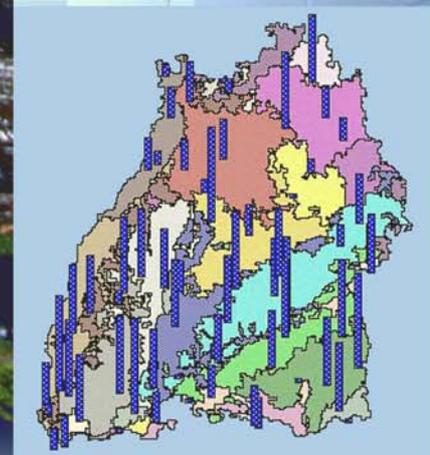
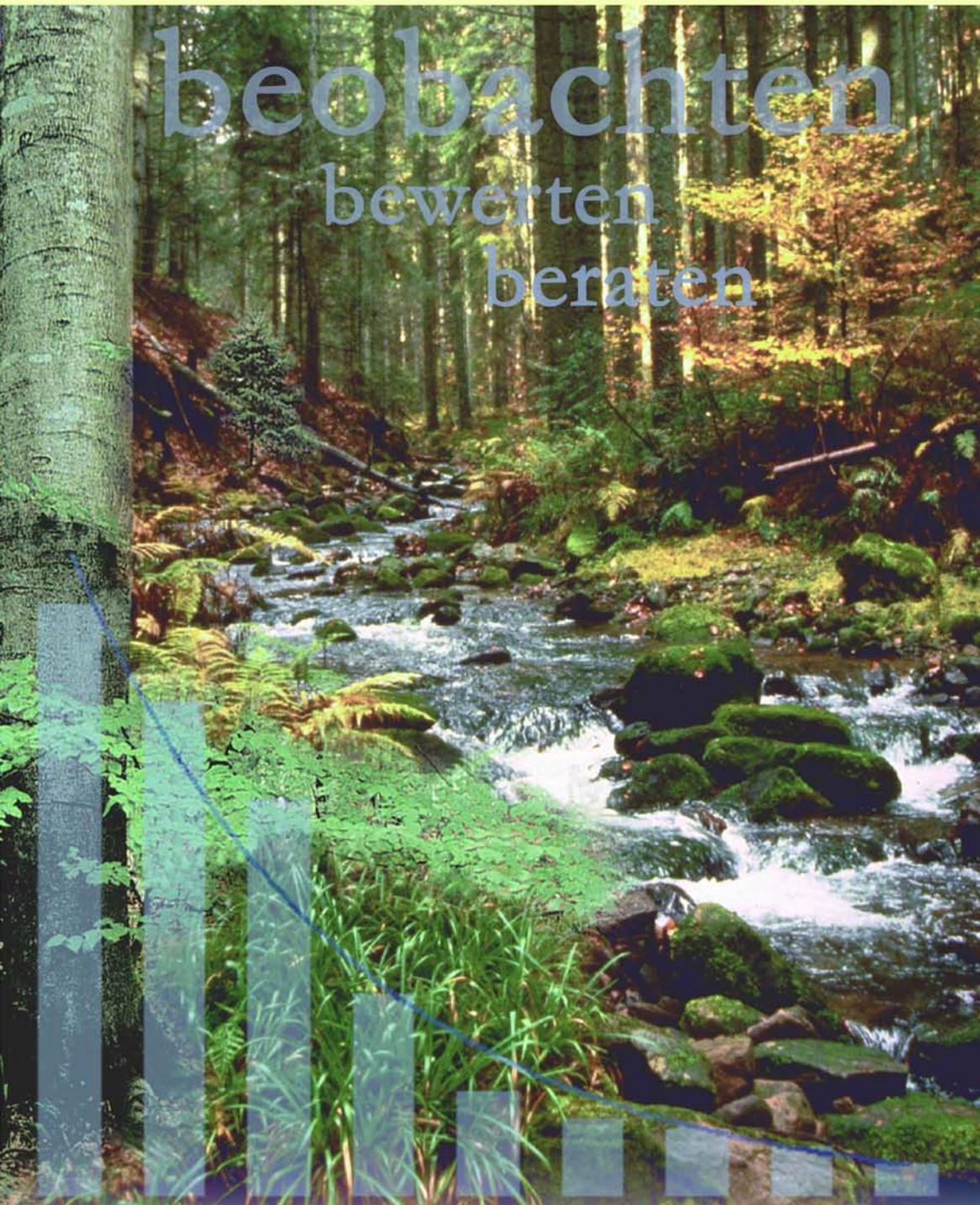


# Medienübergreifende Umweltbeobachtung - Stand und Perspektiven -

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg



Baden-Württemberg



# **Medienübergreifende Umweltbeobachtung**

**- Stand und Perspektiven -**

**Tagungsband zur Tagung der  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg  
vom 18. Juni 2003 in Karlsruhe**



## **Impressum**

- Herausgeber: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,  
Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe, © LfU 2003,  
<http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de>
- Bearbeitung: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 23  
Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung – ISI
- Redaktion: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,  
Abteilung 2, Ökologie, Boden- und Naturschutz,  
Dr. Harald Gebhardt, Frank Broecker
- Druck: Druckerei Grässer, 76131 Karlsruhe
- Umwelthinweis: gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
- Bezug: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,  
Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe

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

## Inhalt

Zusammenfassung .....	S.	1
Begrüßung Abteilungsleiter Dr. Winfried Krahl .....	S.	3
Anmerkungen zum Stand der (ökologischen) Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. Dr. D. Rosenkranz .....	S.	6
Umweltbeobachtung - Konzepte und Programme des Bundes Dr. D. Rosenkranz, G. Knetsch .....	S.	9
Bausteine zum bundesweiten naturschutzbezogenen Monitoring R. Dröschmeister .....	S.	23
Bilanzierung als Instrument der Umweltbeobachtung Dr. A. Prüß, W. Borho, W. Erhardt .....	S.	28
Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg – Ergebnisse eines Modellprojektes. Prof. Dr. W. Schröder, Dr. G. Schmidt .....	S.	39
Aufbau eines Systems zur medienübergreifenden Umweltbeobachtung für Baden-Württemberg. Dr. H. Gebhardt, F. Broecker, Dr. K. T. von der Trenck .....	S.	61
Vorgehensbeispiele zur Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg an den Themen „Versauerung“ und „Klimafolgen“ . W. Franke .....	S.	74
Immission und Deposition von versauernd wirkenden Luftverunreinigungen in Baden-Württemberg. Y. Buchleither .....	S.	76
Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation in Baden-Württemberg. F. Broecker .....	S.	81
Wirkung der Deposition von Säure-Radikalen auf den Mineralbestand in Böden. Prof. Dr. V. Schweikle .....	S.	87
Untersuchungen zur Versauerungsproblematik im Rahmen des Fließgewässermonitorings Baden-Württemberg. C. Kroner .....	S.	89
Wirkungen der Gewässerversauerung auf Fische und Amphibien. K. Rahtkens .....	S.	95
Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg. B. Schneider .....	S.	102



## Zusammenfassung

Der Tagungsband enthält die Beiträge der Referenten der Tagung "Medienübergreifende Umweltbeobachtung - Stand und Perspektiven" vom 18. Juni 2003 in Karlsruhe. Dort wurde dargestellt und diskutiert, wie die Umweltbeobachtung als Instrument für eine integrierende und effiziente Auswertung von Daten aus Umweltmessnetzen und Beobachtungsprogrammen genutzt werden kann. Die Veranstaltung richtete sich an Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Umwelt- und Naturschutzverwaltung des Bundes und der Länder sowie Personen aus Forschung, Lehre und Beratungsbüros.

In einem ersten Themenblock stellten Vertreter des Umweltbundesamtes und des Bundesamtes für Naturschutz Konzepte und Programme zur Medienübergreifenden Umweltbeobachtung sowie Bausteine eines Naturschutzmonitorings auf Bundesebene vor. Ein zweiter Themenblock befasste sich mit den Instrumenten auf Länderebene. Anhand von Vorgehensbeispielen und Ergebnissen wurden die Schritte zum Aufbau einer Medienübergreifenden Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg erläutert.

In der sich anschließenden Diskussion zu den vorgestellten Aspekten wurden baden-württembergische Ergebnisse auch mit den Arbeiten und Erkenntnissen zur Umweltbeobachtung in anderen Bundesländern verglichen. Methodische Ansätze und Möglichkeiten einer Kooperation zwischen den Bundesländern mit Blick auf ein gemeinsames, zielgerichtetes Vorgehen wurden erörtert.

Die Wirkungen von Umweltbelastungen sind häufig vielfältig und medienübergreifend. Deshalb ist eine Bündelung der sektoral ausgerichteten Umweltbeobachtung in medienübergreifendem Rahmen anzustreben. Durch aktuelle Fragestellungen zur Umweltwirkungsseite, wie z. B. den Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt, der ubiquitären Verteilung chemischer Stoffe in der Umwelt sowie der Wirkungen neuer Technologien auf Mensch, Tier und Pflanze muss die Umweltbeobachtung weiterentwickelt und den neuen Umweltthemen sowie neuen rechtlichen Forderungen angepasst werden.

Vor diesem Hintergrund müssen Umweltdaten aus den verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen zusammengeführt und miteinander verknüpft werden. Ziel ist die Beschreibung des Zustandes und der Veränderungen der Umwelt sowie die ganzheitliche Erfassung der Funktions-, Entwicklungs- und Belastungsfähigkeit des Naturhaushalts. Handlungserfordernisse im Umweltbereich können dadurch deutlich gemacht, Maßnahmvorschläge medienübergreifend ausgerichtet und umweltpolitische Maßnahmen zielführend gestaltet werden.



## Grußwort zur Veranstaltung „Medienübergreifende Umweltbeobachtung – Stand und Perspektiven“

Abteilungsdirektor Dr. Winfried Krahl; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich möchte Sie ganz herzlich zu unserer Tagung „Medienübergreifende Umweltbeobachtung – Stand und Perspektiven“ hier im Schlosshotel in Karlsruhe begrüßen.

Ich freue mich, dass Sie der Einladung der LfU gefolgt sind und zum Teil von recht weit her den Weg zu uns gefunden haben, um mit uns dieses Thema zu diskutieren.

Ich möchte ganz herzlich die Kollegen des Umweltbundesamtes Herrn Dr. Rosenkranz und Frau Knetsch sowie Herrn Dröschmeister vom Bundesamt für Naturschutz willkommen heißen, die gleich im Anschluss über entsprechende Konzepte des Bundes berichten werden.

Ich freue mich, dass Vertreter aus landwirtschaftlichen und forstlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten unter uns sind, mit denen wir seit langem in einem intensiven Erfahrungsaustausch stehen.

Ich darf die Kolleginnen und Kollegen von den Universitäten und Fachhochschulen begrüßen, die sich in Forschung und Lehre mit der Umweltbeobachtung auseinandersetzen und freue mich auf Ihre Diskussionsbeiträge.

Den Vertreterinnen und Vertretern von Planungs- und Beratungsbüros ebenfalls ein herzliches Willkommen ebenso wie den Vertretern der Presse.

Ganz besonders begrüßen möchte ich Herrn Turian vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg. Bei Ihnen, Herr Turian, möchte ich mich für die Unterstützung unserer Arbeit durch das Ministerium bedanken und auch dafür, dass Sie durch die Bereitstellung finanzieller Mittel diese Tagung erst möglich gemacht haben.

Meine sehr verehrten Damen und Herren,

Sie wissen alle, dass der Mensch Teil der Natur ist und er nur leben und sich entfalten kann, wenn er diese Natur, seine Umwelt in einem gesunden Zustand er-

hält. Durch unser Handeln greifen wir aber immer wieder in unsere Umwelt ein.

Wir verbrauchen Ressourcen (z.B. Flächen), wir setzen chemische Stoffe frei, die sich in der Umwelt ausbreiten, z.T. nicht mehr abbauen und letztlich in die Nahrungskette gelangen. Wir entwickeln neue Technologien, die ebenfalls Auswirkungen auf unsere Umwelt haben. Um all diese Wirkungen unseres Handelns beurteilen zu können, müssen wir die Umwelt beobachten. Veränderungen erkennen und bewerten. Das bedeutet, wir brauchen aussagekräftige Informationen über den Zustand und die Veränderungen in der Umwelt. Dabei stützen wir uns mit den bestehenden Beobachtungsprogrammen weitestgehend auf historisch gewachsene sektorale Messnetze und Erhebungen. Die Beobachtung von Luft, Wasser und Boden stellen dabei das Grundgerüst einer arbeitsteiligen Umweltbeobachtung dar.

Da aber die Elemente der Natur (Boden, Wasser, Luft, Tier- und Pflanzenwelt) nicht einzeln nebeneinander stehen, sondern miteinander eng vernetzt sind, haben Veränderungen in einem Bereich auch Folgen in den anderen Bereichen. Kommt es zu Beeinträchtigungen oder Störungen in dem einen Medium so zieht dies automatisch Auswirkungen in einem anderen Medium nach sich.

Um zumindest einen Teil dieser Wirkungen zu erfassen wurde bereits 1983 bei der Landesanstalt für Umweltschutz das „Immissionsökologische Wirkungskataster Baden-Württemberg“ eingerichtet. Dieses Messnetz hatte das Ziel, die Wirkung von Luftschadstoffen auf Ökosysteme mit biologischen Messverfahren (Bioindikatoren) zu erfassen. Die zugrunde liegende Konzeption wurde 1992 zum „Ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg“ erweitert.

Aber auch das „Ökologische Wirkungskataster“ reicht als medienübergreifendes, biologisches Messnetz nicht aus, um das Gesamtbild zu erstellen. Es sind Ergebnisse aus allen Umweltmessnetzen miteinander zu verknüpfen, um dem Zusammenwirken der einzelnen Umweltelemente besser zu entsprechen.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Lassen Sie es mich an einem Beispiel erläutern: Immer stärker rückt das Thema Klimawandel in unser Bewusstsein. Bei der Klimaveränderung ist die Temperaturerhöhung der maßgebliche Faktor, der sich auf Wasser, Boden, Luft, Flora und Fauna auswirkt. Gerade angesichts der Hochsommertemperaturen im Juni 2003 müssen wir uns fragen, welche Auswirkungen steigende Temperaturen auf den Naturhaushalt haben. Werden neue Tier- und Pflanzenarten den Weg nach Baden-Württemberg finden und werden andere dafür verschwinden? Was bedeutet dies für die vorhandenen Lebensgemeinschaften und Biotope? Werden diese Einwanderer nur Nützlinge sein, oder müssen wir künftig auch mit neuen Krankheitserregern bei Pflanzen, Tieren und Menschen rechnen? Was bewirken die örtlichen starken Regenfälle und Unwetter und was bedeutet es für den Hochwasserschutz und die Bodenerosion? Wie wirkt sich die Erwärmung auf den Wald und die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte aus?

Klimaveränderungen haben aber auch direkte Einflüsse auf uns Menschen. Häufigere und intensivere Hitzewellen, wie wir sie in der ersten Junihälfte 2003 erleben konnten, beeinträchtigen die Gesundheit und das Wohlbefinden vieler Menschen.

Die Änderungen des Klimas werden also Auswirkungen auf die belebte und unbelebte Natur haben, aber auch auf unsere Wirtschaft und die menschliche Gesundheit. Und es wird noch viel mehr als die oben genannten Fragen geben, die wir im Zuge der Folgen der Klimaveränderung zu beurteilen und zu beantworten haben.

Mit diesem Beispiel wollte ich aufzeigen, dass es nicht genügt, nur sektorale Messergebnisse oder Veränderungen zu dokumentieren (also höhere Temperaturen, Zunahme von Starkregenfällen), sondern wir müssen versuchen, den Zustand und die Veränderungen der Umwelt in ihrem Gesamtbild zu erfassen und zu beschreiben.

Dies ist ähnlich wie bei einem Fieberkranken. Auch hier misst der behandelnde Arzt nicht nur die Körpertemperatur. Das Fieber beim Kranken ist nur ein Symptom des Systems „menschlicher Organismus“, welches signalisiert, dass etwas aus dem Lot geraten ist.

Um Aufschluss über den wahren Hintergrund der Erkrankung zu erhalten, ob harmlos und rasch vorübergehend oder ernsthaft und lebensbedrohlich, muss sich der Arzt ein gesamtmedizinisches Bild verschaffen. Nur dann, bei richtiger Diagnose, ist er überhaupt in der Lage den Heilungsprozess einzuleiten.

Und ähnlich dem Arzt ist es unsere Aufgabe, die richtige Diagnose über Entwicklungen in der Umwelt auf der Grundlage eines zu gewinnenden Gesamtbildes zu erstellen.

Gerade für die Beantwortung komplexer Fragestellungen, wie etwa der Beeinflussung der Biodiversität durch endokrin wirkende Stoffe oder die alle Medien Grenzen überschreitende Problematik von Giftstoffen (Dioxine, PCB), oder die Auswirkung von Klimaveränderungen, reicht eine sektorbezogene Betrachtung nicht aus. Diese Sachlage macht eine Weiterentwicklung der Umweltbeobachtung dringend erforderlich. Die mediale Betrachtungsweise muss durch einen medienübergreifenden Ansatz ergänzt werden.

Um die erwünschte Zusammenschau zu erreichen, bedarf es angesichts der Heterogenität der bestehenden Beobachtungsprogramme neuer methodischer Arbeitshilfen. Denn die Umweltdaten aus den verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen müssen so aufgearbeitet, zusammengeführt und miteinander verknüpft werden, dass eine Gesamtschau ermöglicht wird, um so die Entwicklungs- und Belastungsfähigkeit des Naturhaushaltes beurteilen zu können.

Hierzu haben wir in der LfU einige erste Schritte gemacht, die wir Ihnen heute noch vorstellen werden.

So haben wir im Jahr 1999 Herrn Prof. Schröder aus Vechta über ein Forschungsvorhaben beauftragt, für die LfU das Instrumentarium für eine medienübergreifende Umweltbeobachtung zu entwickeln, das er uns in seinem Vortrag nachher vorstellen wird.

Ich erwarte, dass er uns aufzeigt, dass durch eine Verknüpfung von Umweltdaten aus den verschiedenen Bereichen ein besseres Verständnis für Umweltveränderungen und damit verbunden eine aussagekräftigere Umweltbeobachtung sowie eine bessere Umwelterichterstattung entstehen kann.

Wir möchten Ihnen auch unser Konzept und unsere Strategie für eine medienübergreifende Umweltbeobachtung vorstellen und dies mit Ihnen diskutieren, damit wir nachher wissen, ob dies der zielführende Weg sein kann und wie der Ansatz eventuell ergänzt werden sollte. Uns geht es darum, im Austausch mit Ihnen die Defizite zu erkennen und mit Ihnen zusammen zukunftsweisende Schritte zu gehen. Unser Ziel ist es den Ansatz für eine „Medienübergreifende Umweltbeobachtung“ kontinuierlich zu einem schlagkräftigen Instrumentarium weiterzuentwickeln.

Darüber hinaus möchten wir auch die Kommunikation in der Sache zwischen den Bundesländern anre-

gen. Denn hier wird aus meiner Sicht noch immer zu viel theoretisiert und um Zuständigkeiten gerungen.

In der chinesischen Heilkunst zur Gesundhaltung und Heilung des Menschen gibt es einen Lehrspruch, der da lautet: „Für den, der sich eingehend damit beschäftigt hält sie eine unerschöpfliche Faszination und vielfältige Möglichkeiten bereit.“

Ich bin davon überzeugt, dass von einer medienübergreifenden Umweltbeobachtung nicht nur eine Faszination ausgehen wird, sondern sich vielmehr viele neue Möglichkeiten erschließen lassen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft.

In diesem Sinne wünsche ich der Veranstaltung einen erfolgreichen Verlauf.

## Anmerkungen zum Stand der (ökologischen) Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder

Dr. Dietrich Rosenkranz, Umweltbundesamt

Im Jahr 1990 hatte der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) sein Sondergutachten „Allgemeine ökologische Umweltbeobachtung“ vorgelegt. Die Intentionen des SRU haben die Länder mit den Beschlüssen der 37. und 38. Umweltministerkonferenz (UMK) in 1991 und 1992 aufgegriffen.

Sie hatten das Bundesumweltministerium aufgefordert, „schrittweise eine ökologische, auf Ökosystemen basierende Umweltbeobachtung...auf der Grundlage einschlägiger Projekte auch in Ballungsräumen voranzutreiben“ und „zu prüfen, wie die zahlreichen Aktivitäten der Umweltbeobachtung zusammengeführt und integriert werden können, um als Grundlage für ein möglichst umfassendes Umweltbeobachtungssystem der Länder....zu dienen.“

Das Umweltbundesamt hat die materiellen Zielsetzungen des SRU-Gutachtens und die Verfahrensvorschläge der Länder aufgegriffen und 1993 einen ersten Entwurf für ein „Konzept Umweltbeobachtung“ vorgelegt, der wiederholt diskutiert und fortentwickelt wurde.

Endpunkt dieser Diskussionen war (vorläufig) der Beschluss der 60. Umweltministerkonferenz am 15. und 16. Mai 2003, der feststellt, dass die unter Federführung der Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) durchgeführte Aktualisierung zu keinem wesentlich neuen Sachstand geführt hat. Dies allerdings mit dem Zusatz verbunden, dass aus Sicht der LANA den Berichtspflichten mit europarechtlicher Bindung Vorrang gegenüber einer allgemeinen Umweltbeobachtung einzuräumen sei.

Seit Vorlage des ersten Entwurfs in 1993 (s.o.) und der letztgenannten Beschlussfassung sind also exakt zehn Jahre verstrichen. Grund genug bilanzierend die Frage nach dem Erreichten zu stellen.

Wie das Bilanzergebnis zu werten ist, wird sich am Ende dieser Tagung sicher etwas leichter, vielleicht auch etwas präziser fassen lassen, als dies in einleitenden Anmerkungen der Fall ist. Schon der nachfolgende Beitrag von Gerlinde Knetsch wird einen Einblick in das vom Bund im Zusammenwirken mit einigen Ländern Erreichte auf methodisch-handwerklicher Ebene sichtbar werden lassen.

Die keineswegs begeisternde Beschlusslage (s.o.) auf umweltpolitischer Ebene darf nicht den Blick darauf verstellen, dass wir in den zurückliegenden zehn Jahren nicht etwa dazugelernt hätten. Die jahrelangen Diskussionen um die Umsetzung der Ratsempfehlungen haben in der Tat in einigen Punkten zu Sichtweisen geführt, die nur unter großen Vorbehalten von Anbeginn an hätten formuliert werden können und daher so auch nicht formuliert worden sind. Folgende Beispiele sollen dies belegen:

### WOZU der ganze Aufwand?

An vorderster Stelle jeder Begründung für eine mediale, sektorale oder integrierende Umweltbeobachtung steht die Erfüllung von Berichtspflichten. Nicht ohne Grund hat die LANA dieses Argument bei der Beschlussfassung der 60. UMK wieder hervorgeholt, wenn auch schwer nachzuvollziehen ist, warum zwischen „Beobachtung“ und „Berichterstattung“ ein Gegensatz gesehen wird, der zu der zitierten Prioritätensetzung geführt hat. Eine Berichterstattung ohne vorgeschaltete Beobachtung ist schlechterdings nur schwer vorstellbar, oder ist zumindest zu kurz gedacht. Eine zweite Frage ist, ob die immer wieder festgestellte und behauptete inflationäre Zunahme von Berichtspflichten automatisch zu einem entsprechend zunehmenden Aufwand an Beobachtung führen muss.

Die Beobachtungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass eine im Sinne des Ratsgutachtens angestrebte „allgemeine ökologische“ oder „integrierende“ Umweltbeobachtung keineswegs zu weiteren zusätzlichen Erhebungen führen muss, sondern dass die „intelligente“ Zusammenführung von Erkenntnissen aus bestehenden Beobachtungsprogrammen alleine schon ausreicht, um ein gewichtiges Mehr an Bewertungswissen sicherzustellen.

Das Stichwort „Bewertungswissen“ leitet zu einem zweiten Argument über, das für die Begründung einer Umweltbeobachtung im Sinn des Ratsgutachtens herangezogen wird, die Politikberatung nämlich. Gerade für eine wissenschaftliche Verwaltungsbehörde wie dem Umweltbundesamt hat dieses Argument eine herausgehobene Bedeutung, zumal sie im Errichtungsgesetz des Amtes verankert ist. Es war dies also von Anbeginn an ein gewichtiges Argument für ein „Konzept Umweltbeobachtung“. Dieses ist es auch

heute noch, aber dazugelernt haben wir, dass zwischen Beobachtungsaufwand und Qualität der Beratung keine stramme Korrelation besteht. Zwischengeschaltet ist nämlich der Fakt der jeweils geltenden politischen Prioritätensetzung. Dieses Phänomen führt dazu, dass es ein absolutes Maß für den Beobachtungsaufwand als Grundlage einer qualitätsgesicherten Politikberatung nicht geben kann.

Ein praktisches Beispiel soll dies verdeutlichen: Ein skandinavisches Mitgliedsland der EU hat die Regulation von polybromierten Flammschutzmitteln (PBDE), einem mit großer Wahrscheinlichkeit auch beim Menschen hormonell wirkenden Stoff auf der Grundlage der Analyseergebnisse von ganzen zwölf (dazu hin auch noch gepoolten) Muttermilchproben in Brüssel in Gang gesetzt. Umgekehrt haben wir den Eindruck, dass auch eine sehr viel größere Datenfülle expositionsrelevanter Informationen bei den Dioxinen und Furanen, sowie bei den coplanaren PCB nicht ausreicht, um eine vorsorgegerechte Begrenzung der täglichen Aufnahmemengen dieser Stoffgruppe gesetzlich zu verankern.

