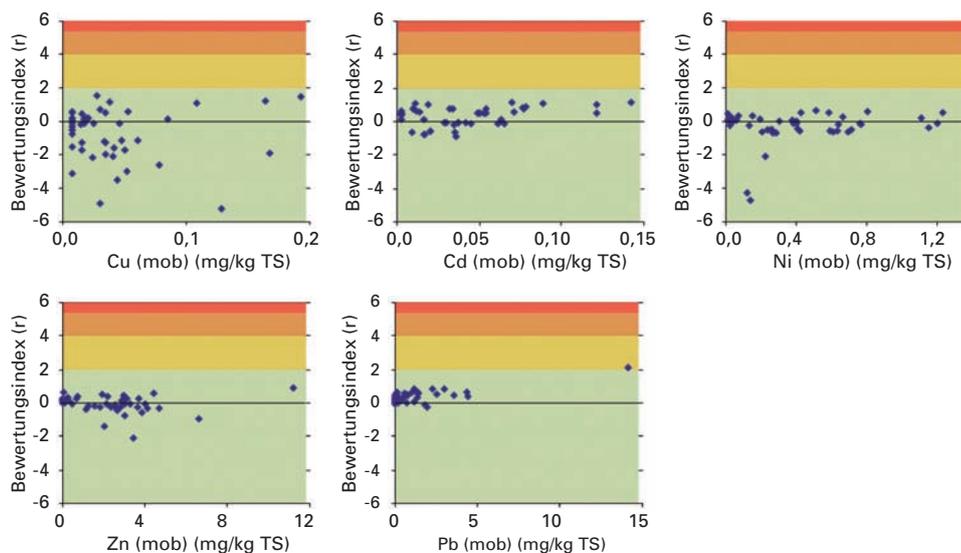
Vorbereitung zur Analyse



Waldböden können Schwermetalle speichern

TIERE

ÖKOTOXIKOLOGISCHE BEWERTUNG DER BODENBELASTUNG



Ökotoxikologische Bewertung der Bodenbelastung mit Cu, Cd, Ni, Zn und Pb mit dem Bewertungs-Index r . (r entspricht 0 für den Mittelwert des bodenbildenden Ausgangsgesteins und 4 für die Toxizitätsschwelle von Regenwürmern) - Hintergrundbereich: grün, Besorgnisbereich: gelb, Toleranzbereich: orange).

wesentlich toxischer als dreiwertiges Chrom (CrIII) ist. Chromat kommt in unbelasteten Böden lediglich in Spuren vor. Die für eine vollständige Bewertung des Chromats notwendige Hintergrundkonzentration fehlt, weil bisher nur die Gehalte an Gesamtchrom im Boden bestimmt wurden. Trotzdem kann auch für Chromat das Vorliegen unschädlicher Konzentrationen festgestellt werden.

WALDBÖDEN GERING BELASTET

Die Bewertung der mobilen Metallgehalte auf den Wald-DBF in 2003 ergab, dass die Böden mit allen sechs untersuchten Schwermetallen nur minimal belastet sind. Die Abbildung stellt

den Bewertungsindex der Waldflächen in Abhängigkeit vom Gehalt an mobilem Kupfer, Cadmium, Nickel, Zink und Blei im Oberboden dar. Die für die Regenwürmer relevanten Schwellenwerte (Bewertungsindex = 4, Übergang von gelb nach orange) werden in jedem Fall deutlich unterschritten. Die Metallgehalte streuen gleichmäßig um die Nulllinie (Hintergrundbelastung). Nur Blei liegt mit seinem Schwerpunkt leicht über Null. Dies wurde vermutlich durch die Emissionen des früher noch bleihaltigen Benzins verursacht. Auch die Blei-Konzentration bleibt jedoch mindestens um den Faktor 7 unter der Wirkungsschwelle im chronischen Toxizitätstest mit Regenwürmern.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Belastung mit mobilen Schwermetallen der untersuchten Wald-DBF liegt durchweg im unbedenklichen Hintergrundbereich.
- Beim Blei ist noch eine geringe Restbelastung aus der Vergangenheit erkennbar.