Unabhängig von der Frage, ob die genannten Fälle mit realen umweltpolitischen Maßstäben in Deutschland in Verbindung gebracht werden dürfen, zeigen sie, dass das Argument der Politikberatung zwar ein gutes Argument für eine angemessene Umweltbeobachtung nach wie vor ist, allerdings die Frage nach dem zugrundezulegenden Aufwand nicht ohne weiteres zu beantworten vermag. Nach allen Erfahrungen in vergleichbaren Problemstellungen in Deutschland ist ein Mindestmaß an statistisch gesicherter Repräsentativität nicht zu umgehen, schon um zu gerichtsfesten Aussagen gelangen zu können.

### WIE und mit welchem Aufwand organisieren?

Ein immer wiederkehrendes Argument gegen eine vorsorgeorientierte sektor- und medienübergreifende Umweltbeobachtung war der Hinweis, dass sich solches mit vernünftigem Aufwand nicht organisieren lässt, wenn denn aus erkenntnistheoretischen Gründen sich etwas, was nicht bekannt ist, einer Beobachtung schlechterdings entzieht. Und damit verknüpft die Folgerung, dass unter solchen Bedingungen eine Aufwand/Nutzen-Abwägung gegen diese Umweltbeobachtung spräche, da diese Relation nicht zu kalkulieren sei.

Neben den im folgenden Referat noch anzusprechenden methodisch/handwerklichen Leistungen haben wir in diesem Punkt die wohl größten Fortschritte gegenüber der Situation vor 10 Jahren gemacht. Der Schlüssel für eine rationale Organisation dieses Problemfeldes ist die „hypothesengeleitete Vorgehenswei-

se“. Sie meint nichts anderes, als dass der Beobachtungsaufwand auf eine definierte Zahl von Ursache-Wirkungsbeziehungen ausgerichtet wird. Solche Ursache-Wirkungsbeziehungen können bekannte und belegte Zusammenhänge sein, sie können aber auch plausible Annahmen über zu erwartende oder zu befürchtende Veränderungen einschließen. Die Hypothese einer anzunehmenden globalen Klimaänderung mit komplexen regionalen Konsequenzen wäre ein Beispiel dieser Art.

Voraussetzung für diese rationale Vorgehensweise ist ein fachwissenschaftlicher Konsens über die zu wählenden Hypothesen. Das hieraus folgende Ergebnis ist also eine Art Konvention über den derzeit erreichten Stand des Wissens, offen konsequenterweise für gebotene Fortschreibung und Aktualisierung.

Die Grundlagen für einen solchen hypothesengeleiteten Ansatz stammen aus den konzeptionellen Vorarbeiten für die „ökosystemare Umweltbeobachtung“ wie sie im Ratsgutachten seinerzeit eher als Fernziel angeregt wurde. Heute wissen wir, dass sich dieser Ansatz auch in praxi organisieren und erfolgreich als Ergänzung zu einem „datengeleiteten“ (die Zusammenführung vorliegender Daten) Weg durchführen lässt.

An vorderster Stelle ist hier das von Bund und den Ländern Bayern, Hessen und Thüringen durchgeführte „Rhön-Projekt“ (<http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/oeub/index.htm>) zu nennen.

Der hypothesengeleitete Ansatz dort basiert auf einer top down-Analyse der wichtigsten 10 Ursache-Wirkungsbeziehungen auf nationaler Ebene und deren regionaler Ausprägungen im Biosphärenreservat Hohe Rhön. Allen anfänglichen Zweifeln zum Trotz hat sich dieser Durchstieg von der nationalen auf die regionale Ebene so formulieren lassen, dass die Ergebnisse der regionalen Umweltbeobachtung auch in überregionale und nationale Erkenntnisse und Befunde einzubinden waren und umgekehrt.

Die hypothesengeleitete Vorgehensweise hält den Aufwand für die Beobachtungsprogramme in nachvollziehbaren Grenzen, sie führt zu einer immanenten medien- und sektorübergreifenden Verknüpfung der Schutzgüter „Mensch“ und „Umwelt“ und leistet damit wertvolle, weil begründet nachvollziehbare Beiträge zur Früherkennung von Umweltproblemen. Mit dem Stichwort „Früherkennung“ sei auf den eben erschienenen Abschlussbericht der Risikokommission verwiesen. Eine Lektüre dieses Berichts wird angeregt, weil dort die Früherkennungsfunktion der Umweltbeobachtung im Zusammenwirken mit Risikobewertung und Standardsetzung abgebildet wird (<http://www.apug.de/>).

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

### WO aber sind die Umweltbeobachter?

Die heutige Veranstaltung hat, soweit dies aus der Teilnehmerliste zu erkennen ist, ein bemerkenswertes Echo gefunden. Eine solche Resonanz ist gerade in der erkennbaren Heterogenität der Teilnehmenden durchaus keine Selbstverständlichkeit. Eine Erklärung für dieses durchaus erfreuliche Erscheinungsbild hier sehe ich darin, dass es bis heute eine Plattform für die (ökologische) Umweltbeobachtung nicht gibt. Natürlich kennen sich einige „Umweltbeobachter“ der Länder und des Bundes. Natürlich steht es ihnen und allen anderen Interessierten frei, miteinander zu kommunizieren. Erfahrungsgemäß stößt aber diese Art der Selbstorganisation dann an ihre Grenzen, wenn es darum geht, über das eigene Tagesgeschäft hinaus Diskussionen anzuzetteln, den Diskussionsprozess voranzutreiben und zu weiterführenden Ergebnissen zu kommen.

Eine Trivialität? Nein, denn kuriose Eigenheiten hatten der Szene der „Umweltbeobachter“ an: Da beschäftigen sich die höchsten umweltpolitischen Gremien in Deutschland seit Jahren mit dieser Umweltbeobachtung, die EU organisiert ein europäisches Monitoringsystem für Umwelt und Gesundheit ([http://eu.int/comm/environment/health/index\\_en.htm](http://eu.int/comm/environment/health/index_en.htm)), die Arbeitsebene in den Ländern und im Bund begnügt sich jedoch mit gelegentlichem informellem Meinungsaustausch, von der angesprochenen Plattform ist weit und breit noch nichts zu erkennen. Mit Ausnahme der informationstechnischen Seite der Umweltbeobachtung. Bestünde nicht seit Jahren der Bund/Länder Arbeitskreis Umweltinformation (BLAK UIS) mit seinen vielschichtigen Aktivitäten, die kuriose Diskrepanz zwischen Umweltbeobachtung „oben“ und Umweltbeobachtung „unten“ wäre noch größer.

Ein neues Gremium zu fordern, ist nicht zeitgemäß. Andererseits sind solche Gremien Standard in unserem föderativen System. Warum also solches nicht auch für die Umweltbeobachtung? Und um mich nicht dem Verdacht eines bürokratischen Denkansatzes auszusetzen, erinnere ich daran, dass sich zumindest einige der Hauptbeteiligten aus Wissenschaft und Verwaltung ohnehin in verwandten Gremien treffen. Es muss also vielleicht nicht unbedingt ein neues Gremium sein. Und es kann auch über neue, zeitgemäße Kommunikationsstrukturen nachgedacht werden, die den bestehenden Zustand überbrücken können. Im Referat des Kollegen Prüß dürfte dieses Thema wiederzufinden sein.

Mein Dank für die Einladung zu dieser Veranstaltung gilt dem Veranstalter also nicht nur für die attraktive Ausgestaltung dieser Tagung, er gilt insbesondere der Tatsache, dass er mit dieser Tagung eine der ganz

seltenen Gelegenheiten zu einem Meinungsaustausch unter „Umweltbeobachtern“ geschaffen hat.

Eine Bilanz nach 10 Jahren erfordert auch einen Ausblick. Einen solchen zu formulieren fällt einerseits leicht. Er fällt leicht, weil nicht die kostenträchtige Datenbeschaffung das Problem ist; Umweltbeobachtung, verstanden als integrierender Ansatz im Sinn dieser Veranstaltung, lebt überwiegend von den seit Jahren etablierten sektoralen und medialen Beobachtungsprogrammen der Fachverwaltungen. Er fällt schwer, weil die Bilanz einen Appellcharakter hat. Appell deswegen, weil trotz der inzwischen geschaffenen gesetzlichen Grundlage im § 12 des BNatSchG ein gehöriges Maß an Engagement immer noch Voraussetzung für die weitere Etablierung der Umweltbeobachtung ist.

Zwei Schwerpunkte sind es, die es gilt, hervorzuheben:

- Medienübergreifende Umweltbeobachtung bedarf nicht so sehr einer weiteren instrumentellen Absicherung. Sie bedarf vielmehr einer Reihe von zukunftsorientierten und damit politisch attraktiven Grundlagen. Dies können Hypothesen im Rahmen des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung ebenso sein, wie Hypothesen, die regionale Entwicklungen in den größeren nationalen oder globalen Hintergrund einbetten. Ihre Attraktivität wird dann hervorgehoben, wenn ein Abgleich von der regionalen Ebene über Land, Bund bis in den EU-Maßstab sicher gestellt ist.
- Medienübergreifende Umweltbeobachtung ist in dieser Hinsicht derzeit nur eingeschränkt handlungs- und arbeitsfähig. Diesen Zustand zu überwinden, setzt ein erheblich größeres Maß an Kommunikation voraus, als bislang vorhanden und gepflegt. Die heute gegebenen Möglichkeiten der Kommunikation auszuschöpfen gilt es, unabhängig von der aus administrativer Sicht wünschenswerten Plattform, welche die Beteiligten in den Ländern und beim Bund zusammenführt.

# Umweltbeobachtung - Konzepte und Programme des Bundes

Dr. Dietrich Rosenkranz, Gerlinde Knetsch, Umweltbundesamt

## Zusammenfassung

Veränderungen in unserer Umwelt beschränken sich längst nicht mehr auf unmittelbare Effekte einer Belastung oder einer Einwirkung auf die Schutzgüter „Materialien“, „Biologische Vielfalt“ und „Gesundheit des Menschen“. Die Erfolge der Umweltpolitik der vergangenen Jahre bei der Reduzierung von Stoffeinträgen in die Umwelt haben auch dazu geführt, dass heute eher indirekte Wirkungen im Vordergrund des Interesses stehen, die globale Zusammenhänge und Ursache-Wirkungsbeziehungen vermuten lassen, bei denen eine weit gehende Entkopplung von Entstehungs- und Wirkort anzunehmen ist. Dies kann etwa durch umweltbelastende Stoffe in Produkten ausgelöst werden.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die integrierende Umweltbeobachtung zunehmend an Bedeutung. Sie umfasst neben der Probenentnahme, dem Messen und Beobachten, Analysieren und Modellieren auch die Integration von Einzelinformationen zur Beschreibung, Erklärung und Bewertung des Zustandes der Umwelt in seiner Gesamtheit. Umweltbeobachtung ist auf einen Medien übergreifenden Ansatz ausgerichtet. Sie liefert einen Beitrag zur Früherkennung von Umweltproblemen durch eine integrative Datenauswertung aus Erhebungen sektoraler bzw. medienbezogener Mess- und Beobachtungsprogramme. Im Kern stellt integrierte Umweltbeobachtung Bewertungswissen für die Umweltpolitik zur Verfügung.

## 1. Einleitung

Umweltbeobachtung befasst sich mit der Erhebung und Bewertung von Daten über den Zustand der Umwelt in Abhängigkeit von einem Zeitverlauf. Dies schließt Daten über umweltrelevante Veränderungen und Gesundheitseffekte beim Menschen ein. Systematisch und zuverlässig erhobene Daten über den Zustand der Umwelt sind eine wichtige Grundlage für die umweltpolitische Diskussion und die Förderung einer dauerhaften nachhaltigen Entwicklung. Aufgabe der Umweltbeobachtung ist es daher, die Umweltpolitik bei der Initiierung und Erfolgskontrolle von umweltpolitischen Maßnahmen zu unterstützen und die dazu notwendigen Informationsgrundlagen bereit zu stellen.

Für diese Aufgabe stehen langfristig angelegte und anlassbezogene Beobachtungsprogramme auf Bundes- und Länderebene zur Verfügung, die je nach Fragestellung auf unterschiedlichen Ebenen der medialen und integrierten Umweltbeobachtung ansetzen. Über die Ausgestaltung dieser Aufgabe für den Bund haben sich sowohl das Bundesumweltministerium, das Umweltbundesamt, das Bundesamt für Naturschutz als auch der Sachverständigenrat für Umweltfragen geäußert. In Forschungsprojekten sind diese Vorstellungen fachlich weiterentwickelt und konkretisiert worden.

Die Nutzbarkeit der Ergebnisse aus der Umweltbeobachtung in der Umweltpolitik hängt im entscheidenden Maß von ihrer Darstellung und Bewertung ab. Die Orientierung an Umweltqualitätszielen, die Risikobewertung und die sachgerechte Integration von Umweltinformationen für die Erfolgskontrolle von politischen Maßnahmen und die Politikevaluierung sind entscheidend für die Brauchbarkeit und Kommunizierbarkeit der Ergebnisse. Diese Aufgabenstellungen erfordern eine integrative Sichtweise der fachlichen Umweltpolitik und geht über den medienbezogenen Ansatz hinaus.

## 2. Definition und Aufgaben

Für den außen Stehenden stellt sich die Umweltbeobachtung als kaum durchdringbaren Dschungel aus Beobachtungsprogrammen und Datenflüssen dar. Insbesondere die Bundesländer betreiben mehrere hundert Beobachtungsprogramme in den Bereichen Luft, Wasser, Boden, Artenschutz einschließlich der Wirkungen auf den Menschen. Der Geschäftsbereich des BMU mit den Bundesämtern für Naturschutz (BfN), Strahlenschutz (BfS) und Umwelt (UBA) führen weitere Beobachtungsprogramme allein oder in Kooperation mit anderen Partnern durch. Auch in anderen Bundesressorts werden Beobachtungsprogramme durchgeführt, die einen konkreten Umwelt- und Gesundheitsbezug aufweisen.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Das Umweltbundesamt definiert *Umweltbeobachtung* wie folgt:

**Umweltbeobachtung ist die aktive Wahrnehmung von Veränderungen bestimmter Teile, Größen und Wirkungsgefüge der Umwelt in Abhängigkeit von Zeit und Raum. Sie schließt umweltbedingte Veränderungen beim Menschen ein.**

Mit dieser Definition wird auch der bevorstehenden Novellierung des Umweltinformationsgesetzes<sup>[0]</sup> Rechnung getragen, welches explizit den Menschen berücksichtigt.

Umweltbeobachtung erfüllt folgende drei Funktionen:

- Analyse: erfasst und bewertet den Zustand der Umwelt
- Frühwarnung: erkennt und bewertet Risiken frühzeitig
- Erfolgskontrolle: berichtet über die Auswirkungen von umwelt- und naturschutzpolitischen Maßnahmen.

Es stellt somit grundlegende Informationen für Entscheidungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zur Verfügung.

Die Aufgabe der Umweltbeobachtung im Umweltbundesamt ist es primär, Produkte in Form von bewerteten Daten zu erzeugen, die der Politikberatung und der Aufklärung der Öffentlichkeit dienen. Diese Aufgabe wird sich in Zukunft auch an dem novellierten Umweltinformationsgesetz (UIG) ausrichten. Daten und Informationen der Umweltbeobachtung dienen der Umweltpolitik sowohl als Grundlage, um über die Notwendigkeit und den Sinn von steuernden Maßnahmen zu entscheiden. Ebenso sind sie Prüfinstrument für getroffene Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Nebenwirkungen.

Die Umweltbeobachtung erfordert auf Grund ihrer ganzheitlichen Sicht eine enge Verzahnung von Bewertungsmaßstäben, Bewertung und Integration von Einzelinformationen. Ein ergänzender Einsatz von Modellen sowie von Szenarien ist notwendig, um am Ende zum Wissen über Umweltzustand und -qualität sowie Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen beizutragen. Folgende Arbeitsfelder umfasst die Umweltbeobachtung:

- Beobachtung/Erhebung
- Analyse und Auswertung der Basisdaten
- Bewertung und Integration der Basisdaten
- Aggregation zu Umweltinformationen
- Festsetzung von Bewertungsmaßstäben
- Entwicklung von Methoden, Modellen und Szenarien

Eine funktionierende Umweltbeobachtung liegt dann vor, wenn aus den Ergebnissen der Erfolgskontrolle über die Auswirkungen von umwelt- und naturschutzpolitischen Maßnahmen und aus dem Erkenntnisstand der Forschung Änderungen in den Anforderungen an die Umweltbeobachtungsprogramme resultieren und diese in die politischen Entscheidungen, als Informationsgrundlage einfließen.

### 3. Beobachtungsansätze

Das geltende Umweltrecht<sup>1</sup> und die darauf aufbauenden Zuständigkeiten der Behörden prägen die Herausbildung medialer Beobachtungsstrukturen. Die daraus sich entwickelnden „*Pfadabhängigkeiten*“ führen zu weitestgehend historisch gewachsenen sektoralen Erhebungen und Messnetzen. Die Beobachtung von Luft, Wasser, Boden und Artenvielfalt stellt somit das Grundgerüst einer arbeitsteiligen Umweltbeobachtung dar, welche künftig in eine integrative Betrachtungsweise münden muss. Der Aufgabenbereich des Bundes beschränkt sich neben ergänzenden Arbeiten zu den Aufgaben der Länder auf ungeschriebene Kompetenzen, die es ihm u.a. erlauben, die Wirkungen seiner Handlungsinstrumente, insbesondere von Rechtsvorschriften zu überprüfen und beobachten zu lassen.<sup>[1]</sup>

Erkenntnisdefizite in den Wechselbeziehungen der medialen Beobachtungsergebnisse, der Integration zu einem Gesamtbild und bei der übergreifenden Bewertung wurden jedoch immer wieder festgestellt. Im Umweltgutachten 2000 „*Schritte ins nächste Jahrtausend*“ weist der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen explizit darauf hin, dass „...*der traditionelle mediale Ansatz der Umweltpolitik aus mancherlei Gründen zu kurz greift*“<sup>[2]</sup>.

Neben verschiedenen Pfadbetrachtungen sind auch die „Wechselwirkungen zwischen den Umweltmedien hinsichtlich der Folgen medialer Belastungen z.B. für

<sup>1</sup> einschließlich der Aarhuskonvention und des in Kürze novellierten Umweltinformationsgesetzes

die Nahrungskette von Lebewesen“ zu erfassen und „kumulative Belastungen des Menschen, tierischer Lebewesen sowie von Pflanzen durch parallele Stoffeinträge in mehreren Umweltmedien zu berücksichtigen“<sup>[2]</sup>.

Derartige Forderungen nach einer Medien übergreifenden, integrierten Umweltbeobachtung stoßen jedoch angesichts historischer Strukturen zuweilen auf vielfältige fachliche und institutionelle Restriktionen.

### 3.1 Mediale Umweltbeobachtung

Bund und Länder stützen sich in ihren bestehenden Beobachtungsprogrammen weitestgehend auf sektorale bzw. medienbezogene Beobachtungsprogramme, Messnetze und Erhebungen, die sich auf der Grundlage gesetzlicher Regelungen herausgebildet haben. Der Zugang zu diesen Daten ist durch die Verwaltungsvereinbarung zum Datenaustausch und deren Anhänge geregelt. Grundlage des Datenaustausches sind Rechtsvorschriften.

- Wasserhaushaltsgesetz: Oberflächenwassermonitoring Messnetze der LAWA, Grundwassermonitoring, Bund-Länder-Messprogramm Nord- und Ostsee
- Bundes-Immissionsschutzgesetz: Luftmessnetze der Länder und des Bundes (Emission, Immission, Deposition)
- Bundes-Bodenschutzgesetz: Boden-Dauerbeobachtungsflächen der Länder
- Bundes-Naturschutzgesetz: Erhebung von gefährdeten Arten und Lebensräumen, Monitoring von Naturschutzflächen und Biosphärenreservaten

Die Ergebnisse der medialen Umweltbeobachtung dienen u.a. der Erfüllung von nationalen und internationalen Berichtspflichten.

### 3.2 Integrierte Umweltbeobachtung

Eine integrierte Umweltbeobachtung wird beim Biosphärenmonitoring (Man and Biosphere –MAB), bei problemgeleiteten Programmen wie dem Internationalen Kooperativprogramm Integrated Monitoring (ICP IM) und dem integrierten Mess- und Informationssystem zur Überwachung der Radioaktivität (IMIS) bereits praktiziert. Um zu einer integrierten Umweltbeobachtung zu kommen, wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die teilweise auch in kombinierter Form eingesetzt werden:

- Ökosystemarer Ansatz
- Datengeleiteter Ansatz
- Fragen- oder problemorientierter Ansatz
- Modellgeleiteter oder systemtheoretischer Ansatz

Bei der *ökosystemaren Umweltbeobachtung* stehen funktionale Zusammenhänge und Wechselwirkungen in Ökosystemen und deren Kompartimente im Vordergrund des Interesses. Ziel ist die Erfassung der Veränderungen von Struktur und Funktion von Ökosystemen, um Aussagen zur möglichen Entwicklung zu treffen. Damit kann ein Beitrag zur Früherkennung von Umweltveränderungen geleistet werden (*Prognosefunktion*).

Der *datengeleitete Ansatz* baut auf bestehenden Mess- und Beobachtungsprogrammen auf. Er recherchiert die Ergebnisse der Datenerhebungen laufender Programme, die dazugehörigen Standards und Richtlinien sowie Qualitätsziele und verknüpft ursprünglich voneinander unabhängige Aktivitäten. Das Ergebnis hat den Charakter einer integrierten Umweltbeobachtung. Datenlücken werden durch zusätzliche Erhebungen geschlossen.

Das *fragengeleitete Ansatz* soll wissenschaftlich fundierte Aussagen zu aktuellen Umweltproblemen oder -themen ermöglichen (issues of concern). Er formuliert zunächst Ursache-Wirkungs-Hypothesen (auf lokaler bis globaler Ebene). Ihnen werden dann die entsprechenden Parameter und Daten zugeordnet. Die Summe der Parameter stellt den Kerndatensatz dar, mit dem die Bearbeitung der Fragestellung ermöglicht wird. Es werden nur die Parameter und Daten erhoben, die zur Beantwortung der arbeitsleitenden Hypothese erforderlich sind.

Bei dem *modellgeleiteten oder systemtheoretischen Ansatz* werden die Beobachtungsparameter fragenneutral aus theoretischen Überlegungen zur Ökosystemforschung, unabhängig von bestehenden oder beschriebenen Umweltproblemen bestimmt. Dieser Ansatz verfolgt das Ziel, mittels Stoffflussanalysen und Simulationsmodellen kritische Veränderungen im System oder in seinen Funktionen zu erkennen und zu bewerten, noch bevor diese als Umweltprobleme in Erscheinung treten.

## 4. Historischer Rückblick

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen regte in seinem Sondergutachten 1990 zur „Allgemeinen ökologischen Umweltbeobachtung“ an, die bisherige mediale Beobachtungspraxis um integrierte Ansätze zu erwei-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

tern. Damit leitete er die Diskussion um die Einführung einer bundesweit koordinierten und harmonisierten Umweltbeobachtung ein.

Die Forderung nach einem übergreifenden, integrierten Umweltbeobachtungskonzept wurde von der 37. und 38. Umweltministerkonferenz im Herbst 1991 und im Frühjahr 1992 aufgegriffen. Mit dem Beschluss „...schrittweise eine ökologische, auf Ökosystemen basierende Umweltbeobachtung .... auf der Grundlage einschlägiger Projekte auch in Ballungsgebieten voranzutreiben“ und „...zu prüfen, wie die zahlreichen Aktivitäten der Umweltbeobachtung zusammengeführt und integriert werden können, um als Grundlage für ein möglichst umfassendes Umweltbeobachtungssystem der Länder....zu dienen“ wurde das Bundesumweltministerium aufgefordert, entsprechende Aktivitäten einzuleiten. Es erging an den Bund-Länder-Arbeitskreis Umweltinformationssysteme (BLAK UIS) folgende Bitte:

- Verfolgung der Aktivitäten zur Entwicklung der Konzeption im Hinblick auf Errichtung und Ausbau von Umweltinformationssystemen,
- Mitwirkung an der Konzeption für eine ökologische Umweltbeobachtung.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit arbeitet seit mehr als 10 Jahren das Umweltbundesamt gemeinsam mit dem Bundesamt für Naturschutz an Konzepten zu einer solchen Medien übergreifenden Umweltbeobachtung. Das 1996 vorgelegte „Konzept für ein Umweltbeobachtungsprogramm“<sup>[4]</sup> sah eine dreigestufige Vorgehensweise vor:

- **Stufe 1: Bestandsaufnahme und Methodik**  
Zusammenstellung von Beobachtungsprogrammen in Verantwortung des Umweltbundesamtes (UBA) und des Bundesamtes für Naturschutz (BfN), Auswahl, Festlegung und Sicherung der Programme für ein so genanntes „Kernmessnetz“, das die Grundbausteine des Umweltbeobachtungsprogramms umfasst, Entwicklung von Methoden und Modellen zur Verknüpfung von Programmen und Daten.
- **Stufe 2: Anpassungs- und Zusammenführungsphase**  
Einbeziehung der Beobachtungsprogramme anderer Bundesressorts und der Länder sowie Integration in den internationalen Verbund der Europäischen Umweltagentur

- **Stufe 3: Ökosystemare Umweltbeobachtung**  
Fortentwicklung und Erweiterung der Umweltbeobachtung um ökosystemare Ansprüche in ausgewählten Gebieten entsprechend den Empfehlungen des Sachverständigenrates für eine Medien übergreifende Beobachtung

Das 1996 vorgelegte Konzept wurde in den folgenden Jahren mehrfach überarbeitet und umbenannt, u.a. in „Konzept für eine Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder“. Dies fand vor dem Hintergrund der Änderung des Grundgesetzes und der gesetzlichen Verankerung der Umweltbeobachtung in der Novelle des BNatSchG (§11) statt. Durch die Herausnahme der Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“ und „Materialien“ sowie der „Gentechnisch veränderten Organismen“ wurde das Konzept an den Geltungsbereich des Naturschutzgesetzes angepasst.