WEITERE INFORMATIONEN

Bodenfauna
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56185/>

LUBW (2006): Schwermetalle in Regenwürmern Baden-Württembergs.
 Dokumentation zum Ergebnisbericht.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U74-M315-J00

KONTAKT

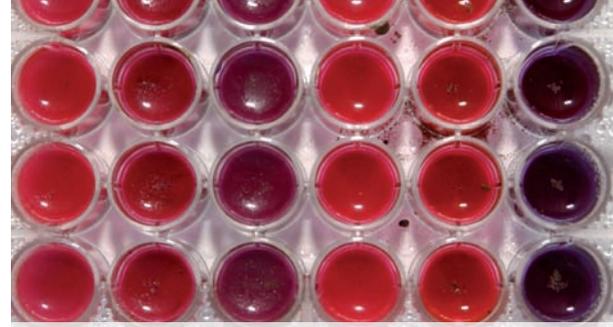
Dr. Theo von der Trenck
theo.v.d.trenck@lubw.bwl.de



Mülldeponien bergen auch gefährliche Abfälle



Abfall



Testverfahren zur Toxizitätsbestimmung

Gefährlich oder nicht – das ist beim Abfall oft die Frage

Wie und wo Abfälle gelagert werden, muss nach deren Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt entschieden werden. Für die schnelle und kostengünstige Prüfung der Gefährlichkeit von Abfall fehlten bislang geeignete Bewertungsverfahren. Hier hat die LUBW Abhilfe geschaffen.

GEFÄHRLICHKEITSKRITERIUM „H14-ÖKOTOXISCH“

Ob ein Abfallstoff als gefährlich gilt oder nicht, wird in einer Richtlinie der EU beschrieben. 14 Kriterien geben darüber Auskunft, ob der Abfall beispielsweise in eine Sondermüllbehandlung gebracht werden muss oder nicht. Für die meisten dieser Kriterien gibt es geeignete Prüfverfahren, nicht jedoch für das Kriterium „H14-ökotoxisch“, also gefährlich für Mensch und Umwelt. Die LUBW wurde deshalb vom baden-württembergischen Umweltministerium beauftragt, eine Methode mit ökotoxikologischen Testverfahren zu entwickeln, mit der verschiedene Arten von Abfall schnell und kostengünstig als gefährlich oder nicht gefährlich nach „H14“ eingestuft werden können.

ÖKOTOXIKOLOGISCH UNTERSUCHT

Um die Ökotoxizität von Abfällen zu testen, eignen sich am besten Testverfahren mit leben-

den Organismen. Es muss dabei nicht nach einzelnen Giftstoffen gesucht werden, sondern es genügt die Bestimmung der gesamttoxischen Wirkung des Abfalls. Damit die ökotoxikologischen Testverfahren in der Praxis einsetzbar sind, sollten sie standardisiert, reproduzierbar, routinetauglich und wirtschaftlich sein. Dabei reicht ein einzelnes Verfahren nicht aus. Es sollte eine Kombination von Testverfahren sein, die Organismen der unterschiedlichen Trophie-Ebenen beinhalten. Im biologischen und chemischen Labor der LUBW wurden verschiedene Proben von Abfällen mehreren Biotestverfahren unterzogen und chemisch analysiert. Um die Schadstoffe in den Abfallproben mit den bereits aus der Abwasseruntersuchung bekannten und standardisierten Biotestverfahren wie dem Algentest, dem Leuchtbakterientest, dem Daphnientest und dem umu-Test untersuchen zu können, wurden die Proben vorher in Wasser überführt. Außerdem wurden

Mit dem H14-Kriterium werden Abfälle bewertet, von denen unmittelbare oder mittelbare Gefahren für einen oder mehrere Umweltbereiche ausgehen können.