Da 1998 die geplante Novelle des BNatSchG (§11) nicht zu Stande kommt, legen UBA und BfN im Juli 1998 einen überarbeiteten Entwurf des Konzeptes vor, welches die Bausteine Menschliche Gesundheit, Materialien und gentechnisch veränderte Organismen enthält.

Im Dezember 1998 findet das erste Abstimmungsgespräch mit den Bundesressorts und den Ländern statt. In einem zweiten und dritten Abstimmungsgespräch mit den Ländern, Länderarbeitsgemeinschaften und nachgeordneter Behörden anderer Ressorts im Januar und April 1999 werden diese gebeten, Stellungnahmen zum „Konzept für eine Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder“ abzugeben. Trotz dieser mehrfachen Abstimmungsgespräche mit den Bundesländern war es nicht möglich, eine breite Akzeptanz für dieses Konzept zu erreichen.

Die 23. Amtschefkonferenz (ACK) und 52. Umweltministerkonferenz (UMK) befassen sich im März/ April 1999 auf Antrag Thüringens mit dem Thema Umweltbeobachtung. Folgender Beschluss wurde gefasst:

„Der Bund möge zum aktuellen Stand der Projekte zur Umweltbeobachtung berichten“.

Im März/April 2000 legte das BMU der 25. ACK/54. UMK ein umweltpolitisches Dachpapier „Umweltbeobachtung - Stand und Entwicklungsmöglichkeiten“ in Abstimmung mit dem UBA vor. Diese Papier enthält u.a. einen Überblick zu Projekten und Aktivitäten, die im Zusammenhang mit dem Thema Umweltbeobachtung stehen. Im Ergebnis der Diskussion zu dieser BMU-Vorlage wurden die Länderarbeitsgemeinschaften zur Stellungnahme aufgefordert. LABO, LAI, LAGA, LANA und LAWÄ äußern sich grundsätzlich positiv zu den vorgelegten konzeptionellen Vorschlägen des

BMU. Mit der Vorlage dieses Konzeptpapiers ist offiziell das „Konzept für eine Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder“ vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zurückgezogen worden. Zukünftig ist dieser Bericht des BMU Grundlage für die Verhandlungen mit den Ländern.

Im Sommer 2001 liegt der überarbeitete Entwurf der Novelle des BNatSchG vor. Der Begriff **Ökologische** Umweltbeobachtung ist aus dem Gesetzentwurf gestrichen und enthält im § 12 „Umweltbeobachtung“ u.a. folgende Erläuterungen:

- (2) Zweck der Umweltbeobachtung ist, den Zustand des Naturhaushaltes und seine Veränderungen, die Folgen solcher Veränderungen, die Einwirkungen auf den Naturhaushalt und die Wirkungen von Umweltschutzmaßnahmen auf den Zustand des Naturhaushaltes zu ermitteln, auszuwerten und zu bewerten.**
- (3) Bund und Länder unterstützen sich gegenseitig bei der Umsetzung. Sie sollen ihre Maßnahmen der Umweltbeobachtung nach Abs. 2 aufeinander abstimmen.**

Im November 2001 beschließt der Bundestag die Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes. Im April 2002 tritt die Novelle des BNatSchG mit § 12 *Umweltbeobachtung* in Kraft.

Die Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) erhält von der 29. ACK im April 2002 den Auftrag, das umweltpolitische Dachpapier den Länder-Arbeitsgemeinschaften LABO, LAI, LAGA und LAWA zur wiederholten Stellungnahme vorzulegen und einen Bericht an die 31. ACK im Frühjahr 2003 zu geben. Die Länder-Arbeitsgemeinschaften LABO, LAI, LAGA und LAWA äußerten sich wiederum grundsätzlich positiv zu den konzeptionellen Vorstellungen des Bundes. Die LANA jedoch sieht derzeit keinen konkreten Handlungsbedarf, da Berichtspflichten an die EU im Rahmen der Umsetzung der FFH-Richtlinie und der NATURA-2000 prioritäre Aufgabe sind. Mittelfristig soll das Thema Umweltbeobachtung weiter verfolgt werden<sup>[3]</sup>.

### 5. Konzepte des Bundes zur Umweltbeobachtung

Das umweltpolitischen Dachpapier „*Umweltbeobachtung – Stand und Entwicklungsmöglichkeiten*“ ist derzeit die Basis für die Verhandlungen mit den Ländern. Es ist deutlich hervorzuheben, dass die gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung ein integraler Bestandteil dieses um-

weltpolitischen Konzeptes ist und trägt somit dem novellierten Umweltinformationsgesetz Rechnung. Das UBA hat zur verbesserten Koordinierung und effektiven Ausgestaltung der Umweltbeobachtung verschiedene Konzepte und Programme entwickelt. Dies betrifft einerseits ein Konzept zur ökosystemaren Umweltbeobachtung, welches der vom Rat von Sachverständigen von Umweltfragen vorgeschlagenen Optimierung der bisherigen Verfahrensweise gerecht wird (SRU 1991).

#### 5.1 Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung

Die „*Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung*“ liefert Grundlagen für die langfristige Umweltbeobachtung in deutschen Biosphärenreservaten. In einem vom Umweltbundesamt zu 100 % finanziertem F+E-Projekt wurde von 1992-1994 der wissenschaftlich-fachliche Ansatz für eine ökosystemare Umweltbeobachtung erarbeitet, deren Vorschläge richtungweisend für die Einführung der ökosystemaren Umweltbeobachtung vorrangig in Biosphärenreservaten sind (Projektleiter Prof. Haber, Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für Landschaftsökologie der TU München Weihenstephan, Bearbeiter: Schönthaler, Kerner, Köppel, Spandau, Bosch & Partner GmbH Königsdorf und Team 18 (Umweltforschung Freising) in Zusammenarbeit mit der Nationalparkverwaltung Berchtesgaden).

Die Konzeption zielt nicht auf ein neues flächendeckendes umzusetzendes Beobachtungsprogramm, sondern soll in ausgewählten Gebieten angewandt werden<sup>[5]</sup>. Der Konzeption liegt eine Verbindung von systemtheoretischen (funktionalen) und fragegeleiteten Ansätzen (Ursache-Wirkungs-Hypothesen) zu Grunde. Aus einer Liste von zehn sowohl global als auch national relevanten Umweltproblemen wurden 150 Teilhypothesen zu den Ursachen und Konsequenzen der Umweltveränderungen abgeleitet.

Die in der „*Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung*“ erarbeiteten Ergebnisse wurden in einem Folgeprojekt „Modellhafte Umsetzung und Konkretisierung der Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung am Beispiel des Länder übergreifenden Biosphärenreservat Rhön“<sup>[6]</sup> von 1997 bis 2002 konkretisiert und methodische Ansätze zur Integration analysiert und bewertet. Dieses gemeinsame Projekt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen und des UBA (zu je 50 % Finanzierung) wurde unter Beteiligung der Umweltministerien von Hessen und Thüringen durchgeführt. Deren Durchführung wurde über eine Verwaltungsvereinbarung geregelt. (Auftragnehmer: Bosch & Part-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

ner GmbH München in Zusammenarbeit mit Ökologie-Zentrum Kiel, der ARSU-GmbH Oldenburg und der AG Ökochemie und Umweltanalytik Westerstede). Dieses Vorhaben fand unter aktiver Beteiligung aller mit Umweltbeobachtung befassten Länderfachbehörden in Bayern, Hessen und Thüringen sowie privater Einrichtungen, die Daten in der Rhön erheben, statt.

Die Pilotanwendung wurde auf der Basis der Erkenntnisse aus der Ökosystemforschung entwickelt und mit den Experten u.a. aus den Ökosystemforschungszentren abgestimmt. Im Idealfall soll an allen ausgewählten Standorten ein harmonisierter Kerndatensatz erhoben werden. Er beschreibt das Ökosystem funktional und raumbezogen anhand wichtiger Ein- und Austräge von überregionaler und globaler Bedeutung. Ökosystemare Schlüsselgrößen sollen Störungen in Teilprozessen frühzeitig anzeigen. Wichtige Prinzipien des Konzeptes sind:

- Interdisziplinäre Zusammenarbeit,
- Flächenbezug der Ökosystemtypen,
- Übertragung von Daten aus Versuchsflächen auf das Gesamtgebiet,
- Anwendung verschiedener Forschungsmethoden für unterschiedliche Betrachtungsebenen,
- Entwicklung und Einsatz von Geografischen Informationssystemen.

Die Umsetzung des Konzeptes umfasst folgende Kernaufgaben:

- Ausarbeitung eines Kerndatensatzes mit 498 Parametern, die nach Priorität und Frequenz ihrer Erhebung eingeteilt sind. Sie werden im Rahmen der ökosystemaren Umweltbeobachtung erhoben bzw. aus bestehenden Programmen für die integrierte Auswertung zur Verfügung gestellt.
- Erarbeitung von Vorschlägen für eine harmonisierte Erhebung von Umweltdaten, die bereits bestehende Harmonisierungsbemühungen von (Bund)-Länder-Arbeitskreisen aufgreifen.
- Entwicklung eines Auswertungskonzeptes (Zusammenstellung sowohl einfacher, etablierter als auch komplexer, übergreifender Methoden) mit assoziierten Ursache-Wirkungs-Hypothesen, die die Grundstruktur sowohl des konkreten Vorgehens als auch der Berichterstattung festlegen.

Dieses Konzept lässt sich auch auf andere terrestrisch oder limnisch geprägte Ökosystemtypen übertragen. Wesentliche Teile sind bereits in die Leitlinien der ständigen Arbeitsgruppe der Biosphärenreservate Deutschlands (AGBR) aufgenommen worden <sup>[7]</sup>.

### 5.2 Fachkonzept für eine naturschutzorientierte Umweltbeobachtung

Zur Strukturierung und Einrichtung eines auf die Gesamtfläche Deutschlands bezogenen Beobachtungssystems für Biodiversität entwickelte das Bundesamt für Naturschutz in enger Zusammenarbeit mit den Bundesländern (Unterarbeitsgruppe der LANA) ein Fachkonzept „Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung (1999)“<sup>[8]</sup>. Es verfolgt den an statistischen Repräsentativitätskriterien orientierten Ansatz der Ökologischen Flächenstichprobe (ÖFS). Das Fachkonzept wurde von der LANA zur Kenntnis genommen. Eine Umsetzung ist aus finanziellen Gründen zurückgestellt worden. Aus Sicht des Umweltrates (SRU-Gutachten 2000 „Schritte ins nächste Jahrtausend“) greift dieses Konzept jedoch zu kurz. Es muss einen deutlichen Schwerpunkt bei der Erfassung von Kerndaten des Naturschutzes und von Daten gesetzt werden, die für die internationalen Berichtspflichten und die EU-Richtlinien dazu erforderlich sind. Ein kohärentes Netz der Beobachtung in den NATURA-2000-Gebieten (Umsetzung der FFH-Richtlinie) sollte geschaffen werden.

### 5.3 Konzeption für ein Monitoring gentechnisch veränderter Organismen

Die novellierte EU-Freisetzungsrichtlinie vom März 2001 schreibt ein Monitoring der Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen auf Mensch und Umwelt fest (GVO-Monitoring). Hierzu ist ein Konzept für ein Langzeitmonitoring vorzulegen. Die Bund-Länder-Arbeitsgruppe Monitoring der Umwelteinwirkungen von GVP (gentechnisch veränderten Pflanzen) wurde unter Federführung des UBA mit der Konzeptentwicklung beauftragt. Im Ergebnis eines F+E-Vorhabens liegen konzeptionelle Vorschläge für ein Langzeitmonitoring von Umweltauswirkungen transgener Kulturpflanzen vor <sup>[9]</sup>. Das Konzept enthält Aussagen zur Abschätzung möglicher Umwelteinwirkungen von GVP, zeigt Nutzungspotenziale bestehender Umweltbeobachtungsprogramme für ein Langzeitmonitoring auf und benennt Anforderungen an notwendige Beobachtungen anhand von Ursache-Wirkungsbeziehungen. Der Länder-Ausschuss Gentechnik (LAG) und die Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz (LANA) begleiten diese Aktivitäten. Zukünftig wird das Bundesamt für Naturschutz diese Aufgabe wahrnehmen.

### 5.4 Konzeption für eine gesundheitsbezogene Umweltbeobachtung

Mit dem im Juni 1999 gemeinsam vom Bundesumweltministerium (BMU) und Bundesgesundheitsministerium (BMG) vorgelegten „*Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit*“ (APUG - <http://www.apug.de/>) wurden erstmalig in Deutschland Strategien, Maßnahmen und Ziele für eine umfassende Auseinandersetzung mit den gesundheitlichen Folgen von Umwelteinflüssen benannt. Das Umweltbundesamt ist an der wissenschaftlichen Umsetzung des Programms beteiligt. Mit folgenden zwei eigenen Instrumente zur gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung lassen sich umweltbedingten Belastungen des Menschen charakterisieren:

- *Humanprobenbank* (als Teil der Umweltprobenbank des Bundes)
- *Umwelt-Survey* - als Teil des Gesundheitssurveys des Robert Koch-Institut (RKI)

Ziel der gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung im Rahmen der Humanprobenbank ist die Ermittlung von Belastungen der Probenbankkollektiven an vier Standorten in Deutschland mit organischen und anorganischen Schadstoffen sowie die Archivierung der Proben für retrospektive Analysen. Die Probenahme und Analytik wird nach Standardarbeitsanweisungen durchgeführt.

Der Umwelt-Survey, der sich aus einer Unterstichprobe des Gesundheitssurveys zusammensetzt, dient der Ermittlung und Aktualisierung von repräsentativen Daten zur Schadstoffbelastung der deutschen Allgemeinbevölkerung und deren Wohnumfeld. An repräsentativen Querschnittsproben, die nach einem mehrstufig geschichteten Zufallsverfahren aus den Einwohnermelderegistern gezogen wurden, erfolgen standardisierte Untersuchungen. In der zweiten Projektphase des „*Aktionsprogramm Umwelt und Gesundheit*“ (APUG II) bildet u.a. das Thema Kinder, Umwelt und Gesundheit (KUG) einen Schwerpunkt. In Kooperation mit dem bundesweiten Kinder- und Jugendgesundheitsurvey des Robert Koch Institutes wurden 2001 bis 2002 in einem „Pretest“ Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 18 Jahren untersucht. Die Hauptphase dieses Surveys begann im Frühjahr 2003 und soll bis 2006 laufen.

Die weitere Ausgestaltung und Umsetzung des Konzeptes der gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung sieht eine modulare Vorgehensweise vor. In einem er-

sten Schritt findet die Optimierung und Erweiterung der Humanprobenbank statt, dem sich eine Überprüfung des Umweltsurveys anschließen soll. Die Neugestaltung der gesundheitsbezogenen Umweltbeobachtung wird derzeit in intensivem Diskurs mit allen Beteiligten und Betroffenen diskutiert.

### 6. Methodische Untersetzung des Konzeptes Umweltbeobachtung

Voraussetzung für die Verknüpfung vorhandener Beobachtungsprogramme und Messnetze für eine Medien übergreifende und integrierende Betrachtung sind detaillierte Aussagen zu den Programmen selbst. Notwendige Metadaten beschränken sich hierbei nicht nur auf den fachlichen, zeitlichen und räumlichen Bezug, sondern auch auf methodischen Angaben der erhobenen Parameter (Probenahme- und analytische Verfahren), um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Eine kontinuierliche, auf lange Zeiträume ausgelegte Erhebung sowie eine nach bestimmten Qualitätskriterien durchgeführte Dokumentation und Aufbereitung von Metadaten der Beobachtungsprogramme sind eine Grundvoraussetzung, um aus Zustandsdaten der Umweltbeobachtung Bewertungswissen zu generieren. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen stellt in seinem Sondergutachten 2002<sup>[10]</sup> fest, dass es „*letztendlich ... um die Harmonisierung der heterogenen Datenerhebungen von Bund, Länder und Institutionen, um die verbesserte und erweiterte Datenauswertung und um die Zusammenführung und Nutzbarmachung von Daten für die Umweltberichterstattung und zur Erfüllung der Informationspflichten des Bundes*“ geht.

Um diesen Harmonisierungsprozess für die Aufgaben der Umweltbeobachtung zu steuern, hat das UBA mit mehreren Forschungsprojekten begonnen, Methoden und Instrumentarien zu entwickeln. Dies betrifft einerseits die Aufbereitung von Metadaten zu bestehenden Programmen auf Bundes- und Länderebene. Andererseits können durch den Einsatz einer Raumgliederung Deutschlands und der Anwendung von geostatistischen Verfahren Daten aus verschiedenen Programmen räumlich und inhaltlich verknüpft werden. Die Einordnung und Analyse von Mess- und Beobachtungsergebnissen in einen naturräumlichen und problemorientierten Bezug erlaubt u.a. die Interpretation von Stoffflüssen, die wiederum für die Ursachenforschung von strukturellen als auch funktionalen Veränderungen in der Umwelt notwendig sind.

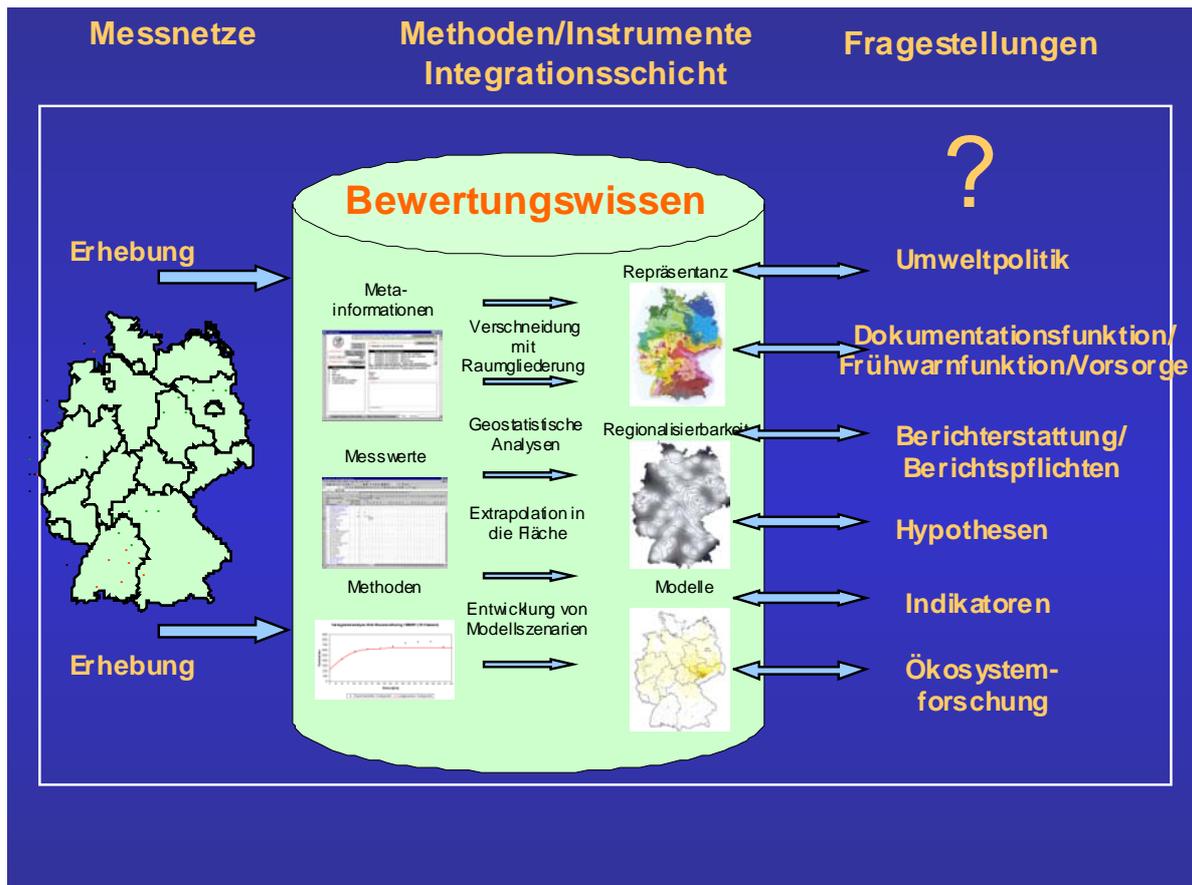


Abb. 1: Methodische Schritte beim Vorgehen zur Generierung von Bewertungswissen

## 6.1 Metadaten von Beobachtungsprogrammen

Das UBA hat die im Geschäftsbereich des BMU auf Dauer eingerichteten Beobachtungsprogramme aufgenommen. Dazu wurde eine Struktur entwickelt, die inhaltliche, methodische, zeitliche und räumliche Angaben dokumentiert. Diese Struktur wurde im Zuge der Entwicklung weiterer Metadatenysteme – wie dem Umweltdatenkatalog des Bundes und der Länder (UDK) – ausdifferenziert und an diese bestehenden Systeme angepasst. Es zeigte sich jedoch auch mit zunehmenden fachlichen Anforderungen an eine integrative und Medien übergreifende Zusammenschau der Beobachtungsprogramme, dass der Umweltdatenkatalog (UDK) nur in einem begrenzten Maße nutzbar ist. Die Anbindung an ein Geografisches Informationssystem zur Visualisierung der Messnetze, aber auch die Detailschärfe der dokumentierten Messnetze bis auf Messstellenebene ist Voraussetzung zur Integration medialer Programme. Messstellengenaue Angaben zum Beobachtungsdesign mit den entsprechenden räumlichen Koordinaten sind durch die Verbindung mit einer Datenbank unter GIS zu verwalten, zu

visualisieren und durch den Einsatz von multivariat-statistischen Verfahren auszuwerten.

Für den Bereich weiterer Bundesressorts wurden im Rahmen von zwei Forschungsprojekten<sup>[11]</sup> für mehr als 40 Beobachtungsprogramme aus sechs Bundesministerien Metadaten dokumentiert. Diese Dokumentation ist einerseits als Kompendium (UBA-Texte 73/98, 65/02) veröffentlicht, andererseits liegen die Programme strukturiert in einem Metadatenystem *Umweltbeobachtungsprogramm-katalog – UBPK* vor. Darüber hinaus sind die allgemeinen Angaben zu den Programmen in den vUDK des Bundes übernommen worden und dort unter dem Stichwort „Umweltbeobachtungsprogramme“ recherchierbar.

Des Weiteren wurde im Zusammenhang mit einem Forschungsprojekt des UBA<sup>[12]</sup> begonnen, eine Bestandsaufnahme der Länderprogramme in Form einer Metadaten dokumentation durchzuführen. Hierbei nutzte der Forschungsnehmer sowie das UBA den Umweltdatenkatalog des Bundes und der Länder (UDK) für gezielte Recherchen. Im Ergebnis lag ein erster Überblick zu den Beobachtungsprogrammaktivitäten und den Ansprechpartner in den Behörden

vor. Aufbauend auf diesen Angaben führte der Forschungsnehmer Workshops in 10 Ländern durch, auf dem das Anliegen des Bundes sowie ein digitaler Fragebogen „Umweltbeobachtung“ zur Erfassung detaillierter fachspezifischer Metadaten kompartimentbezogen vorgestellt wurde. Dieser Fragebogen enthält alle notwendigen Informationen, um die Fachanwendung „GIS Umweltbeobachtung“ mit den Metadaten zu bedienen. Ein eigens für die Abfrage entwickeltes Tool „MeSID2 (MetadatenSuche und InformationsDialog)“ ist innerhalb der verwendeten GIS-Software Arc View 3.2 entwickelt worden. Somit wird eine Verknüpfung von Sachdaten (Metadaten) mit Raumdaten (Messstellenkoordinaten) ermöglicht. Eine Suche nach Schlagworten recherchiert in den Angaben zu den Ländermessnetzen und listet standortbezogen zu den Messstellen deren Ergebnisse aus. Mehr als 50 Programme von sechs Ländern sind in dieser Form digital erfasst worden und über das Werkzeug „MeSID“ (MetadatenSuche und InformationsDialog) recherchierbar.

obachtung „GIS Umweltbeobachtung“ unter Arc View entwickelt. Diese Fachanwendung führt Metadaten über die Umweltbeobachtung des Bundes und der Bundesländer in einem zentralen Verwaltungs-, Analyse- und Präsentationsinstrument zusammen. Mit diesem System können große und z. T. heterogene Metadatenbestände zu den Beobachtungsprogrammen übersichtlich und zentral aufbereitet werden. Gleichzeitig gestattet das eingesetzte GIS die Möglichkeit zur Verknüpfung der erhobenen Metadaten mit den einzelnen Messstandorten durch zusätzliche räumliche Lage- bzw. Positionsinformationen in Form von Koordinatenpaaren. Somit kann ermittelt werden, welcher Umweltparameter wo und mit welcher Methode erfasst wird. Alle Messstandorte enthalten demzufolge also Daten über den Standort selbst. Des Weiteren werden Geobasisdaten und Geofachdaten in das System integriert, die wiederum Basis für die Aus- und Bewertung der verschiedenen Mess- und Beobachtungsprogramme sind.