Myriophyllum im Biotest



Vorbereitung zur Abfalluntersuchung

MENSCH

zwei Testverfahren angewandt, mit denen die Abfälle direkt, also ohne die Schadstoffe in die wässrige Phase zu überführen, getestet wurden: ein Verfahren mit Pflanzen und der so genannte Bakterienkontakttest. Insgesamt wurden 24 Abfallarten aus verschiedenen industriellen Bereichen mit unterschiedlichen Biotest-Verfahren untersucht. Die Ergebnisse der getesteten Abfallarten reichten von nicht toxisch bis stark toxisch.

DREI BIOTEST-VERFAHREN

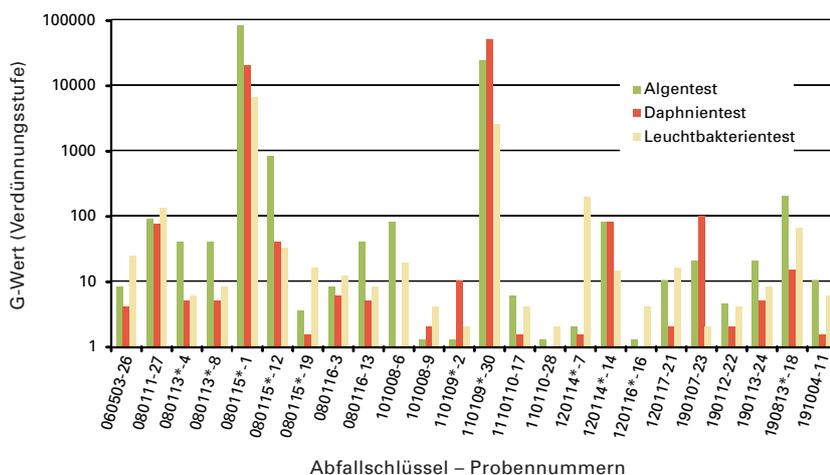
Im Ergebnis erwiesen sich der Algentest, der Test mit höheren Pflanzen und der Bakterienkontakttest als geeignete minimale Testkombination, um die Gefährlichkeit der untersuchten Abfälle zu bestimmen. In einer europaweiten Vergleichsstudie wurden die von der LUBW

vorgeschlagenen ökotoxikologischen Testverfahren erfolgreich geprüft. Das Umweltbundesamt hat die geprüften Verfahren auch in seine Handlungsempfehlung zur ökotoxikologischen Charakterisierung von Abfällen aufgenommen.

LIMIT-TESTVERFAHREN

Mit dem so genannten Limit-Test können der Testumfang und damit die Analysekosten verringert werden. Hierbei wird – im Gegensatz zur Standardtestdurchführung – die Probe nicht stufenweise verdünnt und getestet, bis keine Toxizität mehr feststellbar. Es wird nur die Verdünnungsstufe getestet, die die Bereiche gefährlich und nicht gefährlich voneinander trennt. Reagiert diese Verdünnungsstufe toxisch, wird der Abfall als gefährlich eingestuft.

TOXIZITÄT VON ABFALLARTEN



Ergebnisse aus Toxizitätsuntersuchungen an Proben zu 24 Abfallarten (u. a. unter Verwendung des Algen-, Daphnien- und Leuchtbakterientests). G-Wert: Erste nicht toxische Verdünnungsstufe; Abfallschlüssel: s. Abfallcharakterisierung unter "Weitere Informationen"

SIGNALE AUS DER NATUR

- Ökotoxikologische Testverfahren mit Organismen können die Umweltgefährlichkeit von Abfällen erfassen.
- Drei standardisierte Biotest-Verfahren ermöglichen eine kostengünstige und schnelle Bewertung von Abfällen.

WEITERE INFORMATIONEN

Abfallcharakterisierung
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56180/>

Becker, R., Donnevert, G. & J. Römcke (2007): Biologische Testverfahren zur ökotoxikologischen Charakterisierung von Abfällen. Abschlussbericht UFOPLAN 206 33 302, 112 S., Publikation des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3415.pdf>

KONTAKT

Dr. Jürgen Zipperle
juergen.zipperle@lubw.bwl.de

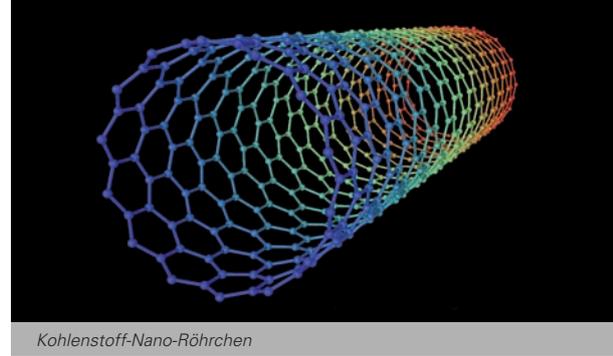
Dr. Karin Deventer
karin.deventer@lubw.bwl.de



Nanogold ist purpurfarben



Partikel von Nano-Zink-Oxid



Kohlenstoff-Nano-Röhrchen

Chancen und Risiken der Nanomaterialien

Nanotechnologie ist eine expandierende neue Technologie. Neue Produkte und Anwendungen bergen große Chancen, aber auch mögliche Risiken für Umwelt und Verbraucher. Daher müssen Eintrag und Verbleib von Nanomaterialien in der Umwelt beobachtet werden.

Ein Nanopartikel ist im Vergleich zu einem Fußball genauso klein wie der Fußball im Vergleich zu unserer Erde.

EINSATZ VON NANOMATERIALIEN

Der Begriff „Nanomaterialien“ bezeichnet ultrafeine Teilchen im Größenbereich zwischen 1 und 100 Nanometer (nm) und damit jeweils eine Größenordnung über dem der Atome bzw. unter dem der Bakterien. Die Geometrie der Objekte ist vielfältig. Sie können beispielsweise partikel- oder faserförmig sein. Stoffeigenschaften können sich unterhalb bestimmter Teilchengrößen ändern, was in der Nanotechnologie ausgenutzt wird. So reflektieren Titandioxid-Nanopartikel beispielsweise UV-Strahlung und werden daher seit längerem in Sonnenschutzcremes verwendet. Zinkoxid-Nanopartikel werden in Hautcreme zur Förderung der Wundheilung eingesetzt oder Nanosilber in Textilien zur Bekämpfung geruchsbildender Bakterien.

Nanotechnologien werden auch gezielt zur Umweltentlastung eingesetzt, zum Beispiel bei der Abwasserreinigung. In den Umweltmedien Wasser und Boden werden bereits Nanomembran-Technologien mit selektiven Katalysatoren, Ionenaustauschern zur Filtration, zum sensitiven Schadstoffnachweis und zur Schadstoffelimination eingesetzt. Ein Beispiel im Bereich Grundwasser ist die Altlastensanierung durch Anwendung nanoskaliger Eisen-Kolloide.

nanopartikel werden in Hautcreme zur Förderung der Wundheilung eingesetzt oder Nanosilber in Textilien zur Bekämpfung geruchsbildender Bakterien.