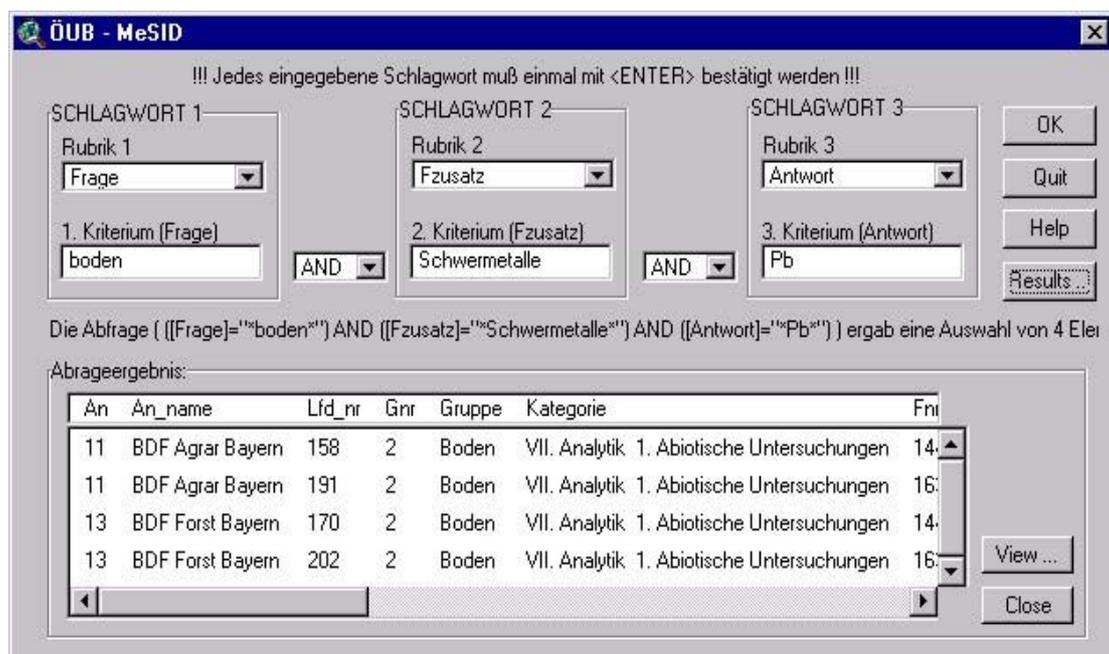


Abb. 2: Programmoberfläche des Rechercheinstruments „MeSID“ (MetadatenSuche und InformationsDialog)

Im Zusammenhang mit den Forschungsprojekten des Umweltbundesamtes „Entwicklung eines Modells zur Zusammenführung vorhandener Daten des Bundes und der Länder zu einem Umweltbeobachtungssystem“ und „Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogramms im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder“<sup>[13]</sup> 2 wurde ein Fachinformationssystem zur Umweltbe-

<sup>2</sup> Weitere Informationen und Ergebnisse zu den Ergebnissen der Forschungsprojekte sind unter der folgenden Web-Adresse zugänglich: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/umweltbeobachtungsmethoden.htm>

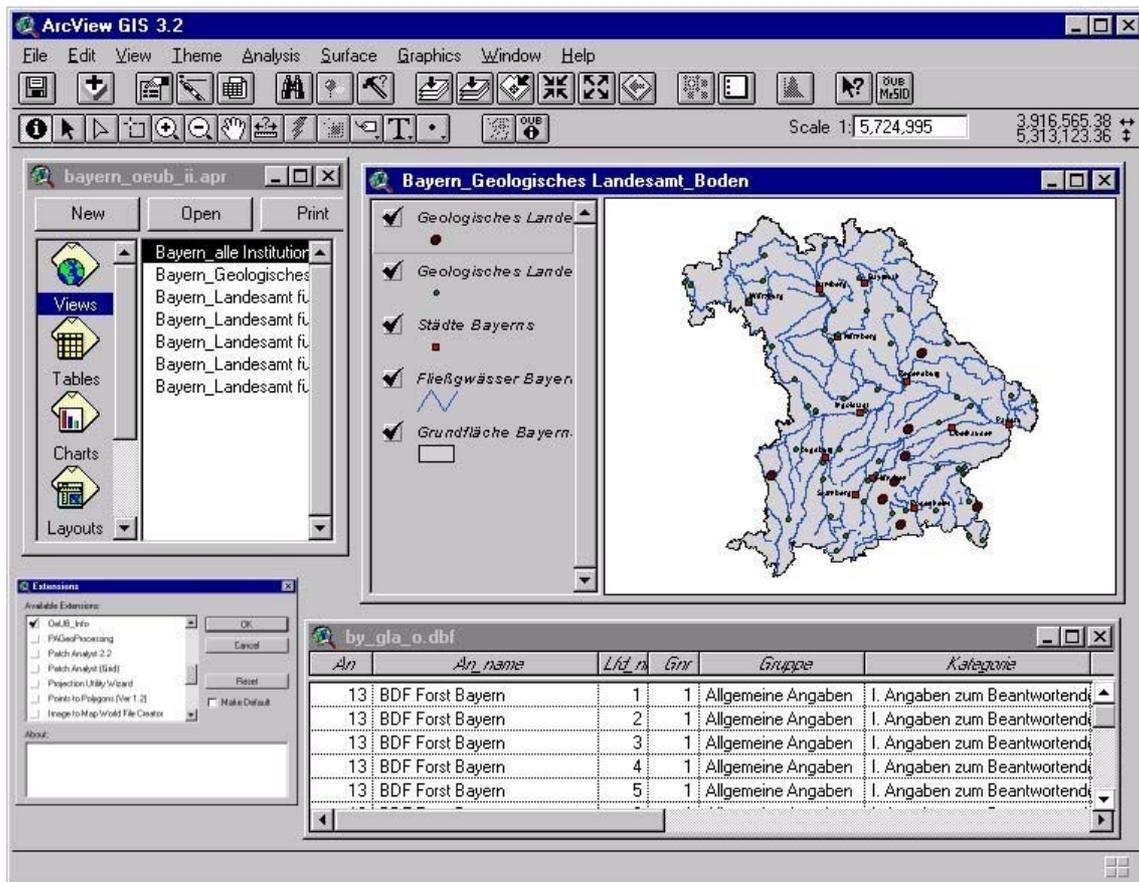


Abb. 3: Programmoberfläche von ArcView der Fachanwendung GIS UB

### 6.3 Raumgliederung Deutschland

Umweltbeobachtung zielt darauf, Ergebnisse aus Beobachtungsprogrammen und Messnetzen fachlich und methodisch aufzubereiten, je nach Fragestellungen Medien übergreifend zu verknüpfen und integrativ auszuwerten<sup>[14]</sup>. Zu diesem Zweck werden mit einem multivariat-statistischen Verfahren Flächendaten über Klima, Boden, Orografie und potenziell natürliche Vegetation zu einer landschaftsökologischen Raumgliederung berechnet. Sie dient als Basis der Darstellung, Zusammenschau und Bewertung verschiedener Umweltbeobachtungsmessnetze. Sie kann für die Bestimmung der raumstrukturellen Landschaftsrepräsentanz und als räumliche Bezugsbasis für Messdaten dienen, nachdem deren Extrapolierbarkeit vom Messpunkt in die Umgebungsflächen geostatistisch geprüft wurde. Aufbauend auf dieser geostatistischen Analyse der Messdatenrepräsentanz und der mit der Raumgliederung bestimmten landschaftsstrukturellen Messstellenrepräsentanz können Vorschläge für die Optimierung von Beobachtungsmessnetzen abgeleitet werden.

Für die Bestimmung der Messnetze hinsichtlich ihrer raumstrukturellen Landschaftsrepräsentanz und als räumliche Bezugsbasis für die Extrapolierbarkeit von Punktdaten in die Umgebungsflächen kann diese vorliegende Raumgliederung Deutschlands genutzt werden. Mit dem multivariat-statistischen Verfahren CART (Classification and Regression Trees) und unter Einsatz des Geografischen Informationssystem ArcView wird Deutschland in verschiedene Raumklassen (Landschafts- bzw. Naturräume) unterteilt. Hierbei sollen zwei Kriterien erfüllt werden:

- Homogenität, das heißt, die Merkmale sollen innerhalb eines Naturraumes einander möglichst ähnlich sein und
- Trennschärfe, das heißt, die Naturräume sollen gut gegenseitig abgrenzbar sein.

Die ausgewählten ökologischen Merkmale zur multivariat-klassifizierenden Raumbeschreibung mit CART sind:

- Zielvariable: Potenzielle natürliche Vegetation

- Beschreibende Variablen: Bodenarten, orographische Höhe sowie monatlich differenzierte Klimadaten 1961 - 1990 (Lufttemperatur, Niederschlagssumme, Verdunstungsrate und Globalstrahlung).

Voraussetzung für die Erstellung einer nachvollziehbaren und geostatistisch abgesicherten Raumgliederung sind flächendeckende digitale Geobasis- und Geofachdaten zu den o.g. Parametern. Nur durch eine enge Kooperation mit anderen Bundes- und Fachbehörden war es möglich, die digitalen Datenbestände für das Projekt Raumgliederung zu erhalten und bis zu neun Modellläufe durchzuführen. Das vorgelegte Ergebnis ist ein Konsens aus den derzeit verfügbaren digitalen Daten und den fachlichen Anforderungen aller beteiligter Behörden.

Der Partitionsalgorithmus "log-likelihood" der Splus-Version von CART berechnet für alle Ausprägungen der beschreibenden Variablen die "Unreinheiten" der sich ergebenden Untergruppen. Der Algorithmus wählt diejenige Partition mit dem günstigsten Fehlklassifikationswert aus. Er beschreibt die Beziehungen der Klassen untereinander bezüglich der Ausprägungen der Zielvariablen und der beschreibenden Merkmale. CART erstellt zunächst einen Strukturbaum mit der nach Datenlage maximal möglichen Klassenanzahl. In der hier vorgestellten Raumgliederung wurde letztendlich eine maximale Klassenanzahl von 73 erreicht. Der auf diese Weise berechnete Maximalbaum kann anschließend vom Bearbeiter anhand im Einzelnen fachlich zu begründender Kriterien manuell zurückgeschnitten werden. Dadurch wird es möglich, die vom Programm berechnete Klassifikation nach inhaltlichen Überlegungen zu modifizieren. Jede Klasse wird statistisch und verbal beschrieben und durch einen Namen gekennzeichnet.

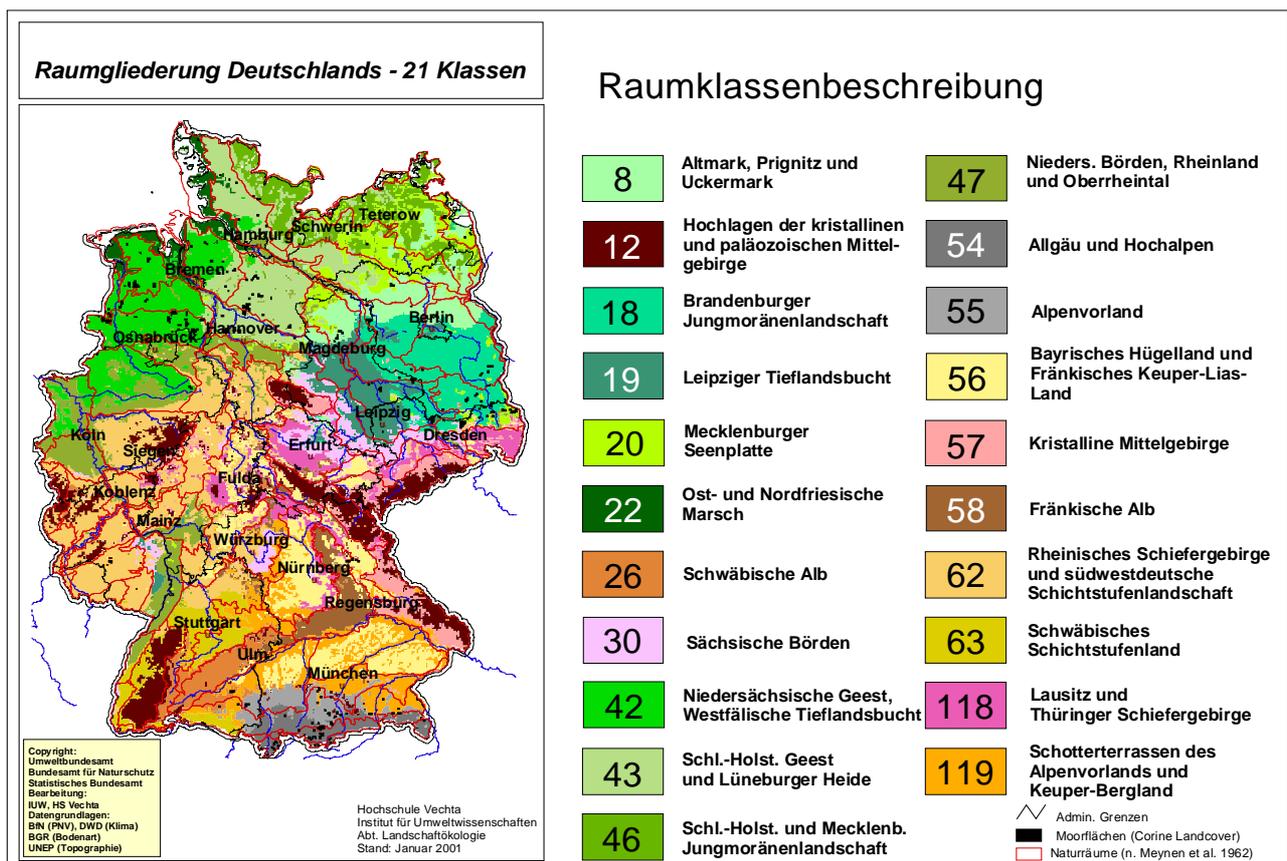


Abb. 4: Standortsökologische Raumgliederung Deutschlands

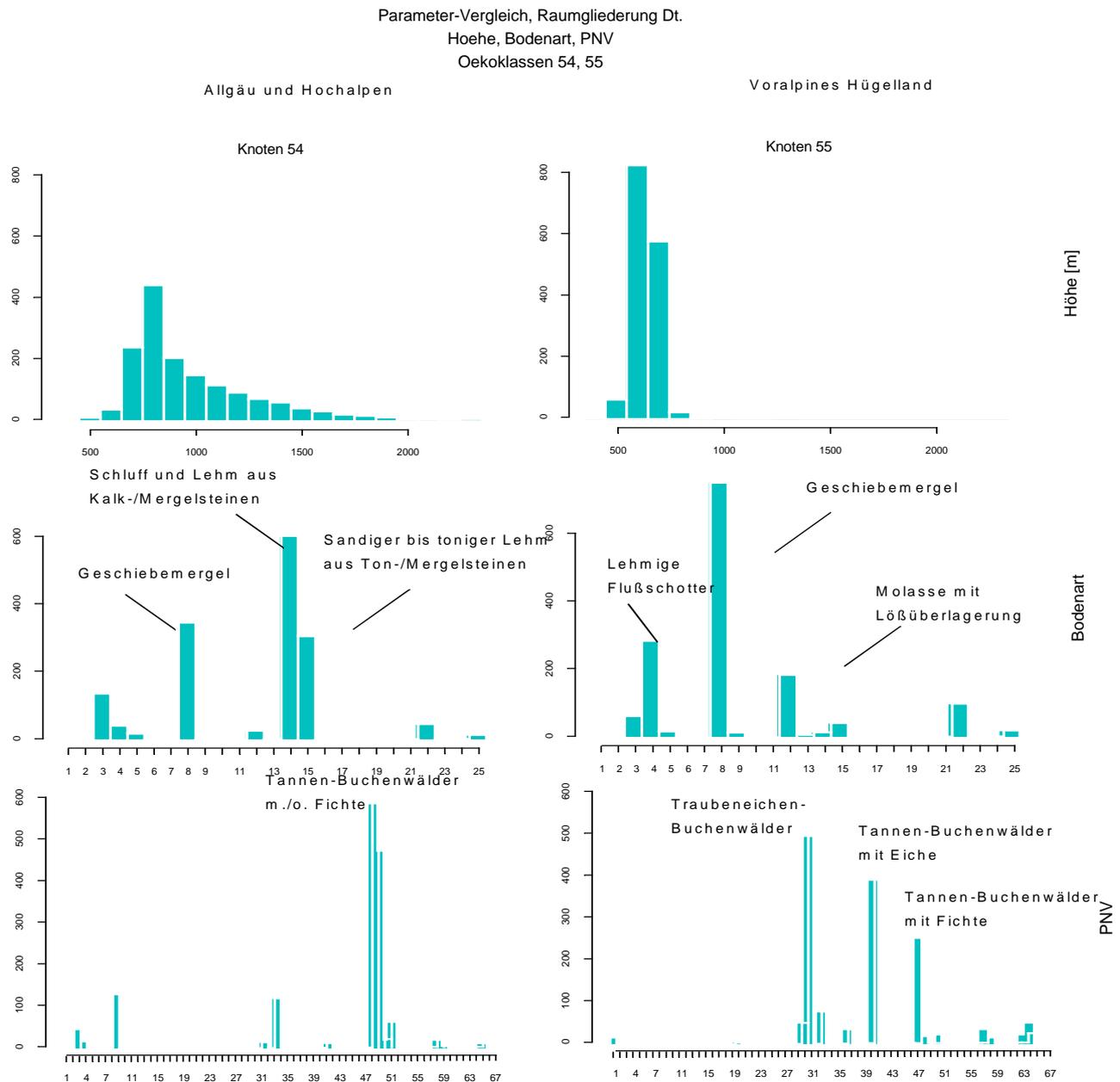


Abb. 5: Ökologische Merkmale der Raumklassen 54 und 55

## 7. Ergebnisse und Diskussion

Mit den beschriebenen Verfahren und Methoden werden auf einer nachvollziehbaren Grundlage die Metadaten der Umweltbeobachtungsprogramme für eine integrierende und Medien übergreifende Auswertung aufbereitet und zur Verfügung gestellt. Erst der detaillierte Überblick zu den Messnetz- und Beobachtungsprogrammen auf Bundes- und Länderebene erlaubt in einem weiteren Schritt die Zusammenführung dieser Programme auf der Basis einer räumlicher Bezugseinheit. Die Messnetzdichte kann für jede der ökologi-

schen Raumklassen berechnet werden. Hierauf aufbauend lässt sich die raumstrukturelle Landschaftsrepräsentanz prüfen: Zum einen kann man berechnen, ob sich die Messstellen proportional zur Fläche der ökologischen Raumklassen verteilen. Zum anderen ermöglicht ein nachbarschaftsanalytisches Verfahren die großräumige Messstellenumgebung in die Repräsentanzbetrachtung einzubeziehen. Verknüpft man die Raumgliederung mit - nach Möglichkeit flächenhaft verallgemeinerten - Messdaten der Umweltbeobachtung, so lassen sich die Messdaten anhand der in den Raumklassen zusammengefassten ökologischen Merk-

male interpretieren. Schließlich lassen sich durch die Verknüpfung von Metadaten und Messnetzgeometrien Aussagen zu räumlichen, zeitlichen und inhaltlichen Merkmalen der Messnetze gewinnen (Aufzeigen von räumlichen Redundanzen oder Lücken, möglicher Bedarf an Harmonisierung).

Mit dem Verfahren und der hier beschriebenen Raumgliederung wird die auf Expertenwissen gestützte naturräumliche Gliederung nach Meynen und Schmidhüsen von 1962 validiert.

Neben der Messdatenanalyse und den Metadaten ist die Raumgliederung ein Modul eines Umweltbeobachtungssystems für Deutschland. Da die Zielvariable „Potenziell natürlichen Vegetation“ das ökologische Standortpotential eines Raumes beschreibt, welches unter den gegenwärtigen klimatischen, orografischen und pedologischen Randbedingungen unter Ausschluss menschlicher Einflüsse zu erwarten wäre, kennzeichnet die Raumgliederung einen Referenzzustand, der im Umweltschutz unter Vorsorgegesichtspunkten wichtig ist. Dies könnte für das Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen interessant sein.

### 8. Ausblick

Die Ergebnisse verschiedener Projekte des Umweltbundesamtes zur Umweltbeobachtung zeigen, dass weitere Aktivitäten hinsichtlich der Optimierung der Metadatenbereitstellung zu Umweltbeobachtungsprogrammen unerlässlich sind. Hierbei wird eine Chance in den derzeitigen strategischen Überlegungen zur Zusammenführung des Umweltdatenkatalogs des Bundes und der Länder sowie des Instruments German Environmental Information Network (GEIN) gesehen. Die zunehmende integrative Betrachtungsweise in fachlichen gesetzlichen Regelungen (z.B. Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie, Bundes-Bodenschutzgesetz) sowie dem novellierten Umweltinformationsgesetz erfordern auch in technischer Hinsicht neue Wege. Dies bedeutet eine stärkere Vernetzung mit den Aktivitäten zu GEIN/UDK, wo die Schnittstelle zur Umweltbeobachtung durch die „Verlinkung“ mit dem GIS Umweltbeobachtung vorstellbar wäre. Die fachlichen Anforderungen an Metadaten können aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeiten spezifiziert, Anwendungsgebiete an Beispielen einer integrierten und Medien übergreifenden Auswertung belegt werden.

Die beschriebene Methodik der Raumgliederung kann unter der Voraussetzung der Verfügbarkeit von digitalen Geofachdaten auf die Zielvariable Wassereinzugsgebiete angewendet werden. Damit würde eine räumliche Bezugsbasis geschaffen werden, die für die

Erfassung von Stoffflüssen (Stoffeintrags- und Stoffaustragspfade) innerhalb von Ökosystemen und über deren Grenzen essenziell sind. Für den Harmonisierungsprozess auf europäischer Ebene wäre die Nutzung der Methodik zur Raumgliederung und deren Anwendung für fachspezifische Aufgaben (z.B. EU-Wasserrahmenrichtlinie) denkbar.

Hinsichtlich der Sicherung von Qualitätsstandards in der Umweltbeobachtung sind zukünftig verstärkt Konventionen bei der integrativen Aus- und Bewertung sowie bei der Präsentation von Umweltdaten zu treffen. Verschiedene Gremien und Bund-Länder-Arbeitsgruppen bemühen sich seit längerem eine Reihe von Richtlinien zur Vereinheitlichung von Beobachtungsprogrammen aufzustellen. Es bleibt jedoch festzustellen, dass die wissenschaftlich methodischen Aspekte der Qualitätssicherung in der Umweltbeobachtung – insbesondere auch im Hinblick auf die Archivierung von langen Zeitreihen - noch nicht den Stellenwert erreicht haben. Eine entsprechende Plattform dazu fehlt. Hier wäre ein entsprechendes Bund-Länder-Gremien eine durchaus wichtige Säule, die sich auch mit strategischen Fragen der Umweltbeobachtung befasst.

---

### Referenzen:

- <sup>[0]</sup> BMU (2003): Entwurf für die Neufassung des Umweltinformationsgesetzes, Juli 2003
- <sup>[1]</sup> BMU (2000): Umweltpolitisches Konzeptpapier des BMU „Umweltbeobachtung – Stand und Entwicklungsmöglichkeiten“, Vorlage an die 25. ACK/54. UMK im März/April 2000
- <sup>[2]</sup> SRU (2000): Umweltgutachten 2000 Schritte ins nächste Jahrtausend. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Stuttgart: Metzler-Poeschel, 2000, 688 Seiten
- <sup>[3]</sup> 27. Amtschefkonferenz (2003) : TOP (Ökologische) Umweltbeobachtung
- <sup>[4]</sup> BMU (1996): Konzept für ein Umweltbeobachtungsprogramm, unveröffentlicht
- <sup>[5]</sup> Schönthaler et al, (1997): Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung, Wissenschaftlicher-fachlicher Ansatz, FKZ 108 99 999/03, UBA-Texte 32/97

- <sup>[6]</sup> Schönthaler et al, (2001): Modellhafte Umsetzung und Konkretisierung der Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung am Beispiel des länderübergreifenden Biosphärenreservats Rhön. FKZ 109 02 076/01
- <sup>[7]</sup> Ständige Arbeitsgruppe der Biosphärenreservate Deutschlands (AGBR), (1995): Leitlinien zum Schutz, Pflege und Entwicklung der Biosphärenreservate in Deutschland, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- <sup>[8]</sup> AKNU, (1999): Fachkonzept für eine „Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung“, unveröffentlicht, Arbeitskreis „Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung“.
- <sup>[9]</sup> Züghardt, W., Breckling, B., (2002): Konzeptionelle Entwicklungen eines Langzeitmonitoring von Umweltauswirkungen transgener Kulturpflanzen, F+E-Vorhaben des UBA, FKZ 299 89 406.
- <sup>[10]</sup> SRU (2002): Für eine neue Vorreiterrolle, Tz 361, Juli 2002. Stuttgart: Metzler-Poeschel, 2002. 550 S., Gb., 39 Euro, ISBN 3-8246-0666-6, Best.-Nr. 7 800 208-02 902.(Bundestags-Drucksache 14/8792)
- <sup>[11]</sup> von Klitzing, F. (1996, 2000): Umweltbeobachtung des Bundes, Integration der Beobachtungsprogramme anderer Ressorts, UBA-Texte 73/98, 65/02
- <sup>[12]</sup> van Nouhuys, J. et al (1999): Entwicklung eines Modells zur Zusammenführung vorhandener Daten des Bundes und der Länder zu einem Umweltbeobachtungssystem. - Berlin (UFOPLAN 1997, FKZ 297 81126/01) (unveröffentlicht)
- <sup>[13]</sup> Schröder, W. et al. (2001): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogramms im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. - Berlin (UFOPLAN 2000, FKZ 299 82 212/01 und 02)
- <sup>[14]</sup> Knetsch, G. (2000): Raumbezug in der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder, UWSF 12 (4) S. 235.

# Bausteine zum bundesweiten naturschutzbezogenen Monitoring

Rainer Dröschmeister, Bundesamt für Naturschutz

## Zusammenfassung

Monitoringprogramme sollen aktuelle Daten über die Veränderungen von Natur und Landschaft zielgerichtet zur Verfügung stellen. Zu diesem Zweck werden derzeit im BfN das Monitoring von Vogelarten, das FFH-Monitoring und das GVO-Monitoring bearbeitet. Informationen über Ziel und Inhalt der Entwicklungen werden in diesem Beitrag gegeben. Der Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt baut auf den Ergebnissen der Monitoringprogramme auf und stellt eine Datenaufbereitung für die Bundespolitik dar. Der Stand der Monitoringarbeiten auf Bundesebene wird bewertet: eine Weiterentwicklung der derzeitigen Arbeiten zu einem Biodiversitätsmonitoring ist naturschutzfachlich sinnvoll und erforderlich.