Chancen	Nanomaterial	Eigenschaften	Risiken
Grundwassersanierung	Eisen	Reduktion	Ökotoxizität
Wasserentkeimung	Silber	Antimikrobielle Wirkung	Ökotoxizität, Veränderung der Mikrofauna in Boden und Wasser
Abwasserklärung (organische Stoffe)	Zinkoxid, Titandioxid	Katalytische Aktivität, Reaktivität	Bildung neuer evtl. toxischer Stoffe, Ökotoxizität

Chancen und Risiken von Nanomaterialien für die Umwelt



Nanotechnologie – Lotuseffekt



Schmutz abweisende Wandfarben

MENSCH

NANOMATERIALIEN IN DER UMWELT

Über den Eintrag von Nanomaterialien in die Umwelt ist bislang noch wenig bekannt. Grundsätzlich können alle synthetischen Nanomaterialien in die Umwelt gelangen und damit auch auf den Menschen oder andere Lebewesen einwirken. So gelangt Silber – zur Geruchsvermeidung in Socken eingesetzt – übers Waschen ins Abwasser und damit in Kläranlagen. Bei der Herstellung und Verwendung von synthetischen Nanopartikeln oder -fasern können diese in die Luft freigesetzt und direkt inhaliert werden. Über den Luftweg sind Menschen daher am wahrscheinlichsten am Arbeitsplatz von Nanopartikeln betroffen. Eine Einschätzung der Exposition von Menschen oder des Eintrags in die Umwelt ist derzeit nicht möglich, da für die Ermittlung der Konzentrationen von Nanomaterialien in der Luft und anderen Umweltmedien routinemäßig einsetzbare Messverfahren noch fehlen.

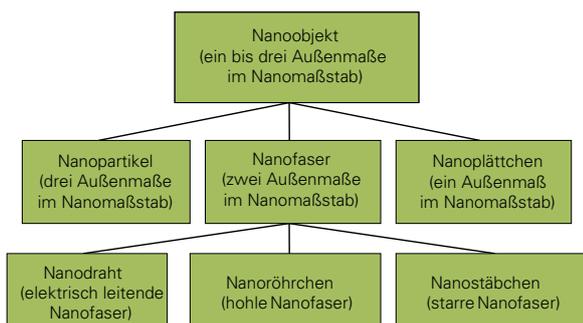
GESUNDHEITSRISIKEN DURCH NANOMATERIALIEN

Eingeatmete Nanoobjekte durchdringen die Epithelschicht des Atemtraktes schnell und können dann weiter über die Lymphe in den Blutkreislauf vordringen. Sie können so ins Blut und in andere Organe gelangen und zum

Beispiel auf das Herz einwirken oder sogar bis ins Gehirn gelangen. In die Lunge gelangte Nanoobjekte können entzündliche Reaktionen auslösen und möglicherweise auch beim Menschen zu schweren Erkrankungen führen. Für einige faser- und röhrenförmige Nanomaterialien gibt es sogar Hinweise auf eine Tumor-induzierende Wirkung. Über Wirkungen nach möglicher Aufnahme über die Haut oder den Magen-/Darmtrakt ist bislang wenig bekannt. Schwierigkeiten bereiten die experimentelle Applikation von Nanomaterialien und die Überprüfung der Exposition.

RISIKEN FÜR DIE UMWELT

In der Umwelt können vor allem Wasser- und Boden-Organismen betroffen sein. Es liegen einige Untersuchungen mit verschiedenen Nanoobjekten beispielsweise an Fischen, Bodenorganismen und auch Nutzpflanzen vor, in denen schädigende Wirkungen auf die Organismen gezeigt wurden. Aufgrund der mangelhaften Kenntnisse zu den Umweltauswirkungen von Nanomaterialien müssen diese in Zukunft genau beobachtet werden. Eine Zusammenstellung des wissenschaftlichen Sachstandes zur Toxikologie und Ökotoxikologie von Nanomaterialien wurde von der LUBW erarbeitet.



Nanotechnologische Begriffe und ihre hierarchische Zuordnung (nach ISO/TS 27687, 2008, LUBW 2010)

SIGNALE AUS DER NATUR

- Die Nanotechnologie wird in Zukunft zahlreiche innovative Entwicklungen hervorbringen.
- Mögliche Risiken für Umwelt und Gesundheit müssen erkannt und minimiert werden.
- Altbekannte Stoffe sind erneut zu prüfen, wenn sie in nanoskaliger Form vorliegen.

WEITERE INFORMATIONEN

Nanotechnologie und Umwelt
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56179/>

LUBW (2010): Nanomaterialien Toxikologie/Ökotoxikologie.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/content/94912/U10-S05-N10.pdf>

KONTAKT

Dr. Irene Tesseraux
 irene.tesseraux@lubw.bwl.de



Geringes Verkehrsaufkommen – geringe Emissionen



Emissionsschwerpunkt Ballungsgebiet



Dicke Luft im Stadtverkehr

Edelmetalle am Straßenrand

Der Kfz-Abgaskatalysator reduziert schädliche Auspuffgase. Seit seiner Einführung in den 1980er Jahren lagern sich zunehmend die in den Katalysatoren enthaltenen Edelmetalle am Straßenrand ab. Mittels standardisierter Graskulturen lassen sich diese Immissionen darstellen.

BIOLOGISCHES MESSGERÄT GRAS

Emissionen aus Auto-Katalysatoren führen seit Mitte der 1980er Jahre in der Nähe viel befahrener Straßen zu einem starken Anstieg der Edelmetalle Platin (Pt), Palladium (Pd) und Rhodium (Rh). Über ihre Aufnahme und Toxizität in den Gliedern der Nahrungskette ist noch sehr wenig bekannt. Deshalb hat die LUBW seit 1999 mit der standardisierten Graskultur ein „biologisches Messgerät“ an der Autobahn aufgestellt, um die Konzentrationen dieser Edelmetalle zu erfassen.

PALLADIUM STEIGT SCHNELLER AN

Die Untersuchungen mit den standardisierten Graskulturen ergaben, dass die Gehalte von Platin (5 – 8 Nanogramm pro Gramm Trockensubstanz) und Rhodium (1 ng/g TS) keinem ausgeprägten zeitlichen Trend folgen. Dagegen steigen die Gehalte von Palladium seit 1999 deutlich von 40 auf 120 Prozent des Platinwertes an, was den Materialeinsatz bei der Katalysator-Produktion widerspiegelt. Mit der

Entfernung von der Autobahn nehmen die Edelmetalle schnell ab. Bereits in zehn Metern Abstand zum Straßenbelag liegen die Werte nur noch bei 40 Prozent. In größerer Entfernung vom Straßenrand verschwindet der Unterschied zwischen Platin und Palladium, und das Immissionsprofil flacht weiter ab, erreicht aber bei 85 Metern Abstand noch nicht den Hintergrundwert (Kontrolle). Gegen die Hauptwindrichtung (Luv) sind die Konzentrationen um 47% kleiner als auf der Wind abgewandten Seite (Lee). An allen fünf Standorten herrschte mit etwa 80 000 Fahrzeugen pro Tag ungefähr die gleiche Verkehrsdichte.

FÜR DEN MENSCHEN GEFÄHRLICH?

In den bisher gemessenen Konzentrationen beeinträchtigen die Edelmetalle nicht das Wachstum und die Qualität der Graskulturen. Es ist davon auszugehen, dass auf Feldern in Straßennähe angebaute Getreidearten nicht davon geschädigt werden. Für den Menschen erfolgt die hauptsächliche Aufnahme der Edel-

Auf zahlreiche Zwischenschichten im Katalysator werden die zur chemischen Reaktion notwendigen Edelmetalle Platin, Rhodium oder auch Palladium aufgedampft.

SIGNALE AUS DER NATUR

- Seit Einführung des Katalysators werden Edelmetalle entlang viel befahrener Straßen in die Umwelt eingetragen.
- Die Konzentrationen in der Luft liegen noch deutlich unter der Auslöseschwelle für Atemwegs-Allergien.
- Die Palladium-Immissionen steigen weiter an und müssen deshalb beobachtet werden.