## 1. Einleitung

Monitoring schafft für Naturschutz wichtige Entscheidungsgrundlagen: es stellt aktuelle Daten über Zustand und Entwicklung von Natur und Landschaft zielgerichtet und handlungsorientiert zur Verfügung (vgl. BÜRGER & DRÖSCHMEISTER 2001). Damit können der Erfolg des Einsatzes von Naturschutzinstrumenten bewertet und Handlungsnotwendigkeiten für die Zukunft bestimmt werden. Auf Bundesebene sind Informationen aus Monitoringprogrammen insbesondere für politische Entscheidungen erforderlich. Der Bedarf an Ergebnissen aus Monitoringprogrammen ist je nach organisatorischer Ebene der Naturschutzverwaltung unterschiedlich; mit Ergebnissen des Monitorings sollen die Auswirkungen von politischen oder praktischen Maßnahmen auf Natur und Landschaft überwacht werden können:

- Wirkungen der Naturschutzpolitik; Wirksamkeit von Artenhilfsprogrammen
- Wirkungen anderer Politikfelder auf die Natur
- Wirksamkeit raumrelevanter Naturschutzmaßnahmen
- Wirksamkeit der Naturschutzmaßnahmen in der ausschließlichen Wirtschaftszone (§ 38 BNatSchG)

- Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen
- Erfüllung internationaler Berichtspflichten (z. B. FFH-Richtlinie, Ramsar-Konvention)

Darüber hinaus liefert Monitoring die Datengrundlage oder Beiträge zu folgenden Aufgaben:

- Darstellung von Indikatorensystemen (landesweit, bundesweit, international)
- Aktualisierung von Roten Listen

## 2. Arbeitsschwerpunkte Monitoring im BfN

Derzeit werden im BfN schwerpunktmäßig drei Monitoringprojekte bearbeitet, die nachfolgend näher beschrieben werden:

- Monitoring von Vogelarten in Deutschland
- Monitoring nach der FFH-Richtlinie
- Monitoring von Auswirkungen gentechnisch veränderter Organismen

### 2.1 Monitoring von Vogelarten in Deutschland

Ziel eines im Jahr 2003 beginnenden Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist der Aufbau eines bundesweiten Vogelmonitoringprogramms für Naturschutz unter Einbeziehung von Ehrenamtlichen. Hierbei wird einerseits auf die Konzeption zum naturschutzbezogenen Tierartenmonitoring sowie den dort vorgeschlagenen modularen Aufbau von Monitoringprogrammen zurückgegriffen (STICKROTH et al. 2003, DRÖSCHMEISTER 2003; vgl. Tab. 1) und andererseits auf bestehenden ehrenamtlichen und behördlich organisierten Programmen aufgebaut (vgl. LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT 2003, FLADE et al. 2003, WAHL et al. 2003, MÄDLow & BOSCHERT 2003). Hauptziele des F+E-Vorhabens sind der Aufbau einer effektiven logistisch-organisatorischen Struktur für das bundesweite Vogelmonitoring und die Durchführung und Auswertung einer methodisch optimierten bundesweiten Probeerhebung.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Mit dem F+E-Vorhaben ist der Wunsch verbunden, bereits laufende Programme stärker auf naturschutzfachliche Fragen zu konzentrieren. In dem Vorhaben sollen technische und organisatorische Verfahren eingesetzt und überprüft werden, die den Datenaustausch und die Zusammenarbeit zwischen den DatenerheberInnen, ornithologischen Verbänden, Landesfachbehörden und dem Bund verbessern können. Dabei wird auch der Einsatz des Internets eine wichtige Rolle spielen. Neben den methodischen und organisatorischen Zielen soll die Datenlage für den Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt (s. unten) mit den Erhebungsergebnissen aus dem Probelauf verbessert und es sollen Informationen für andere Darstellungsbereiche (Politikberatung, Berichtspflichten) ermittelt werden.

Erfassung und Bewertung von Lebensräumen und Arten sowie die Überwachung“ (vgl. Tab. 2). Arbeitskreise bestehend aus VertreterInnen von Landesfachbehörden und dem BfN erarbeiten Empfehlungen zur Erfassung und Bewertung des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen und Arten. Die Arbeitskreise wählen geeignete Methoden zur Erfassung der Lebensraumtypen und der Arten aus, bestimmen die jeweils spezifischen aussagekräftigen Parameter und geben Hinweise für Schwellenwerte für die Bewertung. Das BfN unterstützt die Entwicklung von Methoden zur Arterfassung durch Werkverträge an ExpertInnen und bearbeitet derzeit ein Handbuch mit Methodensteckbriefen für die Arten der Anhänge IV und V der FFH-Richtlinie, welches die bereits publizierten „Empfehlungen zur Erfassung der Arten des Anhangs II“ (FARTMANN et al. 2001) ergänzen soll.

Indikatorisches Monitoring	Artenbezogenes Monitoring
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Zustand der Normallandschaft</i></li> <li>• <i>Schutzgebietsmonitoring</i></li> <li>• Feuchtgebietsmonitoring (Feucht- und Nasslebensräume)</li> <li>• Monitoring mariner Bereich</li> <li>• Monitoring Alpen</li> <li>• Problemfelder des Naturschutzes (Einflüsse einzelner Nutzungsarten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Wandernde Arten</i></li> <li>• <i>Geschützte Arten</i></li> <li>• Gefährdete Arten</li> </ul>
Beitrag zu den Naturschutzaufgaben <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biotopschutz</li> <li>• Schutz von Landschaften</li> <li>• Schutz der Naturgüter</li> </ul>	Beitrag zur Naturschutzaufgabe <ul style="list-style-type: none"> <li>• Artenschutz</li> </ul>

Tab. 1: Modularer Aufbau des bundesweiten Vogelmonitorings und die damit unterstützten Naturschutzaufgaben (nach STICKROTH et al. 2003, verändert); im Modul Wandernde Arten wird zwischen i) Zugvögeln (Bonner Konvention Anhang I und II, Arten die nicht in Regionalabkommen behandelt werden) und ii) Wat- und Wasservögeln (Ramsar-Konvention, Afrikanisch-Eurasisches Wasservogelabkommen AEWA, Wetlands International) differenziert; kursiv dargestellt sind die Module, die im laufenden F+E-Vorhaben „Monitoring von Vogelarten in Deutschland“ probeweise eingerichtet werden sollen

### 2.2 Monitoring nach der FFH-Richtlinie

Nach der FFH-Richtlinie ist ein Monitoring (Art. 11 der Richtlinie 92/43/EWG) vorgesehen, mit dem der Erhaltungszustand der Lebensraumtypen und Arten von gemeinschaftlichem Interesse zu ermitteln und zu bewerten ist. Die wichtigsten Ergebnisse des Monitorings sollen regelmäßig alle sechs Jahre im Rahmen der Berichte nach Art. 17 der FFH-Richtlinie an die EU gemeldet werden. Als Grundlage für die konzeptionellen Arbeiten zum Monitoring dienen die von der LANA -Vollversammlung am 20./21.09.2001 in Pinneberg beschlossenen „Mindestanforderungen für die

In den Arbeitskreisen zu den Lebensraumtypen sind Vorschläge für die Grünland-Biotoptypen bereits erarbeitet und publiziert worden (DOERPINGHAUS et al. 2003). Alle in den Arbeitskreisen abgestimmten Parameterlisten und Bewertungsschemata sollen sobald sie vorliegen auf der Homepage des BfN veröffentlicht werden (<http://www.bfn.de>).

Bewertung von Einzelbeständen
Vollständigkeit der lebensraumtypischen Habitatstrukturen Kleinstrukturen Vegetationstypen
Vollständigkeit des lebensraumtypischen Arteninventars
Beeinträchtigungen
Überregionale bzw. bundesweite Bewertung
Fläche (je Bezugsraum)
Verbreitungsgebiet

Tab. 2: Übergreifende Aspekte zur Bewertung des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen nach der FFH-Richtlinie; nach LANA-Beschluss (s. o.) werden die jeweiligen Ausprägungen zur Bewertung von Einzelbeständen mit den Kategorien A, B und C bewertet

### 2.3 GVO-Monitoring

Durch die Aufgabenverlagerung des Bereichs Gentechnik entwickelt das Bundesamt für Naturschutz verstärkt seit September 2003 Methoden und Konzepte für ein Monitoring der Auswirkungen gentechnisch veränderter Organismen (GVO) und deren Verwendung. Dazu gehört auch die Analyse und Bearbeitung von ökologischen Grundsatzfragen im Zusammenhang mit der Ausbringung von gentechnisch veränderten Organismen in Natur und Landschaft.

Die gesetzliche Grundlage für das Monitoring von GVO bildet die EU-Freisetzungsrichtlinie (2001/18/EG), welche derzeit in nationales Recht übernommen wird (Novellierung des Gentechnik-Gesetzes einschließlich Durchführungsverordnung für das GVO-Monitoring).

Es ist absehbar, dass zukünftig die großflächige Ausbringung gentechnisch veränderter Organismen Beeinträchtigungen für Natur und Landschaft bringen wird, die heute weder in ihren Wirkungsweisen noch in ihrem Ausmaß genau abgeschätzt werden können. Das Ende des seit 1998 beachteten Moratoriums für Anträge zum Inverkehrbringen lässt einen baldigen Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen als Teil der gängigen fachlichen Praxis in der Landwirtschaft erwarten. Dabei werden direkte (z. B. toxische Wirkung) und indirekte Wirkungen (z. B. Veränderung von Biozönosen) der gentechnisch veränderten Organismen auf die Biologische Vielfalt unterschieden. Die Komplexität der Auswirkungen von gentechnisch veränderten Organismen und deren Verwendung wird dadurch gesteigert, dass negative Auswirkungen sofort oder erst nach längerer Zeit auftreten, kumulative Wir-

kungen entstehen und kurzfristige wie langfristige Effekte auftreten können.

Derzeit lässt das BfN in F+E-Vorhaben Konzepte und Methoden für das Monitoring der Auswirkungen von GVO und deren Verwendung sowie für darüber hinausgehende Fragen des Anbaus von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) entwickeln:

- Biotische Wirkungsakkumulatoren und Erhebungsmethoden für das GVO-Monitoring (Phase I)
- Entwicklung von Pollenakkumulatoren und Überprüfung ihrer Raumrepräsentativität
- Nachweismöglichkeiten der Verbreitung von Transgensequenzen über Auskreuzung und Bodeneintrag
- Nachweis- und Erfassungsmethoden für Auswirkungen des Anbaus von GVP auf die einheimische Flora und auf Pflanzengesellschaften
- Methoden zur Feststellung von Wirkungen von Ernterückständen transgener Pflanzen
- Kriterien für das Monitoring transgener Kartoffelpflanzen
- Vorschläge für Abstandsregelungen beim Anbau von GVP in der Nähe von Schutzgebieten

Im Rahmen des Aufbaus eines GVO-Monitorings bezüglich Wirkungen auf Natur und Umwelt ist eine derzeit wichtige Aufgabe die Erstellung eines Monitoringkonzeptes für die Beobachtung und Bewertung der Auswirkungen auf die Biologische Vielfalt. Die Konzeptentwicklung muss dabei von erwarteten und „unerwarteten“ Auswirkungen der GVOs und ihrer Verwendung ausgehen; die Analyse dieser Auswirkungen wird aus der Kenntnis spezifischer umwelt- und naturschädigender Eigenschaften sowie aus nicht auszuschließenden negativen Effekten auf Natur und Umwelt abgeleitet. Grundlagen bilden vorwiegend aus Länder-Bund-Gremien hervorgegangenen Grundsatzpapiere zum GVO-Monitoring (BLAG 2003) sowie Arbeiten aus dem Umweltbundesamt, insbesondere die konzeptionelle Entwicklung eines Langzeitmonitorings von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen (ZÜGHART & BRECKLING 2003). Die Umsetzung des Monitorings soll laut EU-Freisetzungsrichtlinie begleitend zum Anbau von GVO durchgeführt werden, was einen enormen Zeitdruck für die Operationalisierung von Methoden und Konzepten bedeutet.

### 3. „Anwendungsfall“ Nachhaltigkeitsindikator

Die oben beschriebenen und angestrebten Monitoringergebnisse werden für verschiedene Anwendungszwecke benötigt. In diesem Abschnitt wird ein wichtiger – aber nicht der einzige – „Anwendungsfall“ für Monitoringdaten dargestellt.

Die im Frühjahr 2002 vorgestellte Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung enthält 21 Schlüsselindikatoren zur Beschreibung der Nachhaltigkeit in Deutschland (PRESSE- UND INFORMATIONSAMT DER BUNDESREGIERUNG 2002). Der Zustand von Natur und Landschaft wird dort über „Bestände ausgewählter Tierarten“ repräsentiert. Die Aufnahme eines solchen Indikators stellt grundsätzlich eine politisch bedeutsame Form der Verwendung von Monitoringergebnissen dar: die Bundesregierung greift auf Daten aus naturschutzbezogenen Monitoringprogrammen zurück, um die Nachhaltigkeit der eigenen Politik bewerten zu können.

Da der Indikator im Jahr 2002 noch starke inhaltliche Defizite zur Beschreibung auch nur ausgewählter Teilbereiche der Biodiversität aufwies, wurde eine Überarbeitung des Indikators für die Artenvielfalt in einem F+E-Vorhaben des Bundes durchgeführt (ACHTZIGER et al. 2003). Nach der Weiterentwicklung beschreibt der Indikator nun das Maß der Lebensraumqualität in den Hauptnutzungsbereichen und wird als „Nachhaltigkeitsindikator für die Artenvielfalt“ bezeichnet. Für die im Jahr 2004 anstehende Bilanzierung sollen etwa 55 Arten (v. a. Vögel) in die Darstellung des Indikators einbezogen werden. Darüber hinaus soll eine Differenzierung der Entwicklung der Artenbestände auch für die Hauptnutzungsbereiche „Agrarland“, „Wälder“, „Siedlungen“, „Gewässer“ und „Küsten/Meere“ ermöglicht werden. Der Aussagebereich „Alpen“ kann auf Grund defizitärer Datenlage bisher nicht dargestellt werden.

Zur Verbesserung der Aussagefähigkeit und zur Objektivierung der normierten Bestandsdaten ist eine Verknüpfung der aktuellen Bestandsdaten mit artbezogenen Zielwerten vorgesehen. Dies ist ein übliches und auch in anderen Bereichen der Nachhaltigkeitsstrategie angewandtes Verfahren zur Normierung der Daten und zur Erstellung eines Zielbezuges.

Für zukünftige Bilanzierungen (vorgesehen ist dies alle zwei Jahre) soll die Datengrundlage verbessert und dauerhaft abgesichert werden, da bisher die Bestandsdaten aus bestehenden Erhebungen von Ländern und Verbänden zusammengetragen werden. Die Absicherung der Daten bezüglich Vogelarten soll v. a. durch das geplante F+E-Vorhaben „Vogelmonitoring in Deutschland“ unterstützt und ermöglicht werden.

Darüber hinaus ist eine Erweiterung der Artenauswahl fachlich erforderlich und eine Hinzuziehung weiterer Indikatoren (z. B. Rote-Liste-Indikator) geplant.

### 4. Bausteine zum Monitoring: ein Sammelurium?

Die bisher dargestellten Bausteine zum Monitoring für Naturschutz erwecken zunächst den Eindruck, dass es sich hier nicht um gezielt ausgewählte Teile in einem übergeordneten Konzept, sondern um zufällig zusammengestückelte Details aus der täglichen Arbeit handelt. Ordnet man die vorgestellten Bausteine in die von den Ländern und dem Bund entwickelte Gliederung des naturschutzorientierten Monitorings ein (AKNU 1999), so lässt sich feststellen, dass mit den Bausteinen Teile einerseits des Monitorings der „Normallandschaft“ und andererseits des Monitorings naturschutzfachlich besonders wertvoller Bereiche abgedeckt werden. Es bleiben aber noch einige Themenfelder unbearbeitet, auch wenn die Umsetzung eines GVO-Monitorings möglicherweise Informationen, die für andere naturschutzfachliche Aufgaben benötigt werden, bereitstellen kann.

Es wird deutlich, dass ohne die Umsetzung weiterer Bausteine – insbesondere im arten- und biotopbezogenen Monitoring der Normallandschaft – ein Sammelurium von Einzelprogrammen des Monitorings existieren wird. Als Modell für die Ausfüllung bestehender Defizite kann auf die Ökologische Flächenstichprobe verwiesen werden (HOFFMANN-KROLL et al. 1995, DRÖSCHMEISTER 2001), welche von den Ländern Nordrhein-Westfalen (WEISS 2003, KÖNIG 2003) und Baden-Württemberg durchgeführt oder erprobt wird. Darüber hinaus ist zukünftig die Verknüpfung und Erweiterung der Arbeiten zu einem gesamthaften Biodiversitätsmonitoring geplant, wobei auch naturschutzfachlich wertvolle Arten und Biotoptypen stärker in die Betrachtung genommen werden sollen.

Dank

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes bedanke ich mich bei A. Doeringhaus und W. Züghart.

### 5. Literatur

- ACHTZIGER, R.; STICKROTH, H. & ZIESCHANK, R. (2003): F+E-Projekt „Nachhaltigkeitsindikator für den Naturschutzbereich“. – Ber. Landesamt für Umweltsch. Sachsen-Anhalt Sonderheft 1/2003: 138-142.
- AKNU (Arbeitskreis "Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung", 1999): Fachkonzeption für

- eine "Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung". - Karlsruhe, 146 S.
- BLAG (Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanze, 2003): Entwurf eines Konzepts für das Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO). 20. September 2002. – UBA-Texte 23/03: 169-209.
  - BÜRGER, K. & DRÖSCHMEISTER, R. (2001): Naturschutzorientierte Umweltbeobachtung in Deutschland: ein Überblick. – Nat. Landschaft 76(2): 49-57.
  - DOERPINGHAUS, A.; VERBÜCHELN, G.; SCHRÖDER, E.; WESTHUS, W.; MAST, R. & NEUKIRCHEN, M. (2003): Empfehlungen zur Bewertung des Erhaltungszustandes der FFH-Lebensraumtypen: Grünland. – Nat. Landschaft 78(8): 337-342.
  - DRÖSCHMEISTER, R. (2001): Bundesweites Naturschutzmonitoring in der "Normallandschaft" mit der Ökologischen Flächenstichprobe. – Nat. Landschaft 76(2): 58-69.
  - DRÖSCHMEISTER, R. (2003): Tierartenmonitoring für Naturschutz in Deutschland - Ergebnisse des F+E-Vorhabens zum Tierartenmonitoring und Vorschläge zur Umsetzung eines bundesweiten Vogelmonitorings. - Ber. Landesamt Umweltsch. Sachsen-Anhalt Sonderheft 1/2003: 133-136
  - FARTMANN, T.; GUNNEMANN, H.; SALM, P. & SCHRÖDER, E. (Hrsg., 2001): Berichtspflichten in Natura-2000-Gebieten. – Empfehlungen zur Erfassung der Arten des Anhangs II und Charakterisierung der Lebensraumtypen des Anhangs I der FFH-Richtlinie. – Angew. Landschaftsökol. 42, 725 S.
  - FLADE, M.; SCHWARZ, J. & FISCHER, S. (2003): Warum zählen wir häufige Vögel? – Falke 50: 270-275.
  - HOFFMANN-KROLL, R.; SCHÄFER, D. & SEIBEL, S. (1995): Indikatorensystem für den Umweltzustand in Deutschland. - Wirtschaft und Statistik N.F. 1995(8): 589-597.
  - KÖNIG, H. (2003): Naturlandschaft der nordrhein-westfälischen Normallandschaft. – LÖBF-Mitt. 2/2003: 15-24.
  - LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ SACHSEN-ANHALT (Hrsg., 2003): Vogelmonitoring in Deutschland. Tagungsband. – Ber. Landesamt Umweltsch. Sachsen-Anhalt Sonderheft 1/2003, 151 S.
  - MÄDLow, W. & BOSCHERT, M. (2003): Wie steht es um seltene Brutvogelarten in Deutschland? – Falke 50: 282-285.
  - PRESSE- UND INFORMATIONSAMT DER BUNDESREGIERUNG (Hrsg., 2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. – Berlin, 235 S.
  - Stickroth, H., Schmitt, G., Achtziger, R., Nigmann, U., Richert, E. & Heilmeier, H. (2003): Konzept für ein naturschutzorientiertes Tierartenmonitoring - am Beispiel der Vogelfauna. – Angew. Landschaftsökol. 50, 398 S.
  - STICKROTH, H., SCHMITT, G., ACHTZIGER, R., NIGMANN, U., RICHERT, E. & HEILMEIER, H. (2003): Konzept für ein naturschutzorientiertes Tierartenmonitoring - am Beispiel der Vogelfauna. – Angew. Landschaftsökol. 50, 398 S.
  - WEISS, J. (2003): Biomonitoring und Erfolgskontrolle. Beiträge der LÖBF zur systematischen Umweltbeobachtung in NRW. – LÖBF-Mitt. 2/2003: 8-14.
  - WAHL, J.; SUDFELDT, C. & FISCHER, S. (2003): Die „Wasservogelzählung stellt sich vor. – Falke 50: 276-280.
  - ZÜGHART, W. & BRECKLING, B. (2003): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen. – UBA-Texte 50/03, 543 S.

## Bilanzierung als Instrument der Umweltbeobachtung

Dr. Andreas Prüß, Werner Borho & Walter Erhardt, Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg

### 1. Einführung

Unter Umweltbeobachtung wird das Messen, Erheben und Erfassen von Zuständen der Umweltmedien, der Wechselwirkungen und der Stoffeinträge in die Umwelt verstanden. Bilanzierung als Instrument der Umweltbeobachtung ist die Gegenüberstellung von Zustandsgrößen der Umwelt.

Bilanzierungen haben in den Naturwissenschaften eine lange Tradition und können auch in der Umweltbeobachtung ein wichtiges Instrument werden. Bilanzierungen können der Klärung folgender Sachverhalte dienen:

- (1) Prüfung der Umweltbeobachtung auf Vollständigkeit: Sind alle maßgeblichen Stoffquellen und Stoffsenken bekannt? Entstehen Lücken oder Überschüsse?
- (2) Gewichtung von Stoffflüssen und Bewertung von sektoralen Zustandsgrößen: In welchen Sphären und Kompartimenten verbleiben die Stoffe in wirkungs- und beobachtungsrelevantem Ausmaß? Was sind maßgebliche Massen und was sind Bagatellmassen? Ist eine Teilfracht, wie beispielsweise der Gasaustausch der Vegetation mit der Atmosphäre, eine umweltrelevante Größe?
- (3) Gesamtcharakterisierung von Stoffflüssen: Welche Stoffflüsse sind weitgehend natürlich, anthropogen, historisch oder aktuell maßgeblich und beobachtungswürdig?
- (4) Evaluierung der Umweltbeobachtung: Ist der Beobachtungsaufwand angemessen? Wo kann er reduziert werden? Was muss neu aufgenommen werden?
- (5) Plausibilisierung von sektoralen Messdaten: Ist eine gemessene Fracht im Hinblick auf die beobachteten Verluste an der Quelle und der beobachteten Anreicherung in der Senke plausibel oder kommt beispielsweise in der Senke mehr an, als die Quelle verlässt?
- (6) Auffüllung von Beobachtungslücken, die messtechnisch kaum zugänglich sind, z. B. Stoffanreicherung im Boden.
- (7) Festlegung der maßgeblichen Beobachtungsintervalle: Welche Stoffflussbilanzen müssen in Stunden-, Jahres- oder Dekadenzeiträumen ermittelt werden?
- (8) Festlegung der maßgeblichen Beobachtungsräume: Welche Stoffflussbilanzen müssen lokal, regional, überregional oder global ermittelt werden?
- (9) Prognose von Umweltveränderungen

Eine Voraussetzung für Bilanzierungen ist heute erfüllt. Es liegen umfassende Datenbestände vor und es kann auf viele bereits erstellte Teilbilanzen zurückgegriffen werden. Die Daten müssen jedoch noch geordnet, abgeglichen, verknüpft und teilweise ergänzt werden.

Bilanzierungsarbeiten sind nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern auch in der Betriebswirtschaft tief verwurzelt. Kein Betrieb funktioniert dauerhaft ohne Bilanzen. In der Landwirtschaft und in der Industrie haben Stoffbilanzen eine lange Tradition aus zunächst ökonomischer und heute auch vermehrt umwelttechnischer Sicht.

Warum finden sich in der beschriebenen Umweltbeobachtung so wenig Bilanzen? Stoffbilanzen sind aufwendig, insbesondere wenn versucht wird, alle Bilanzglieder durch neue Messungen zu füllen. Sektorale Beobachtungen der Luft, des Bodens und des Wassers haben ein besseres Aufwands/Ertrags-Verhältnis. Es besteht jedoch die Hoffnung, dass sich dies aufgrund der langjährigen und vielfältigen Messprogramme und mit Hilfe der neuen Kommunikationstechniken, in Zukunft ändert.

### Erfahrungen der UMEG

Das Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg (UMEG) hat im Jahr 2001 damit begonnen, die ersten Stoffbilanzen für den Boden in Baden-Württemberg vorzubereiten. Ausgangspunkt waren zunächst Messdaten von 4 Intensiv-Bodendauerbeobachtungsflächen, die im Auftrag der LfU von 1992 an errichtet wurden. Der Betrieb und die Neuerrichtung von

Messstellen ging am 01. Januar 2001 als satzungsgemäße Aufgabe an die UMEG über. Die Messstellen liegen heute in gemeinsamer Obhut von UMEG und LfU, wobei die Federführung für die Stoffflussmessungen und die Abschlussbilanzen bei der UMEG und für die Bodenwiederholmessungen bei der LfU liegen. Die Labormessungen werden bei der LfU, der UMEG und bei Dritten durchgeführt.

Das Hauptaugenmerk in der Vorbereitung der Stoffbilanzen lag zunächst nur auf dem Boden, da es primär darum ging, die Anreicherung von Stoffen, bei denen der Boden als Senke vermutet wurde, besser als mit Bodenwiederholmessungen abzuschätzen.