WEITERE INFORMATIONEN

Graskulturmonitoring
<http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/56144/>

LfU (2003): Anreicherung von Platingruppenelementen aus Kfz-Abgaskatalysatoren im straßennahen Ökosystem.
<http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/>
 ID Umweltbeobachtung U44-M633-N03

KONTAKT

Dr. Theo von der Trenck
theo.v.d.trenck@lubw.bwl.de



Monitoring an der Autobahn



Graskultur als "Biologisches Messinstrument"

metalle über Zahnfüllungen. Dentallegierungen enthalten bis zu 17 Prozent Platin. Aus der Arbeitsmedizin ist eine allergische Reaktion der Atemwege durch lösliche Platinsalze bekannt. Diese so genannte Platinsalz-Allergie ist die empfindlichste Reaktion des Menschen auf Platin-Immissionen. Entscheidend ist hierbei der Anteil von löslichem Platin am Gesamtgehalt des Platins. Die Form, in der Platin aus dem Katalysator in die Umwelt eingetragen wird, ist nicht bekannt.

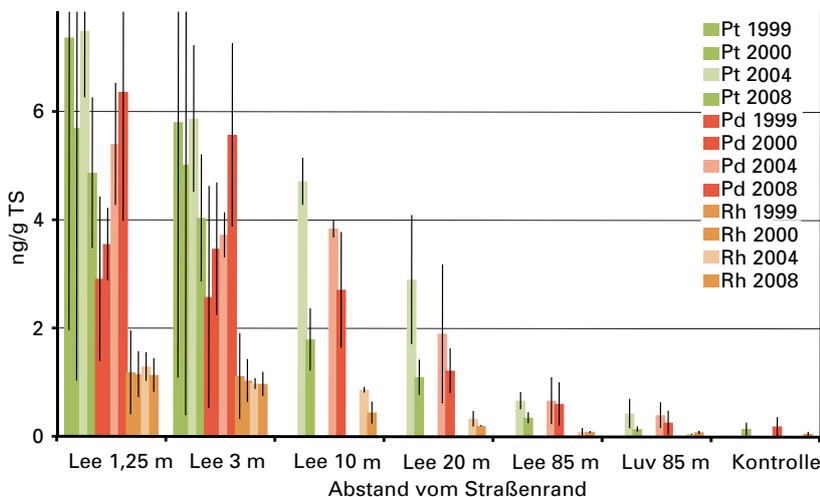
NUR GERINGE MENGEN PLATIN AM STRASSEN RAND

Die Konzentrationen in der Luft an viel befahrenen Straßen betragen durch Katalysator-Abrieb bis zu $0,1 \text{ ng/m}^3$ an Platin und bis zu $0,05 \text{ ng/m}^3$ an Palladium. Geht man dabei von

einem Prozent löslichem Platin aus, so müssten die gemessenen Konzentrationen 150mal größer sein, um für Menschen gefährlich zu werden. Studien zeigen allerdings, dass mit löslichen Anteilen von bis zu 30 Prozent gerechnet werden muss. Damit würde schon die fünf-fache Konzentration der Katalysator-Abriebe an die Auslöseschwelle einer Platinsalz-Allergie heranreichen.

Mit der Elektronenstrahl-Mikroanalyse wurden aus der Autobahnluft gefilterte Schwebstaubpartikel untersucht. Dabei konnten verschiedene Elemente, aber kein Platin detektiert werden. Daher ist die Emission von Platin in Form von Partikeln mit Abmessungen größer als zehn Nanometer unwahrscheinlich. Wahrscheinlicher ist eine Emission als Gas oder als reaktive Nanopartikel.

PLATINGRUPPENELEMENTE (PGE) AN GRASKULTUREN AN DER AUTOBAHN



Edelmetallgehalte an Graskulturen (Mittelwerte über 5 Standorte und 4 Expositionsperioden pro Jahr);
 TS = Trockensubstanz