Im Laufe der Vorbereitungen hat sich jedoch folgendes gezeigt:

- Stoffbilanzen können nicht losgelöst für ein Medium allein plausibilisiert und validiert werden,
- alle Teilfrachten zwischen Atmo-, Bio-, Hydro- und Pedosphäre müssen auch mit originären Beobachtungsdaten der sektoralen Beobachtungsprogramme plausibilisiert und abgeprüft werden,
- für Stoffbilanzen des Bodens müssen Frachten geschätzt, ermittelt oder plausibilisiert werden, wo der Boden nicht unmittelbar betroffen ist (z.B. Gasaufnahme der Vegetation, quellnahe Deposition von Emissionen),
- viele sektorale Daten liegen bislang nur als Konzentrationen vor und müssen erst noch in Vorratsgrößen und Frachten umgewandelt werden,
- die Methodenvielfalt muss, um allgemein anerkannte Ergebnisse zu erstellen, reduziert werden,
- die Bilanzierungsdaten müssen mit einer Unzahl von Projekt- und Messnetzdaten abgeglichen werden, um methodenbedingte Sonderergebnisse zu vermeiden,
- die Regionalisierung von Bilanzdaten gelingt nur mit regionalen Datensätzen aus Messnetzen, Projekten, Programmen und Einzelvorhaben,
- Bilanzierungsarbeiten müssen als sektorübergreifendes Gesamtziel anerkannt werden, denn nur so lassen sich die vielen Bilanzglieder ausfüllen. Um dies zu erreichen sind eine Reihe von Begriffsbestimmungen und eine gemeinsame Berichtsplattform notwendig.

Aufgrund dieser Erfahrungen hat die UMEG das Vorhaben generalisiert und in einer Art fortgeschrieben und vorbereitet, dass die Spezialisten aus den betroffenen Sektoren leicht Einblick in die Bilanzierung erhalten und sich an den Arbeiten auch beteiligen können.

Die UMEG wird vorschlagen, an den fünf Standorten in Baden-Württemberg mit Intensiv-Bodendauerbeobachtungsmessstellen (BDF-II) (Stand 2003) durch die Verbindung mit benachbarten Luftmessstellen, Waldmessstellen, Depositionsmessstellen, Grund- und Quellwassermessstellen und ökologischen Dauerbeobachtungsmessstellen auch formal "Intensiv-Messstellen" für die Umweltbeobachtung mit der Möglichkeit zur umfassenden Stoffflussbilanzierung zu schaffen. Synergieeffekte könnten so künftig optimal genutzt werden.

## 2. Bilanzvorbereitungen

### 2.1 Begriffsbestimmungen

Für die Datenaggregierungs- und Bilanzierungsarbeit wurden zunächst eine Reihe von Begriffsbestimmungen vorbereitet:

Unter **Umweltbeobachtung** wird das Messen, Erheben und Erfassen von Zuständen der Atmosphäre, der Biosphäre, der Hydrosphäre, der Pedosphäre, der Wechselwirkungen zwischen den Umweltmedien und der Stoffeinträge in die Umwelt verstanden. Dazu gehört auch das raum- und zeitübergreifende Auswerten, Aggregieren und Bewerten von Umweltdaten. Ein Ziel der Umweltbeobachtung ist die Ermittlung und Fortschreibung von Zustandsgrößen der Umwelt und von Umweltbilanzen. **Zustandsgrößen** der Umwelt sind raum- und zeitbezogene Werte, die den chemischen, physikalischen oder biologischen Zustand der Umweltmedien und der Wechselwirkungen zwischen ihnen beschreiben. Zustandsgrößen sind die Grundlage für die Beurteilung der Nachhaltigkeit der Umweltnutzung. **Frachten** (= Stoffflüsse) sind Massen, die von einem Kompartiment zu einem anderen übergehen. **Bilanzierung** als Instrument der Umweltbeobachtung ist die Gegenüberstellung von Zustandsgrößen. Bilanzierungen können sich auf Medienmassen und Medienqualitäten, Stoffmassen oder Energie beziehen. Die Bilanzierung folgt dem Prinzip vom „Erhalt der Masse und der Energie“. Der räumlich-zeitliche Bezug von Bilanzen kann lokal bis global und einmalig bis Jahrzehnte andauernd sein. Ziele von Bilanzierungen können sein: Prüfung der Vollständigkeit der Umweltbeobachtung, Erkenntnis von Wechselwirkungen zwischen den Medien, Ermittlung von

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Frachten die direkt nicht zu messen sind und Erstellen von Prognosen. **Intensiv-Messstellen** sind Umweltmessstellen, die bestimmte Beobachtungsaufgaben in der Atmosphäre, der Biosphäre, der Hydrosphäre und der Pedosphäre an einem Ort erfüllen. Eine Intensiv-Messstelle ist je nach Haupt- und Nebenzielen technisch unterschiedlich ausgestattet. Intensiv-Messstellen sind technisch und räumlich den medien-spezifischen Messnetzen angepasst. Ein **Objektschlüssel** dient der vereinheitlichten Systematik von Raumeinheiten (**RE**). Zielbestimmungsgrenzen (**Ziel-BG**) dienen der Abstimmung und Vorbereitung für die Bilanzierungsarbeit. Eine Bilanzbestimmungsgrenze (**Bilanz-BG**) ist die Genauigkeit einer Bilanz, die sich aus der Probenahmegenauigkeit, der analytischen Bestimmungsgrenze, dem Beobachtungsintervall und den sonstigen Modellannahmen ergibt.

### 2.2 Einrichtung eines Onlinejournals

Für die Bilanzierungs-Routineberichterstattung hat die UMEG im Jahr 2002 damit begonnen, sektorale Einzelberichte in Form einer elektronischen Loseblattsammlung zu erstellen. Diese Loseblattsammlung wird seit Februar 2003 gemeinsam mit dem wissenschaftsnahen „Verein zur Vorbereitung der Europäischen Gesellschaft für Umweltbeobachtung“ (EU-EMS is n e.V., Ettlingen) unter dem Namen „Onlinejournal Umweltbeobachtung“ (ISSN 1611-1451) herausgegeben.

Durch diese Kooperation („Private-Public-Partnership“) sollen die Beiträge der UMEG auf eine breitere, offene Plattform gestellt und ein Beitrag für die Umsetzung der vom Sachverständigenrat für Umweltfragen in seinem Sondergutachten 2002 festgehaltenen Forderung geleistet werden: „... um die Harmonisierung der heterogenen Datenerhebungen von Bund, Länder und Institutionen, um die verbesserte und erweiterte Datenauswertung und um die Zusammenführung und Nutzbarmachung von Daten für die Umweltberichterstattung ...“ zu gewährleisten (vgl.: Rosenkranz & Knetsch 2003, in diesem Band).

Durch die Kooperation sollen auch andere „Datenbesitzer“ angeregt werden ihre Daten dort selbst einzustellen, um eine möglichst authentische, bilanztechnisch geeignete Darstellung in hoher fachlicher Qualität zu erhalten. Der Aspekt der Öffentlichkeitsarbeit tritt dabei in den Hintergrund. Die Veröffentlichung steht wie eine wissenschaftliche Fachzeitschrift der Fachöffentlichkeit offen.

Im Onlinejournal werden die Zustandsgrößen, die unter anderem für Bilanzierungen genutzt werden, nach dem Umweltthema, dem Messstellenbezug, dem

Gebietsbezug, Projektbezug und dem Jahresbezug geordnet dargestellt ([www.umweltbeobachtung.de/journal/](http://www.umweltbeobachtung.de/journal/)). Unter der Adresse [www.umweltbilanz.de](http://www.umweltbilanz.de) sollen sukzessive die Bilanzierungsergebnisse eingestellt werden.

### 2.3 Betrieb von Intensiv-Messstellen

Die Kerndaten für Stofffluss-Bilanzierungen entstehen aus dem Betrieb von Intensiv-Messstellen (z.B. 5 in Baden-Württemberg). An den Intensiv-Messstellen werden unter anderem die folgenden Frachten unmittelbar gemessen bzw. modelliert: Atmosphärische Depositionen, Streufallfrachten, Boden-Pflanzen-transferfrachten, Sickerwasserfrachten, Düngemittel-frachten. Vorbereitend bzw. ergänzend werden folgende Daten erhoben: Klima- und Luftbeschaffenheit, biologische Inventuren, Ertragsmessungen, Niederschlags-, Sicker-, Quell- und Grundwasserbeschaffenheit, Wasserhaushalt, Bodeninventuren. Jede Messstelle hat dabei einen Beobachtungsschwerpunkt.

In den Abbildungen 1 bis 5 sind exemplarisch Messstellen abgebildet. Detaillierte Beschreibungen sind im Onlinejournal unter [www.umweltbeobachtung.de/journal/#U31](http://www.umweltbeobachtung.de/journal/#U31) in Vorbereitung.



Abb. 1: Intensiv-Messstelle Kehl (MDBW1104), Beobachtungsschwerpunkt: Stoffbilanz in einem grenznahen Siedlungsgebiet (Kooperation mit LfU & UBA, eingebunden in internationale Beobachtungsprogramme zum atmosphärischen Ferntransport)



Abb. 2: Intensiv-Messstelle Marktredwitz (MDBY1101), Beobachtungsschwerpunkt: Stoffbilanz in der Aue (Betreiber: GLA Bayern)



Abb. 4: Intensiv-Messstelle Trochtelfingen (MDBW1105), Beobachtungsschwerpunkt: Stoffbilanz Landwirtschaft (Kooperation mit LfU)



Abb. 3: Intensiv-Messstelle Bruchsal (MDBW1101), Beobachtungsschwerpunkt: Stoffbilanz Verkehr & Forstwirtschaft (Kooperation mit LfU)



Abb. 5: Intensiv-Messstelle Wilhelmsfeld (MDBW1102), Beobachtungsschwerpunkt: Stoffbilanz Forstwirtschaft (Kooperation mit LfU & FVA)

### 2.4 Datenerhebung

Neben den Daten von Intensiv-Messstellen werden Zustandsgrößen von Katastern, Messnetzen, Kartierungen, Dauerbeobachtungen, F&E-Projekten und sonstigen Erhebungsprogrammen erfasst, aggregiert und im Onlinejournal eingestellt.

### 2.5 Regionale Umweltbilanzen

Die Stoffbilanzierungen sollen parallel für Intensiv-Messstellen und für ausgewählte Regionen entwickelt werden. Das erste regionale Vorhaben ist eine Stickstoffbilanz Baden-Württemberg. Nur durch die Kombination von punktuellen und flächenbezogenen Bilanzen kann eine Gesamtbilanz erreicht werden. Aus

# Medienübergreifende Umweltbeobachtung

der regionalen Perspektive lassen sich beispielsweise Einzelfrachten besser beurteilen (Sind z.B. Stickstoffausträge aus Waldflächen Bagatellfrachten?). Die UMEG hat für die regionalen Bilanzen eine Kooperation mit interessierten Einrichtungen und eine mehrjährige Bearbeitungszeit mit der Veröffentlichung von Zwischenergebnissen eingeplant.

## 3. Bilanzbeispiele

### 3.1 Bilanzen von Medienmassen

Bilanzen von Medienmassen quantifizieren die Medien selbst und nicht deren Inhaltsstoffe und sind für die Hydro-, Pedo- und Biosphäre relativ leicht zugänglich. Die allgemein bekannten **Wasserhaushaltsbilanzen** sind für Fragen der Grundwasserneubildung, der Hochwasservorhersage und für Stoffflussbilanzen gleichermaßen notwendig (vgl. Beispiel in Tabelle 1 und Abbildung 6). Dabei wird die in Teilen noch unbekannte Wasserspeicher- und Vorratsfunktionen der ungesättigten Zone eine wichtige Bedeutung beigegeben.

Sphärenübergang	Pfadbezeichnung	Wasserfluss
Atmosphäre -> Biosphäre	Freilandniederschlag (FN)	863 l/m <sup>2</sup>
Biosphäre -> Atmosphäre	Transpiration (T)	453 l/m <sup>2</sup>
	Evaporation (E)	73 l/m <sup>2</sup>
Biosphäre -> Pedosphäre	Bestandsniederschlag (BN)	736 l/m <sup>2</sup>
	Sickerung (S) in 1,1 m Tiefe	243 l/m <sup>2</sup>
Pedosphäre -> Hydrosphäre	Grundwasserneubildung	400 mm

Tab. 1: Beispielhafte Wasserflussdaten aus dem Jahr 2002 an der Intensiv-Messstelle Bruchsal (nördlicher Oberrhein) für die Ermittlung von Stoffflussbilanzen (vgl. Abbildung 6)

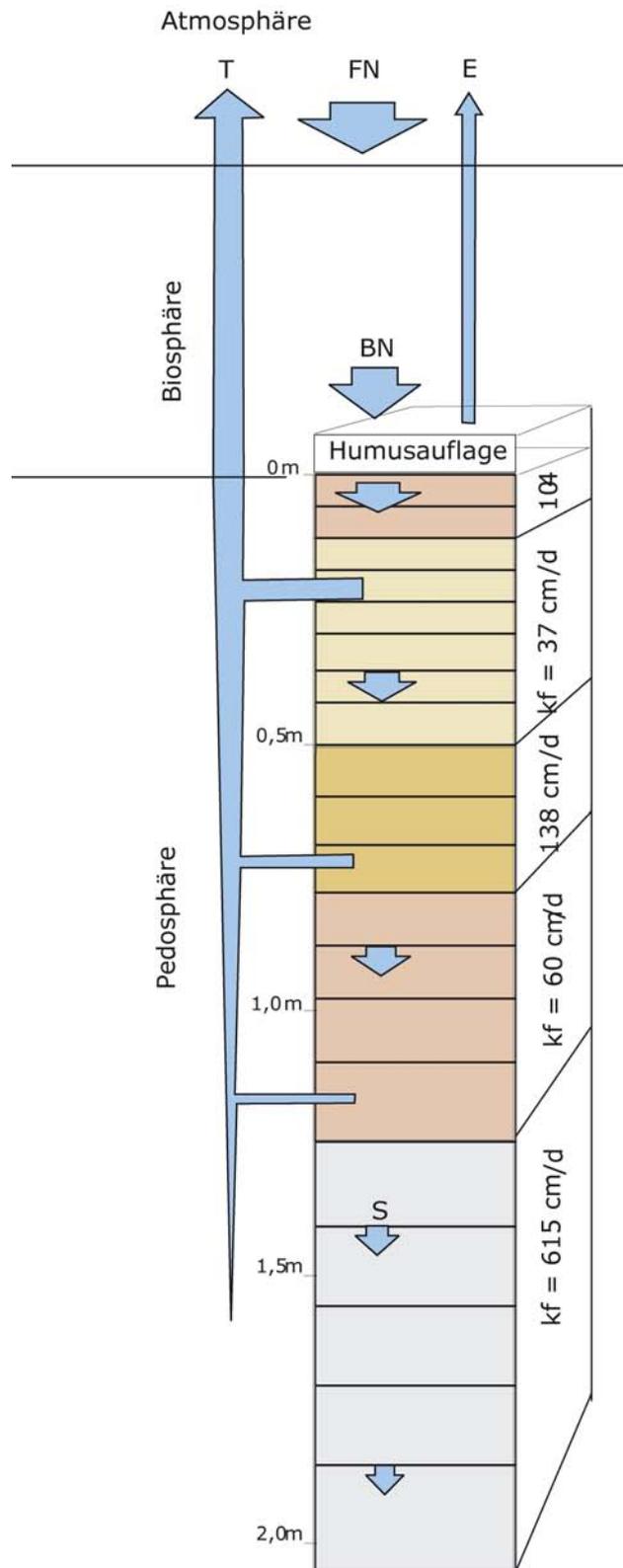


Abb. 6: Schaubild einer Wasserhaushaltsbilanz (Vorräte nicht dargestellt)

**Bodenhaushaltsbilanzen** entstehen derzeit in ersten Etappen, z.B. über die Erfassung der Bodenversiegelung. Bodenhaushaltsbilanzen müssen auch die Bodenverdichtung und die Bodenerosion einbeziehen. Ein eindrucksvolles Massenversatzbeispiel liefert die Bodenerosion in der DR Kongo (Abbildung 7). Medienmassenbilanzen haben auch für die Biosphäre in der Land- und Forstwirtschaft eine lange Tradition (Ertrags- /Zuwachsmessung) sowie im weiteren Sinne bei Arteninventuren.



Abb. 7: Bodenerosion nach ca. 20 Jahren in Kinshasa (DR Kongo)

### 3.2 Bilanzen von Stoffflüssen

Stoffbilanzen werden beispielsweise für Industriebetriebe und landwirtschaftliche Betriebe erstellt (z.B. Hoftorbilanzen). In Forschungsprojekten wurden auch erste Gebietsbilanzen erstellt (z.B. Nährstoffbilanzen in Agrarlandschaften, Nährstoff- und Säurebilanzen in Forstlandschaften; Stoffbilanzen für Fließgewässer).

Im folgenden werden auszugsweise aktuelle Bilanzbeispieldaten für Kohlenstoff, Cadmium, Kupfer, Blei und PAK aus der laufenden Bilanzierungsarbeit der UMEG dargestellt. Es handelt sich um vorläufige Bilanzdaten der Intensiv-Messstelle Bruchsal, Gemarkung Forst (Tabelle 3.2-1). Die erste Gesamtbilanz der Jahre 1992 bis 2002 für ca. 30 anorganische und organische Stoffe einschließlich der jeweiligen Methoden und Datenquellen (Journalverweise) und einer Reihe von Erläuterungen wird unter der Adresse [www.umweltbeobachtung.de/journal/U914-MDBW1101-J0292-de.pdf](http://www.umweltbeobachtung.de/journal/U914-MDBW1101-J0292-de.pdf) veröffentlicht. Darüber hinaus ist in Abstimmung mit der LfU ein zusammenfassender Gesamtbericht unter Einbezug ausgewählter sektoraler Messdaten geplant.

Die Intensiv-Messstelle Bruchsal liegt an der Autobahn A5 und gliedert sich in 2 Bilanzräume:

Bilanzraum 1 Autobahnrandstreifen 0-10 m: stark verkehrsbeeinflusster Grünstreifen 0-10 m neben der Autobahn A5 (100.000 Kfz/Tag). Der Bilanzraum beschränkt sich derzeit auf den Oberboden 0-30 cm. Die Grasdecke wird gemulcht und ist daher bilanztechnisch nicht bedeutend. Stoffflussmessungen (Deposition, Sickerwasseraustrag etc.) und Unterbodenmessungen liegen hier noch nicht vor. Für ausgewählte Stoffe wird der Grünstreifen 0-3 m mit sehr starkem Verkehrseinfluss gesondert betrachtet.

Bilanzraum 2 Autobahnrandstreifen Wald 15-20 m: wenig bis nicht verkehrsbeeinflusster, forstwirtschaftlich genutzter Bereich 15-20 m neben der Autobahn A5. Der Bilanzraum 2 schließt die Bio- und Pedosphäre bis 1,1 m Tiefe ein (Kiefern/Buchenwald). Eine Baumernte fand in den vergangenen 10 Jahren noch nicht statt.

Vorläufig ist die Bilanz im Hinblick auf folgende Bilanzglieder: Stoffverlagerung in Richtung Grundwasser im Bilanzraum 1 (fehlt), Stoffeintragsdaten (z.B. Streusalz- und Bremsabriebzusammensetzung), Schwermetall-Depositionen (die Einträge werden sammeltechnisch bedingt vermutlich noch unterschätzt), Wurzelaufnahme (z.B. bei Kupfer), gasförmige Stoffeinträge (z.B. PAK), Staubeinträge (mögliche Bodenbildung wirkt der Schwermetallanreicherung entgegen), Stoffvorräte in der Vegetation, Filterleistung der Vegetation in Waldrandlage (Ullrichmodell ist wegen Streusalzeinfluss unsicher).

Neben den eigentlichen Messstellendaten sind Daten des Emissionskatasters, des Depositions- und Luftmessnetzes, des Grundwassermessnetzes und der ökologischen Dauerbeobachtung aus Baden-Württemberg eingeflossen (siehe Originalquelle).

# Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Sphäre	Kompartiment	Tiefe	Vorrat [.../ha]	Eintrag [.../ha a]	Austrag [.../ha a]	Änderung [.../ha a]	Änderung des Vorrats [% / a]
<b>C [t/...]</b>							
Atmosphäre	-	>0,1 m	15,4	-	1,906	-	-
Biosphäre	Blätter	15-0,1 m	1,0	1,357	1,382	0,00	-
	Holz	15-0,1 m	125,0	1,906	-	1,91	-
Pedosphäre	Auflage	0,1-0 m	9,2	1,382	-	0,00	-
	Ah	0-0,1 m	27,7	-	-	-	-
	Al	0,1-0,3 m	21,4	-	0,017	-	-
	fGo-Al	0,3-0,6 m	-	0,017	0,017	-	-
	fGo-Bt	0,6-1,1 m	-	0,017	0,012	-	-
Hydrosphäre	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	0,012	-	-	-
	Summe BioPedo		184				
<b>Cd [g/...]</b>							
Atmosphäre	-	>0,1 m	-	-	2,1	-	-
Biosphäre	Blätter	15-0,1 m	1	2,1	1,8	0,3	-
	Holz	15-0,1 m	80	-	-	1	-
Pedosphäre	Auflage	0,1-0 m	17	1,8	3,9	-2,1	-12,4%
	Ah-Hor	0-0,1 m	76	3,9	15,5	-11,6	-15,3%
	Al	0,1-0,3 m	122	15,5	8,3	7,2	5,9%
	fGo-Al	0,3-0,6 m	440	8,3	14,9	-6,6	-1,5%
	fGo-Bt	0,6-1,1 m	1.316	14,9	2,8	12,1	0,9%
	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	2,8	-	-	-
Hydrosphäre	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	2,8	-	-	-
	Summe BioPedo		1.970			-0,7	<0,1%
<b>Cu [g/...]</b>							
Atmosphäre	-	>0,1 m	-	-	108	-	-
Biosphäre	Blätter	15-0,1 m	48	108	-	-	-
	Holz	15-0,1 m	-	-	106	2	-
Pedosphäre	Auflage	0,1-0 m	1.495	106	202	-96	-6,4%
	Ah-Hor	0-0,1 m	5.698	202	34	168	2,9%
	Al	0,1-0,3 m	7.800	34	118	-84	-1,1%
	fGo-Al	0,3-0,6 m	6.249	118	40	78	1,2%
	fGo-Bt	0,6-1,1 m	35.852	40	13	27	0,1%
	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	13	-	-	-
Hydrosphäre	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	13	-	-	-
	Summe BioPedo		57.093			95,0	0,2%
<b>Pb [g/...]</b>							
Atmosphäre	-	>0,1 m	-	-	14	-	-
Biosphäre	Blätter	15-0,1 m	10	14	28	-14	-
	Holz	15-0,1 m	478	-	-	6	-
Pedosphäre	Auflage	0,1-0 m	11.891	28	737	-709	-6,0%
	Ah-Hor	0-0,1 m	46.443	737	97	640	1,4%
	Al	0,1-0,3 m	20.875	97	11	86	0,4%
	fGo-Al	0,3-0,6 m	38.459	11	2	9	<0,1%
	fGo-Bt	0,6-1,1 m	46.527	2	2	1	<0,1%
	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	2	-	-	-
Hydrosphäre	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	2	-	-	-
	Summe BioPedo		164.196			12,5	<0,1%
<b>PAK 16 [g/...]</b>							
Atmosphäre	-	>0,1 m	-	-	8,5	-	-
Biosphäre	Blätter	15-0,1 m	-	8,5	-	-	-
	Holz	15-0,1 m	-	-	6,3	2	-
Pedosphäre	Auflage	0,1-0 m	214	-	-	-	-
	Ah-Hor	0-0,1 m	1.970	-	-	-	-
	Al	0,1-0,3 m	450	-	-	-	-
	fGo-Al	0,3-0,6 m	-	-	-	-	-
	fGo-Bt	0,6-1,1 m	-	-	-	-	-
	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	-	-	-	-
Hydrosphäre	fGo-(f)Gr	>1,1 m	-	-	-	-	-
	Summe BioPedo		2.634				0,3%

Tab. 2: Ausgewählte vorläufige Stoffflussbilanzdaten der Intensiv-Messstelle Bruchsal, Bilanzraum 2 (15 bis 20 m Abstand zur Autobahn A5; Buchen-/Kiefernwald); Durchschnittswerte oder jeweils verlässlichste Werte der Jahre 1992 bis 2002 (Erläuterungen: - keine Daten vorhanden; Ah humoser Oberboden; Al tonverarmter Oberboden; Bt tonangereicherter Unterboden; fGo oxidiertes Unterboden mit fossilem Grundwassereinfluss; (f)Gr reduzierter Unterboden mit fossilem und erneutem Grundwassereinfluss; Bilanzraum 1 [0-10 m mit Grasdecke] siehe Text; Datengrundlagen UMEG & LfU; siehe [www.umweltbeobachtung.de/journal/U914-MDBW1101-J0292-de.pdf](http://www.umweltbeobachtung.de/journal/U914-MDBW1101-J0292-de.pdf) in Vorbereitung)

### Beispiel einer Kohlenstoffbilanz [C]

Wieso C-Bilanz? Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden als wichtige Ursache für mögliche anthropogene Klimaänderungen diskutiert. Als CO<sub>2</sub>-Senken wirken die Hydrosphäre (Weltmeere), die Biosphäre (Photosynthese) und die Pedosphäre (Carbonatgesteins- und Humusbildung). Der in der Biosphäre organisch gebundene Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) bildet wiederum wichtige Adsorberflächen für Schadstoffe (z.B. Blattnadeln). Die Flüsse zahlreicher Spurenstoffe (z.B. Cu, Hg, PAK) sind daher bis in das Grundwasser an die C<sub>org</sub>-Flüsse gebunden. Aus diesem Grund ist C<sub>org</sub> ein Leitstoff für Spurenstoffbilanzen.

C-Eckdaten: Bezogen auf die Landesfläche werden in Baden-Württemberg anthropogen durchschnittlich 6 t CO<sub>2</sub>-C/ha a emittiert. Von der A5 werden im Streckenabschnitt der Messstelle Bruchsal jährlich 2.600 t CO<sub>2</sub>-C/km emittiert. Hinzu kommen noch ca. 3 t Reifenabrieb-C/km.

C-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen 0-10 m: Im Randstreifen 0-10 m ist im Boden eine nutzungstypische C-Menge von 50 t C/ha gespeichert. Es gibt bislang keine Hinweise, dass das natürliche Gleichgewicht zwischen Humusnachlieferung und -abbau im Boden durch das erhöhte CO<sub>2</sub>-Angebot der Autobahn beeinflusst ist. Ob der Reifenabrieb-C zu einer Humusanreicherung führt wurde bislang nicht untersucht.

C-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen Wald 15-20 m: Für den Waldbereich in 15-20 m wurden folgende C-Vorräte geschätzt (Tabelle 2): In der Biosphäre sind ca. 126 t C/ha und in der Pedosphäre ca. 58 t C/ha gebunden. (Zum Vergleich: in der Atmosphäre sind ca. 15 t CO<sub>2</sub>-C/ha gebunden; Berechnung: 100 kt/ha Gewicht der Luftsäule mal 0,015 Gewichts-% CO<sub>2</sub>-C). Durch das Wachstum der Bäume werden aus der Atmosphäre jährlich ca. 1,9 t C/ha a bis zur Baumernte im Holz gespeichert. 1,4 t C/ha a werden dem Boden über den Streufall zugeführt. Das Streufall-C wird bilanztechnisch wohl vollständig wieder zu CO<sub>2</sub> veratmet, denn es gibt keine Hinweise auf eine C<sub>org</sub>-Akumulation im Boden. Die C-Freilanddeposition liegt in Bruchsal bei 0,02 bis 0,04 t C/ha a, die Bestandsdeposition bei 0,1 bis 0,2 t C/ha a. Der C-Fluss im Boden und der Austrag aus dem Boden beträgt ca. 0,015 t C<sub>org</sub>/ha a. In der Bodentiefe 1,1 m wurden im Sickerwasser mit 12 mg TOC-C/l im Verhältnis zu typischem Grundwasser erhöhte C-Gehalte ermittelt.

Beurteilung & Ausblick: Die hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs haben keinen Einfluss auf die biologische C-Fixierung am Straßenrand, da CO<sub>2</sub> in der Regel kein das Wachstum begrenzender Nährstoff ist.

Unter guten Standortverhältnissen werden in Bruchsal nur 32% (1,9 von 6 t C/ha a) des landesweit durchschnittlich emittierten CO<sub>2</sub> biologisch fixiert. Damit verbleiben in Bruchsal 4,1 t C/ha a als atmosphärischer Überschuss (Landesdurchschnitt). Um in Bruchsal die Verkehrsemission der A5 von 2.600 t C/km biologisch zu fixieren, müsste eigens hierfür in einem 13,7 km breiten Waldstreifen entlang der A5 das Holz abbausicher „endgelagert“ werden.

An dem vorangegangenen Rechenbeispiel kann die Bedeutung von CO<sub>2</sub>-Emissionen einer Industrie- und Verkehrsregion wie Baden-Württemberg veranschaulicht werden. Das Beispiel zeigt auch, dass atmosphärische C-Bilanzen und klimarelevante Veränderungen aufgrund der Senkenfunktion der Bio-, Hydro- und Pedosphäre global betrachtet werden müssen.

Die C<sub>org</sub>-Bilanz wird in Bruchsal mit Blick auf die Leitstofffunktion beim Transport von Spurenstoffen weiter verfolgt.

### Beispiel einer Cadmiumbilanz [Cd]

Cd-Eckdaten: Bezogen auf die Landesfläche werden in Baden-Württemberg anthropogen 0,06 g Cd/ha a emittiert. Normale Boden-Stäube können Depositionen von ca. 0,05 bis 0,4 g Cd/ha a verursachen (Annahmen: 100-200 kg Boden-Staub/ha a mit 0,5 - 2 mg Cd/kg Bodenstaub; Erläuterung: 100-200 kg Staubbiederschlag/ha a entspricht in etwa dem 10. Perzentil in Siedlungsgebieten. Die Annahme, dass dies weitgehend Boden-Feinstaub sein könnte, beruht auf der Erkenntnis, dass die typischen Stoffkonzentrationen im Staubbiederschlag in diesen Proben den Stoffkonzentrationen von Boden-Staub sehr ähnlich sind).

Cd-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen A5 0-10 m: Die durch Bodentranssekt- und Profilmessungen errechneten, verkehrsbedingten Cd-Massen im Boden liegen bei ca. 400 g/km (bezogen auf 0-30 cm Bodentiefe und abzüglich eines natürlichen Cd-Vorrates von ca. 200 g/km). Bezogen auf die Autobahnbetriebsdauer von 25 bis 50 Jahren (hier ergeben sich Unsicherheiten wg. verschiedener Straßenerweiterungen und Bodenumlagerungen) liegt die jährliche Cd-Anreicherung bei 8 bis 16 g Cd/km a. In der Zone 0-3 m liegt die jährliche Zunahme im Oberboden bei ca. 3% vom Gesamtvorrat. Daten von gemessenen Cd-Frachten liegen hier noch nicht vor.

Cd-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen Wald 15-20 m: Der Cd-Gesamteintrag in den Wald wurde nach dem sog. „Ulrichmodell“ mit 2,1 g/ha a berechnet (Tabelle 2). Die Verlagerung im Boden variiert sehr stark von 3,9 bis 15,5 g/ha a. In der Tiefe 0,6 - 1,1 m findet eine

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Anreicherung statt (+ 12,1 g Cd/ha a). Der Waldstandort weist mit 1.970 g Cd/ha sehr geringe Cd-Gesamtvorräte auf, die insgesamt verarmen (-0,7 g Cd/ha a). Die Cd-Konzentrationen im Sickerwasser liegen in Bruchsal mit 1,2 µg/l über den üblichen Cadmiumgehalten im Grundwasser.

**Beurteilung & Ausblick:** Die anhaltende Cd-Anreicherung in der Zone 0-10 m soll weiter beobachtet werden. Der Cd-Fluss im Bereich 15-20 m ist nicht maßgeblich vom Verkehr beeinflusst. Die mögliche Cd-Anreicherung des Grundwassers dürfte hier eher auf eine geogene Anomalie als dem Verkehr zuzurechnen sein. Der Cd-Austrag aus dem Oberboden ist hier in wenigen Jahren erschöpft bzw. auf den atmosphärischen Eintrag begrenzt.

Für die Ermittlung von Cd-Bilanzen scheint die Umlagerung von Bodenstäuben (z.B. bei der Saatbettbereitung) eine wichtige Rolle einzunehmen und dürfte selbst an der Autobahnmesstelle Bruchsal keine Bagatellfracht sein. Auch bei der Beurteilung von Cadmiumgehalten in Pflanzen ist dieser Aspekt wichtig.

### Beispiel einer Bleibilanz [Pb]

**Pb-Eckdaten:** Bezogen auf die Landesfläche werden in Baden-Württemberg anthropogen 0,8 g Pb/ha a emittiert. Boden-Feinstäube, die häufig mit historischen Bleiablagerungen aus ehemals verbleiten Kraftstoffen behaftet sind, können Depositionen von ca. 4 - 40 g Pb/ha a verursachen (Annahme: 100-200 kg Bodestaub/ha a; 40 - 200 mg Pb/kg Bodestaub). Durch den Verkehr werden heute keine nennenswerten Pb-Massen mehr emittiert.

**Pb-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen 0-10 m:** Die verkehrsbedingten Bleivorräte im Randstreifen 0-10 m betragen ca. 245.000 g Pb/km (bezogen auf 0-30 cm Bodentiefe 275.000 g Gesamtvorrat abzüglich ca. 30.000 g Hintergrund). Bezogen auf die Autobahnbetriebsdauer bis ca. 1990 ergeben sich historische Einträge von 6.000 bis 16.000 g Pb/km a (hier = g/ha a). Die Jahresbilanzen, die sich aus den Bodenwiederholuntersuchungen seit 1992 errechnen lassen, liegen im Bereich der Bilanz-BG bei < 3.500 g Pb/ha a. Pb-Flussdaten liegen hier noch nicht vor.

**Pb-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen Wald 15-20 m:** Im Wald wurde ein Pb-Gesamtvorrat von 164.000 g Pb/ha ermittelt (Tabelle 2). Hiervon dürften ca. 20.000 bis 40.000 g/ha verkehrsbedingt sein. Die heutigen Pb-Einträge wurden mit 14 g/ha a berechnet. Der Pb-Fluss im Boden erreicht 737 g/ha a aus der

Streuauflage (-709 g/ha a) und klingt innerhalb von 0,3 m extrem schnell auf 11 g/ha a ab. Abnehmende Pb-Vorräte in der Streuauflage und zunehmende Gehalte im Oberboden wurden bei der Bodenwiederholbeprobung bestätigt. Die Sickerwasserkonzentration in 1,1 m Tiefe liegt mit 1 µg/l in einem für Grundwasser typischen Bereich. Die Bleifrachten in das Grundwasser liegen bereits mehrjährig auf einem niedrigen Niveau. Der Blei-Gesamtvorrat in der Biopedosphäre variiert mit < 0,1% / a gering.

**Beurteilung & Ausblick:** Die Pb-Bilanz im Autobahnrandstreifen 15-20 m ist nur auf ähnliche historische Verkehrs- und Standortverhältnisse übertragbar. Das gute Rückhaltevermögen in 15-20 m für die historisch verkehrsbedingten Vorräte ist erstaunlich und wird angesichts der möglichen Veränderungen (z.B. Humusabbau) weiter beobachtet. Eine Grundwasserbeeinträchtigung ist in 15-20 m derzeit auszuschließen. Im Autobahnrandstreifen 0-10 m sind die derzeitigen Bilanzierungen noch zu ungenau und unvollständig.

Für die Ermittlung von Pb-Bilanzen spielt die Umlagerung von Bodenstäuben heute allgemein eine wichtige Rolle.

### Beispiel einer Kupferbilanz [Cu]

**Cu-Eckdaten:** Bezogen auf die Landesfläche werden in Baden-Württemberg anthropogen 0,3 g Cu/ha a emittiert (ohne Landwirtschaft). Normale Boden-Stäube können Depositionen von ca. 2 - 10 g Cu/ha a verursachen (Annahme: 100-200 kg Bodestaub/ha a; 20 - 50 mg Cu/kg Bodestaub).

**Cu-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen 0-10 m:** Im Randstreifen 0-10 m befinden sich verkehrsbedingte Cu-Vorräte von ca. 60.000 g Cu/km (bezogen auf 0-30 cm Bodentiefe 73.000 g Gesamtvorrat abzüglich 13.000 g Hintergrund). Bezogen auf die Autobahnbetriebsdauer ergeben sich 1.200 bis 2.400 g Cu/km a. Cu-Flussmessungen liegen hier noch nicht vor.

**Cu-Bilanzdaten Autobahnrandstreifen Wald 15-20 m:** Der Cu-Gesamteintrag im Waldbereich wurde mit 108 g/ha a errechnet (Tabelle 2). Eine Cu-Anreicherung wurde im Oberboden ermittelt (+ 168 g/ha a). Die Cu-Gehalte im Sickerwasser liegen mit 5 µg/l im oberen Bereich von typischen Grundwasserkonzentrationen. Bezogen auf den Standort bis 1 m Tiefe wurde eine jährliche Cu-Anreicherung von ca. 0,2 % vom Cu-Vorrat ermittelt.

**Beurteilung & Ausblick:** Verkehrsbedingte Cu-Einträge um die 2.000 g Cu/ha a - wie hier im Randstreifen 0-10 m - sind in dieser Größenordnung bei-

spielweise im Weinbau übliche Pflanzenschutzmittel-Aufwandsmengen. Die umweltpolitische Beurteilung der emissionsbedingten Cu-Anreicherung an Straßen sollte daher die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft einbeziehen. Auch im Randstreifen 15-20 m deuten die Cu-Depositionen noch auf einen beobachtungsrelevanten Einfluss des Verkehrs hin.

Für die Ermittlung von Cu-Bilanzen spielt die Umlagerung von Bodenstäuben ebenfalls eine wichtige Rolle.

### **Beispiel einer Bilanz für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe [PAK] und Benzo[a]pyren [BaP]**

PAK-Eckdaten: Bezogen auf die Landesfläche werden in Baden-Württemberg anthropogen 18 g PAK/ha a und 0,4 g BaP/ha a emittiert; davon 18% vom Verkehr. Von der A5 werden im Streckenabschnitt der Messstelle Bruchsal jährlich je Fahrtrichtung 2.000 g PAK<sub>11</sub>/km bzw. 50 g BaP/km emittiert, Tendenz sinkend. Dies entspricht bei einer vollständigen Deposition im Randstreifen 0-3 m einem möglichen Eintrag von 6.500 g PAK<sub>11</sub>/ha a und 170 g BaP/ha a je Fahrtrichtung.

Boden-Feinstäube können PAK-Depositionen von ca. 0,05 bis 0,4 g PAK<sub>16</sub>/ha a (Annahme: 100-200 kg Bodendust/ha a; 0,5 - 2 mg PAK<sub>16</sub>/kg Bodendust) bzw. 0,005 bis 0,04 g BaP/ha a verursachen.

PAK-Bilanzdaten, Autobahnrandstreifen, Wald 0-3 und 0-10 m: Im Randstreifen 0-3 m deuten die Bodenmessungen auf eine jährliche Anreicherung von PAK im Oberboden von 3.000 bis 5.000 g PAK<sub>16</sub>/ha a bzw. 200 bis 400 g BaP/ha a hin. Der PAK-Vorrat in der Zone 0-3 m hat sich im Jahr 2001 auf 230.000 g PAK<sub>16</sub>/ha erhöht (bezogen auf 0-30 cm Bodentiefe und abzügl. eines Hintergrundwertes von 3.000 g/ha). Die jährliche Anreicherung beträgt im Oberboden der Zone 0-3 m derzeit ca. 7 % vom Gesamtvorrat. PAK-Flussmessungen liegen hier noch nicht vor.

Zum Vergleich: Im Randstreifen 0-10 m liegen die PAK-Vorräte bei ca. 100.000 g PAK<sub>16</sub>/km (0-30 cm), bezogen auf die Autobahnbetriebsdauer ergeben sich hier durchschnittliche Anreicherungen von ca. 2.000 bis 4.000 g PAK<sub>16</sub>/km a.

PAK-Bilanzdaten Wald Autobahnrandstreifen 15-20 m: Der PAK-Gesamteintrag in den Wald wurde mit 8,5 g PAK<sub>16</sub>/ha a bzw. 0,4 g BaP/ha a berechnet (Tabelle 2). Der PAK-Vorrat bis 1 m Tiefe beträgt hier 2.600 g PAK<sub>16</sub>/ha. Hiervon entfallen 77% auf den

Oberboden. Die jährliche Anreicherung beträgt hier ca. 0,3% vom Gesamtvorrat. Belastbare Streu- und Sickerwassermessungen liegen hier noch nicht vor.

Beurteilung und Ausblick: Die katastermäßig erfassten Emissionsmassen entsprechen in etwa den Mengen, die in der Zone 0-3 m jährlich angereichert wurden. PAK werden am Straßenrand in 0-3 m in einer hohen Rate anhaltend angereichert. Das tatsächliche Puffervermögen des Bodens sollte durch PAK-Flussmessungen intensiver beobachtet werden.

Die PAK-Deposition liegt im Randstreifen 15-20 m neben der A5 in etwa im oberen Drittel des landesweiten Hintergrundes. Hier überrascht eine jährliche Anreicherung von nur 0,3 % vom Vorrat, denn die historischen PAK-Einträge müssten demnach sehr hoch gewesen sein, der Abbau sehr gering oder aber die heutigen Einträge werden noch unterschätzt.

Allgemein kann festgestellt werden, dass die Reemission von PAK aus Böden heute – angesichts der anhaltenden Emissionen - außerhalb der Siedlungsgebiete bisher noch keine hohe Bedeutung hat.

### **4. Ausblick**

Bilanzen sind – wie das Beispiel Bruchsal zeigt – aus einer Vielzahl kleiner Bilanzglieder aufgebaut, die in einem ständigen Erfahrungsaustausch immer wieder neu geprüft werden müssen. Bilanzierungsarbeiten müssen mit vielen Meilensteinen geplant und durchgeführt und die Prioritäten dabei immer wieder neu geordnet werden. Bilanzberichte haben daher oftmals den Status von Zwischenberichten.

Bilanzlücken müssen Schritt für Schritt gefüllt werden. Von vollständigen Bilanzen für den „Betrieb Umwelt“ sind wir sicher noch weit entfernt.

Damit Umweltbilanzen transparent und nachvollziehbar werden, müssen alle sektoralen Datengrundlagen von den jeweiligen Experten leicht nachvollziehbar hinterlegt sein. Hierzu soll das Onlinejournal Umweltbeobachtung.de einen Beitrag leisten.

Bilanzierungsschwerpunkte von Stoffflüssen können transport- und abbaubedingt in der Atmosphäre, der Biosphäre, der Hydrosphäre oder in der Pedosphäre liegen. Schlüssige und plausible Bilanzen müssen immer medien- und raumübergreifend sein.

Es bleibt zu hoffen, dass die Bilanzierungsarbeiten und die Umweltbeobachtung zunehmend als eine ressort-, institutionen- und grenzübergreifende Ge-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

meinschaftsaufgabe verstanden wird – denn es gibt noch viele Bilanzlücken, die es zu füllen gilt.

### **Dank**

An diesem Beitrag haben zahlreiche, namentlich nicht aufgeführte Mitarbeiter der UMEG mitgewirkt. Die Arbeiten basieren auch auf einem langjährigen, intensiven Erfahrungsaustausch und dem persönlichen Engagement zahlreicher Mitarbeiter der Landesanstalt für Umweltschutz, des Ministeriums für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und der Laboratorien von UMEG und LfU. Die Autoren möchten sich hierfür bei allen recht herzlich bedanken.

# Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg. Ergebnisse eines Modellprojekts

Prof. Dr. Winfried Schröder & Dr. Gunther Schmidt, Hochschule Vechta

## Zusammenfassung

Schwerpunkt des im Folgenden beschriebenen Projekts war es zu überprüfen, ob die Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg methodisch harmonisiert, landschaftsökologisch repräsentativ sowie Umweltmedien übergreifend im Sinne des Kerndatensatzes der ökosystemaren Umweltbeobachtung ist und damit die Anforderungen des § 12 Bundesnaturschutzgesetz erfüllt. Hierfür wird ein methodischer Ansatz adaptiert und beispielhaft erprobt, den die Arbeitsgruppe des Verfassers auch für entsprechende Untersuchungen auf Bundesebene angewendet hat. Er besteht aus der Erhebung von Informationen über Umweltmessnetze (Metadaten), der statistischen Ableitung einer landschaftsökologischen Raumgliederung, der statistischen Analyse von Messdaten ausgewählter baden-württembergischer Umweltmessnetze sowie Verknüpfung von Raumgliederung, Metadaten und Messdaten in Wirkungs- und Transferszenarien.

## 1. Projektziele und -struktur

1975 wurden mehrere baden-württembergischen Landeseinrichtungen mit Umweltbezug zur Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg zusammengefasst. Die LfU ist zuständig für die Bereiche Wasser, Luft, Naturschutz und Bodenschutz einschließlich Abfall und Altlasten. Anfang der 1980er Jahre begannen die Planungen für ein Bodenmessnetz, und ab 1984 wurde das Ökologische Wirkungskataster aufgebaut, um die Wirkungen von Luftschadstoffen auf die Flora und Fauna zu überwachen. Seit Beginn der 1990er Jahre ist die LfU schwerpunktmäßig strategisch und konzeptionell im Umweltschutz und in der Beratung von Politik und Verwaltung tätig. Die Umweltbeobachtung wird z.T. von der Gesellschaft zur Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH (UMEG) durchgeführt.

Die beschriebene Entwicklung der Umweltbeobachtung (UB) in Baden-Württemberg zeigt wie in allen anderen Bundesländern zum einen das Bemühen der organisatorischen Integration der Umweltbeobachtung. Jedoch entspricht die Umweltdatenerhebung und -auswertung bis heute nicht den Leitlinien der Denkschrift Umweltbeobachtung (Ellenberg et al. 1978; Fränzle et al. 1996). Hiernach sollen an einer statistisch

ausreichenden Zahl landschaftsökologisch repräsentativer UB-Standorte Daten über die Hauptkompartimente terrestrischer Ökosysteme (Biota, Boden, Luft, Wasser), also Umweltmedien übergreifend erhoben werden. Diese Umweltdatenerhebung sollte auf drei sich räumlich und methodisch ergänzenden Varianten der Umweltbeobachtung basieren:

1. in Schwerpunkträumen konzentrierte Ökosystemforschung (grundlegende Analyse von Ökosystemfunktionen und -strukturen),
2. Umweltprobenbank (retrospektive Umweltbeobachtung) sowie
3. Umweltbeobachtung als Element-, Faktoren- und Wirkungskataster, welche der Umweltbeobachtung nach § 12 BNatSchG entspricht.

Diese Vorstellungen wurden vom SRU (1983, 1991, 1997) aufgegriffen. Für ihre Verwirklichung haben das Umweltbundesamt (UBA) und das Bundesamt für Naturschutz (BfN) 1993 begonnen, die zahlreichen Aktivitäten des Bundes und der Länder in der Umweltbeobachtung systematisch zu erfassen und zu dokumentieren. Die darauf fußende UB-Konzeption (BMU 1999, 2000) sieht vor, dass die bestehenden sektoralen Beobachtungsprogramme vervollständigt, harmonisiert und zusammengeführt werden, um „geografische Fehlstellen in der Umweltbeobachtung herauszufinden, thematische Lücken in der Umweltbeobachtung und damit bei der problembezogenen Umweltberichterstattung zu verdeutlichen" (BMU 1999, S. 2).

Zur Prüfung dieser Anforderungen wurde in Baden-Württemberg ein Pilotprojekt mit folgenden Arbeitsschwerpunkten durchgeführt (Schröder et al. 2002):

- Erhebung von Daten über Umweltmessnetze (Metadaten) (Kap. 2),
- Berechnung einer landschaftsökologischen Raumgliederung (Kap. 3),
- Bestimmung der Landschaftsrepräsentanz von Messnetzen am Beispiel der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) (Kap. 4.1),

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

- geostatistische Analyse ausgewählter Messdaten (Kap. 4.2) sowie
- Datenverknüpfungen nach Wirkungszusammenhängen (Kap. 5).

Die Metadatenerhebung ist erforderlich, weil der Umweltdatenkatalog (UDK) „nur bedingt den Anforderungen der Umweltbeobachtung“ genügen und die „Beschreibungstiefe von UDK-Objekten ... bearbeiterspezifisch sehr heterogen“ ist (Condat & v. Klitzing 2000, S. 27). Dem steht jedoch das Ziel einer Überprüfung der räumlichen und inhaltlichen Verknüpfung von Umweltmessnetzen entgegen (BMU 1999, S. 6; BMU 2000, S. 2), so dass Informationen über bestehende Umweltmessnetze mit einem digitalen Fragebogen in Ergänzung zum UDK erhoben wurden. Diese Metadaten werden in eine Metadatenbank überführt, die an das GIS UB gekoppelt wird. Im GIS UB ist die Verknüpfung der Metadaten mit der ökologischen Raumgliederung und den Messdaten der Umweltbeobachtung möglich. Das GIS UB enthält Flächendaten, aus denen eine landschaftsökologische Raumgliederung Deutschlands multivariat-statistisch abgeleitet wird. Diese Raumgliederung dient zur Bestimmung der Landschaftsrepräsentanz der UB-Messnetze. Neben Metadaten und Flächendaten enthält das GIS UB auch die Messnetzgeometrien der UB-Messstellen sowie z.T. auch die dort erhobenen Messwerte. Damit ist die fachliche und räumliche Verknüpfung von Meta-, Mess- und Flächendaten im GIS ermöglicht. Dieser Untersuchungsansatz ist voll kompatibel zu demjenigen, der von den Autoren in enger Abstimmung mit vielen Experten aus Fachbehörden (u.a. BBA, BfG, BfN, BGR, BGK, DWD, StBA, UBA) im Auftrag des BMU / UBA entwickelt und angewendet wurde (Schröder et al. 2001 a, 2001 b).

### 2. Metadaten

In Baden-Württemberg wie in allen anderen Bundesländern werden Umweltdaten in großer Fülle erhoben. Für die statistische Analyse dieser Daten sowie ihre ökologische Interpretation sind Informationen über folgende Aspekte wichtig: Wo werden die Daten erhoben? Welche Zielsetzung hat die Datenerhebung? Welche Messgrößen werden erfasst? Mit welchen Methoden erfolgt die Datenerfassung? Wie wird die Qualität der Daten beschrieben? Wo werden die Daten gehalten, und in welcher Form sind sie verfügbar? Solche Informationen über Messdaten heißen Metadaten. Der Umweltmetadatenkatalog der Länder (UDK) ist entsprechend seiner Zielsetzung nicht differenziert genug, um zu überprüfen, ob sich die in den Bundesländern erhobenen Umweltdaten zu einer ko-

härenten, Medien übergreifenden und flächendeckenden Beschreibung des Umweltzustands zusammenfügen lassen (Condat & v. Klitzing 2000). Deshalb wurden die UDK-Inhalte in dem Pilotprojekt durch eine bis auf jede einzelne Messstelle ausdifferenzierte Metadatenerhebung auf rund 800 Fragen erweitert. Diese Metadatengrundlage gestattet Aussagen darüber, welche Messgrößen in den von LfU und UMEG betriebenen Messnetzen erhoben werden und welche Methoden dabei angewendet werden. Dadurch lässt sich fachlich prüfen, ob die solcherart erhobenen Daten für eine integrierte ökologische Analyse und Bewertung des Umweltzustands verwendet werden können. Schließlich sollen die Messnetz-Metadaten mit dem Kerndatensatz der Umweltbeobachtung (KDS) abgeglichen werden. Er umfasst diejenigen Messgrößen, die nach dem Konzept der ökosystemaren Umweltbeobachtung erhoben werden sollten (Bosch & Partner 2001; Haber et al. 1997). Im Folgenden werden einige besonders interessante Auswertungsergebnisse der Fragebogenkategorien Allgemeine Angaben, Boden, Gewässer, Luft und Bioindikation vorgestellt.

Bisher können durch die Metadatenerhebung in Baden-Württemberg 24 Umweltbeobachtungsmessnetze aus sieben Messprogrammen beschrieben werden. Anzahl, Laufzeit und Periodizität der Beprobung sind je nach Überwachungsauftrag sehr unterschiedlich. Allein das Grundwasserüberwachungsprogramm mit seinen vier Messnetzen hat über 6.000 Messstationen. Das Depositionsmessnetz hingegen verfügt nur über 38 Stationen. Die Laufzeit der Messeinrichtungen ist sehr unterschiedlich. Ihre Auswahl zielte überwiegend auf eine landesweit-flächendeckende Verteilung der Stationen, deren Anzahl und Lokalisierung zumeist nicht nach einem formalisierten, objektivierten und reproduzierbaren Verfahren erfolgte.

### 2.1 Bodenmonitoring

Die Bodendauerbeobachtung umfasst ein Grund- und ein Intensivmessnetz. Das Grundmessnetz wurde im Jahr 2000 von 150 auf ein Basismessnetz mit 33 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) reduziert. Weitere Bodenuntersuchungen werden vom LfU-Referat Biologische Umweltbeobachtung auf den Wald- und Grünlanddauerbeobachtungsflächen durchgeführt. Der Beprobungsumfang umfasst die meisten Messgrößen des Kerndatensatzes (Bosch & Partner 2001). Es fehlen: Bodentemperatur, Zersetzungsstufe von Torfen, physiologische Gründigkeit des Bodens, Substanzvolumen bei Moorböden, Kalkbedarf. Bestimmendes Kriterium zur Ausweisung von Standorten des BDF-Grundmessnetzes und des daraus entwickelten Basismessnetzes war die landesweite Repräsentanz

hinsichtlich Landschaft, Boden und Nutzung. Die Naturräumliche Gliederung (Meynen et al. 1959, 1963) sowie die Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) waren maßgeblich bei der Ausweisung der Bodendauerbeobachtungsflächen. Die langfristige Verfügbarkeit und die Gewährleistung gleichbleibender Nutzung spielten bei der Ausweisung der BDF ebenfalls eine große Rolle. Für Standorte des Intensivmessnetzes war eine immissionsnahe Lage entscheidend. Eine strenger formalisierte Operationalisierung der Standortauswahl erfolgte nicht. Bislang fand weder eine Verknüpfung mit Bodendauerbeobachtungen anderer Messnetzbetreiber statt, noch wurden Standorte anderer sektoraler Messnetze bei der Lokalisierung der BDF berücksichtigt. Bei den bodenphysikalischen Messgrößen und -methoden unterscheiden sich die Messnetze nur wenig, die meisten Parameter wurden nur bei der Erstbeobachtung aller BDF untersucht. Die Saugspannung des Bodens, deren Erfassung der Kerndatensatz empfiehlt, wird kontinuierlich nur an den BDF des Intensivmessnetzes mit Tensiometern erfasst. Die im Kerndatensatz genannten Messgrößen Aggregatdichte und Gefügestabilität werden auf den BDF nicht erhoben.

Grundsätzlich unterscheiden sich die BDF bei den chemischen Messgrößen in erster Linie durch das vorgegebene Untersuchungsintervall. So werden die Standorte des Intensivmessnetzes in einem Turnus von drei Jahren untersucht, während für die Standorte des Basismessnetzes ein Untersuchungsintervall von etwa zehn Jahren vorgesehen ist. Die Untersuchungen an den übrigen Standorten des Grundmessnetzes werden nur bei Bedarf wieder aufgenommen. Die Datenerhebung unterscheidet sich bei allen BDF nur geringfügig. Zukünftig sollen alle Standorte nach den gleichen Methoden untersucht werden. Schwermetalle und organische Schadstoffe werden routinemäßig in dem gleichen Intervall wie die übrigen chemischen Messgrößen erfasst. Die Gesamtgehalte von Ca, Mg, K, Na, P, Al, Fe, Mn und S (KDS) sowie oxalat- und dithionitlösliches Eisen, Aluminium und Mangan (KDS) und einige Kohlenstoffverbindungen werden nicht oder nur auf einem Teil der Flächen analysiert. Auf den landwirtschaftlichen Flächen erfolgen keine Nitrat- und Ammonium-Bestimmungen (KDS).

Bodenmikrobiologische Untersuchungen werden sowohl im Grund- bzw. Basismessnetz als auch im Intensivmessnetz durchgeführt. Die einmalige Untersuchung von Lumbriciden-Populationen an 11 ausgewählten Standorten des Grundmessnetzes stellt die einzige bodenzoologische Untersuchung dar.

Lediglich an den 4 BDF des Intensivmessnetzes werden die zur Bilanzierung von Stoffströmen benötigten

und im KDS genannten meteorologischen und chemischen Konzentrationen in Deposition und Bodenlösung ermittelt. Auffällig ist, dass Gesamt-Stickstoff bzw. Phosphor nicht bestimmt werden. Routinemäßige Blatt- und Nadelanalysen sowie Untersuchungen zu Inhaltsstoffen in Erntepflanzen fehlen ebenso wie die Feststellung der Konzentration von Eisen, Mangan und Aluminium in der Bodenlösung. Ergänzende Informationen über die Zusammensetzung der Vegetation werden nicht erhoben.

Sowohl die Probenentnahme als auch die Probenaufbereitung ist durch die 2. UmV zum Bodenschutzgesetz Baden-Württembergs festgelegt. Landesinterne Ringversuche sichern die Qualität der Probenanalysen. Die Messdaten werden in einer zentralen Bodendatenbank abgelegt. Ein Bodeninformationssystem ist bislang nicht aufgebaut.

### 2.2 Immissionsmessung

Das Immissionsmessnetz besteht insgesamt aus über 60 Multikomponenten-Stationen. Die Standorte der Ballungsgebiete sollen die Luftgüte in schadstoffbelasteter Umwelt erfassen, während die Standorte der ländlichen Siedlung eine verdichtende Funktion des Gesamtmessnetzes besitzen. Die Hintergrundmessstationen sollen Schadstoffe in emittentenferner Lage überwachen und Anhaltspunkte für die Grundbelastung des Landes Baden-Württemberg liefern. An hochfrequentierten Verkehrswegen werden zusätzliche Immissionsmessungen durchgeführt. Darüber hinaus befinden sich temporäre Messstationen in Gebrauch. Das Immissionsmessnetz überwacht im Wesentlichen die Einhaltung von Grenzwerten und zeitliche Trends der Konzentration von Luftinhaltsstoffen. Ferner sind eine Erfolgskontrolle von Luftreinhaltemaßnahmen und eine Emittenten-Analyse angestrebt. Die vier Immissionsmessstationen, die nicht unmittelbaren anthropogenen Einflüssen ausgesetzt sind, sollen die Grundbelastung in der Atmosphäre erfassen. Durch das Depositionsmessnetz sollen Staubbelastungen in den Ballungsräumen Karlsruhe und Mannheim sowie in ländlichen Gebieten nachgewiesen werden können.

Von den im KDS vorgesehenen Messgrößen zur Überwachung der gasförmigen Luftinhaltsstoffe werden lediglich CO<sub>2</sub> sowie einige meteorologische Begleitparameter nicht registriert. Daneben werden die Gehalte von Schwefelsäure, Fluorid, Schwefelwasserstoff und Chlor sowie einige organische Verbindungen nicht gemessen. Die partikelgebundenen Schadstoffe Blei und Cadmium werden im Immissionsmessnetz nicht durch den Staubbiederschlag, sondern durch Ermittlung des Schwebstaubs in der Luft erfasst. Nicht berücksichtigt

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

werden die im KDS als obligatorisch aufgeführten Messgrößen Nitrat und Sulfat im Schwebstaub. Die bundeseinheitliche Praxis bei der Überwachung der Immissionen ist die Grundlage für den Betrieb des Immissionsmessnetzes. Zur Qualitätskontrolle der Messergebnisse werden Ringversuche durchgeführt. Biologische Verfahren zur Untersuchung der Luftqualität wie z.B. die Exposition von Tabak oder das Verfahren der standardisierten Graskultur sind nicht Bestandteil des Immissionsmessnetzes. Die Niederschlagsmessungen im Immissionsmessnetz beschränken sich auf die kontinuierliche quantitative Bestimmung des Niederschlages.

### 2.3 Bioindikation

Zum Ökologischen Wirkungskataster der LfU gehören: Walddauerbeobachtung, Grünlanddauerbeobachtung, Dauerbeobachtung von Fließgewässerversauerung und Klonfichtenmessnetz. Die durch den Kerndatensatz empfohlenen Methoden der Bioindikation finden zum überwiegenden Teil Berücksichtigung. Ausnahmen bilden hierbei nur die Parameter Blattflächenindex und phänologische Aufnahmen der Vegetation. Letzteres erfolgt im Phänologiemessnetz des DWD (Kap. 6). Das Ökologische Wirkungskataster soll die raumzeitliche Verteilung Immissionswirkungen an Standorten mit Hintergrundbelastung erfassen. Dies wird dadurch gewährleistet, dass die Messstellen nach natürlichen Gegebenheiten und an den regional-typischen Nutzungsstrukturen des Raumes orientiert sind. Die Standorte der Walddauerbeobachtung sollten möglichst in naturnahen Waldbeständen und emittentfern liegen. Das Grünlanddauerbeobachtungsmessnetz sollte auf extensiv bewirtschafteten Flächen (vor allem Halbtrockenrasen sowie Streu- und Bergwiesen) konzentriert werden. Auch hier wurde auf Entfernung zu möglichen Emissionsquellen Wert gelegt. Folgende Akkumulationsindikatoren werden erfasst: Gräser und Kräuter, Bodenfauna und Heuschrecken. Das 30 Standorte umfassende Klonfichtenmonitoring ist an die Standorte der Grünlanddauerbeobachtung gebunden. Das Messnetz zur Beurteilung der Fließgewässerversauerung ist an Standorte der Bachoberläufe gebunden, die von land- oder forstwirtschaftlichen Abwässern unbeeinflusst sind.

Die Walddauerbeobachtung erfolgt im Ökologischen Wirkungskataster seit 1984 an 60 Standorten und orientiert sich an der Naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Die Untersuchungen konzentrieren sich auf der Ermittlung von Immissionswirkungen anhand geeigneter Reaktionsindikatoren (Baumschicht und Krautschicht) und Akkumulationsindikatoren (Baum- und Krautschicht, Bodenfauna, Vogeleier, Moose und

Flechten). Begleitend werden in regelmäßigem Turnus die Gehalte bestimmter Bodennährstoffe und Schadstoffe in der Bodenfestphase und -lösung ermittelt. Die Beobachtung des Kronenzustandes erfolgt in Anlehnung an die Arbeitsanweisung zur Terrestrischen Waldschadensinventur (TWI) in Baden-Württemberg (FVA Baden-Württemberg). Die Beobachter müssen zuvor eine Schulung an der Forstlichen Versuchsanstalt absolviert haben.

Das Moosmonitoring erfolgt auf den Flächen der Walddauerbeobachtung. Die im KDS für das Moosmonitoring vorgeschlagenen Schwermetalle werden untersucht. Darüber hinaus werden noch die Gehalte an organischen Schadstoffen in Moosen ermittelt. Ein Monitoring mit Pilzen ist im Ökologischen Wirkungskataster nicht vorgesehen. Flechtenkartierungen finden routinemäßig in einem Intervall von fünf Jahren im Rahmen der Walddauerbeobachtung statt. Dabei werden sowohl das Artenvorkommen als auch der Deckungsgrad der Flechten bestimmt. Passive Akkumulations- und Reaktionsindikator findet mit Kiefernadeln statt. Die aktiven Monitoringverfahren beschränken sich im Ökologischen Wirkungskataster auf das Klonfichten-Monitoring, welches kein Bestandteil des KDS ist. Es wird sowohl eine Bonitur der Klone durchgeführt als auch die Gehalte an Nährstoffen und Schwermetallen ermittelt.

### 2.4 Fazit

Durch die Metadatenerhebung im Pilotprojekt konnten die Parameter und Methoden, die in den sektoralen Messnetzen zur Umweltüberwachung an der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) und der Gesellschaft für Umwelterhebungen (UMEG) eingesetzt werden, zum überwiegenden Teil erfasst werden. Der Metadatenkatalog hat eine zentrale Funktion in der medienübergreifenden Umweltbeobachtung Baden-Württembergs. Der Abgleich mit dem Kerndatensatz der ökosystemaren Umweltbeobachtung (KDS) zeigte für die Messnetze Boden, Luft und Bioindikation eine hohe Übereinstimmung. Der überwiegende Anteil der KDS empfohlenen Parameter wird auch im Metadatenkatalog erfasst. Die im KDS enthaltene Erfassung der Struktur von Fließgewässern und stehenden Gewässern sind nicht Bestandteil des Metadatenkataloges und sollten ergänzt werden. Zur Bewertung der Aussagekraft von UB-Messdaten werden neben Metadaten auch Aussagen über ihre räumliche Repräsentativität benötigt. Hierfür werden geostatistische Verfahren (Kap. 4.2) und eine landschaftsökologische Raumgliederung (Kap. 4.1) benötigt.

### 3. Landschaftsökologische Raumgliederung

Die Qualität einer Raumgliederung hängt von der Verfügbarkeit und fachliche Eignung der Daten sowie des Rechenalgorithmus für den Verwendungszweck ab. Sind die Eignungskriterien erfüllt, kann die Raumgliederung zur Analyse, Planung und Optimierung von Umweltmessnetzen verwendet werden. Durch GIS-Verschneidung der Raumklassen mit den Messnetzgeometrien aus der Metadatenbank lässt sich beispielsweise die Landschaftsrepräsentanz von Umweltmessnetzen bestimmen und ihre ggf. vorhandenen geografischen Lücken aufweisen (Kap. 4.1).

Entsprechend der Raumgliederung Deutschlands für die Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder (Schröder et al. 2001 b) wurde in dem Pilotvorhaben eine landschaftsökologische Gliederung Baden-Württembergs erarbeitet (Schröder et al. 2002). Beide Gliederungen erfolgen anhand derselben landschaftsökologischen Merkmale, die mit Daten bestmöglicher räumlicher Differenzierung abgebildet und mit dem multivariat-statistischen Verfahren Classification and Regression Trees (CART) berechnet werden. CART ist das einzige kommerzielle Klassifikationsverfahren, das sehr große Datensätze über kategoriale (Datenschichten DS1 und DS2 in Tab. 1) und metrische Merkmale (DS 3 bis DS48 in Tab. 1) ohne Skalentransformation verarbeiten kann. Jede der 48 Eingangskarten wird als ArcInfo™-Grid mit einer Auflösung von 1 x 1 km (flächentreue Albers-Projektion) im GIS verwaltet. Die Berechnungen erfolgen mit dem CART-Modul des Statistik-Programms SPLUS™. Dabei wird die potenziell natürliche Vegetation (PnV) Baden-Württembergs, welche das ökologische Standortpotenzial ausdrückt, anhand der Klimaelemente Niederschlag, Globalstrahlung, Lufttemperatur und Verdunstung sowie durch die orografische Höhe und die Bodenarten statistisch näher gekennzeichnet. Daten über die hydrogeologischen Verhältnisse standen für die Berechnungen nicht zur Verfügung. Dies schränkt die Verwendung der Raumgliederung für die Landschaftsrepräsentanz-Analyse des Grundwassermessnetzes ein. Raumeinheiten, die sich in Bezug auf die 48 ökologischen Merkmale ähnlich sind, werden mit CART zu Klassen zusammengefasst. Ihre statistische und verbale Beschreibung entfällt hier aus Platzgründen.

Die mit Cart aus den Daten der Tabelle 1 berechneten Raumklassen werden kartografisch abgebildet (Abb. 1). Die Verknüpfung der Raumgliederungen Deutschlands und Baden-Württembergs kann durch Verschneidung im GIS und statistisch durch Kreuztabellierung erfolgen. Abbildung 2 zeigt am Beispiel der Raumklasse D 12 die räumliche Verknüpfung der

Gliederungen im GIS. Von den bundesweit 21 Raumklassen kommen in Baden-Württemberg 14 Raumklassen vor. 5 dieser 14 BW-Raumklassen sind auf einen Landesflächenanteil von < 1 % beschränkt. Die übrigen 9 Raumklassen bedecken zu unterschiedlich großen Anteilen über 99 % der Fläche Baden-Württembergs.

Für die Analyse und Bewertung von Umweltmessnetzen lassen sich die ökologischen Raumgliederungen Deutschlands und Baden-Württembergs komplementär nutzen:

1. Bundeslandesspezifischen Fragestellungen wird die Raumgliederung Baden-Württembergs zu Grunde gelegt.
2. Für ausschließlich bundesweite Fragestellungen wird entsprechend Zf. 1 die Raumgliederung des Bundes verwendet.
3. Sind Bundes- und Landesaufgaben betroffen, so gelten die Klassengrenzen der bundesdeutschen Raumgliederung.

Diese - im Wesentlichen 9 (s.o.) - Raumklassen können durch Verschneidung mit den Raumklassen Baden-Württembergs weiter untergliedert werden. Es ergibt sich daraus, dass die Klassen der BRD-Gliederung durch die Klassen der Baden-Württemberg-Gliederung räumlich differenziert werden. Wenn in Baden-Württemberg ein neues Messnetz geplant wird oder wenn ein Messnetz räumlich umstrukturiert werden soll und Berichtspflichten an den Bund zu leisten sind, könnte man die Verteilung von Messpunkten an der räumlichen Differenzierung der BW-Klassen innerhalb der D-Klassengrenzen vornehmen. Die Einrichtung von Erhebungsstandorten für die Ökologische Flächenstichprobe könnte beispielsweise für den Schwarzwald, als Vertreter der Raumklasse D 12, anteilig auf den Flächen BW 28 und BW 29 erfolgen, da diese zusammen den gesamten Schwarzwald abdecken (Abb. 2).

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Datenschicht (DS) Merkmal	Daten	
	Raumgliederung BRD	Raumgliederung BW (Abb. 1)
DS 1 Potenziell natürliche Vegetation	BfN 1:2.500.000 30 Vegetationseinheiten in Baden-Württemberg	Oberdorfer (1974) 1:900.000 60 Vegetationseinheiten in Baden-Württemberg
DS 2 Bodenarten	BÜK 1000 (BGR) 1:1.000.000	BÜK 200 (LGRB) 1:200.000
DS 3 Höhe über NN	UNEP GRID 1:1000.000	DGHM B.-W. (LfU) 30 x 30 m
DS 4 bis 15 monatl. Verdunstung 1961-1990	DWD, 1 x 1 km	
DS 16 bis 27 monatl. Niederschlag Jan.-Dez. 1961-1990		
DS 28 bis 39 monatl. Lufttemperatur Jan.-Dez. 1961-1990		
DS 40 bis 48 monatl. Globalstrahlung März-Nov. 1981-1999		

Tab. 1: Datengrundlagen der landschaftsökologischen Raumgliederungen BRD und Baden-Württemberg (aus Schröder et al. 2002)

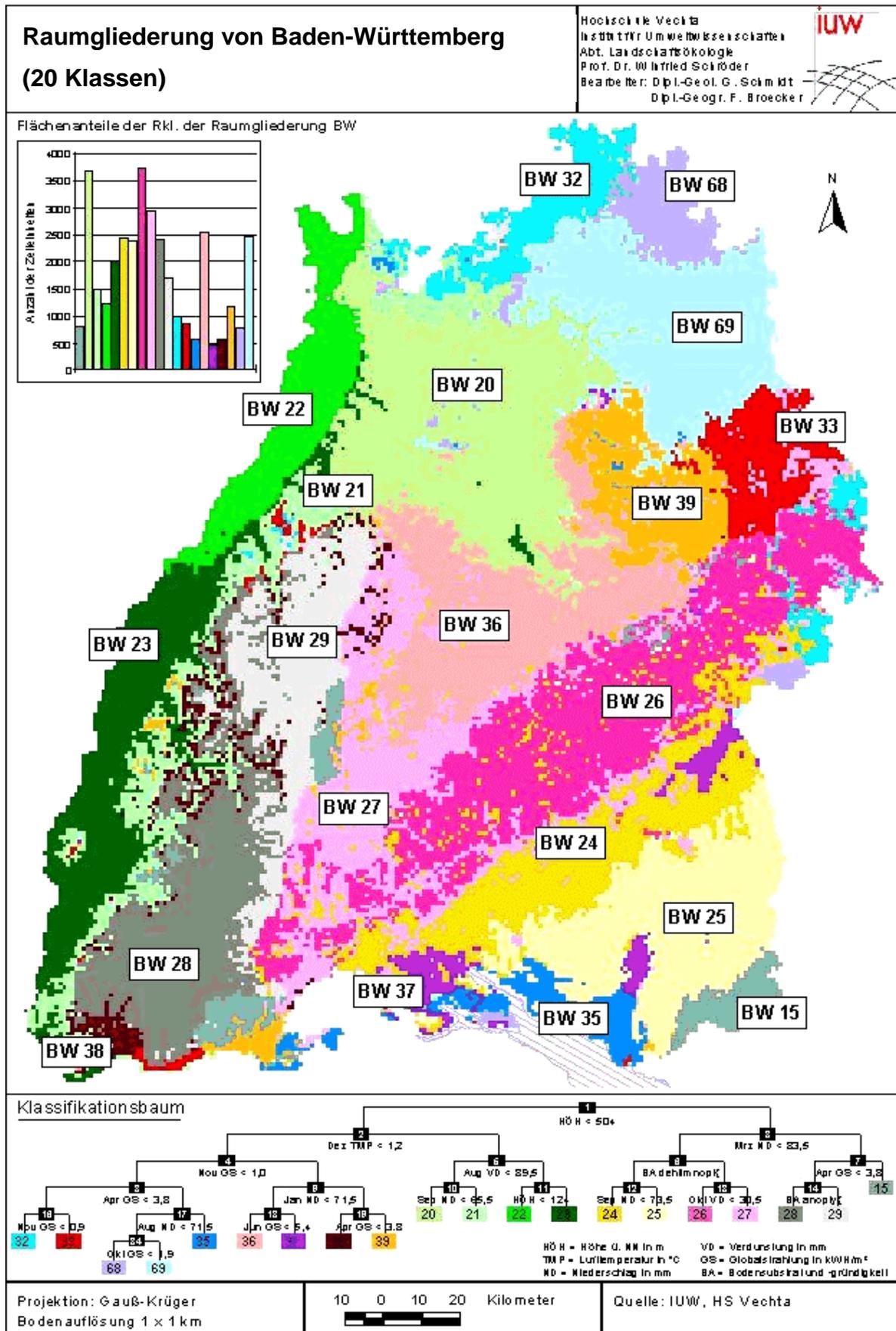


Abb. 1: Landschaftsökologische Raumgliederung Baden-Württembergs (aus Schröder et al. 2002)



### 4. Repräsentanzanalysen

Die Untersuchungen zur Repräsentativität von Umweltmessnetzen erfolgt durch die Prüfung der häufigkeitsstatistischen Landschaftsrepräsentanz der Messstandorte (Kap. 4.1) und durch die geostatistische Prüfung der Interpolierbarkeit der Messwerte (Kap. 4.2). Die Prüfung der Repräsentativität der Messstandorte basiert auf der landschaftsökologischen Raumgliederung. Die Ermittlung der Messdatenrepräsentanz erfolgt mit den geostatistischen Verfahren Variogrammanalyse und Kriging.

#### 4.1 Häufigkeitsstatistische Landschaftsrepräsentanz

Durch Verschneidung der Messnetzkarten mit einer ökologischen Raumgliederung wird ermittelt, in welchem Umfang die jeweiligen Raumklassen mit UB-Standorten belegt sind. Innerhalb einer Raumklasse sollten prozentual ebenso viele Messstationen eingerichtet sein, wie es dem Flächenanteil der Raumklasse an der Landesfläche entspricht. Liegen zu wenige UB-Messstellen vor, ist diese Raumklasse proportional unterbelegt, zu viele Messstellen dagegen kennzeichnen in diesem Sinne eine überproportionale Standortbelegung. Nimmt eine Raumklasse in Baden-Württemberg eine Fläche von 10 % an der Gesamtlandesfläche ein, so sollten auch 10 % aller Messstandorte der jeweiligen Messnetze in dieser Raumklasse verortet sein. Liegen dagegen nur 5 % aller Standorte der Messnetze innerhalb dieser Raumklasse, so ist diese Raumklasse durch die vorhandene Anzahl an Messstandorten um 50 % unterrepräsentiert. Nach diesem Ansatz der Flächen- / Stationenanzahl-Proportionalität wurde das Netz der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) hinsichtlich der räumlichen Landschaftsrepräsentanz überprüft. Anlass gab die bereits vollzogene Reduktion des Bodenmessnetzes von 153 Standorten (Grundmessnetz) auf 33 Standorte (Basismessnetz) (Nöltner 2000). Hierbei wurde die auf Baden-Württemberg und die auf das Bundesgebiet bezogene Repräsentanz der BDF berücksichtigt, jedoch gelangten keine statistischen Verfahren zum Einsatz. Dies wurde in dem Pilotprojekt zur medienübergreifenden UB nachgeholt. Wesentliche Ergebnisse sind folgende:

1. Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Grundmessnetzes sind in sechs Klassen der landschaftsökologischen Raumgliederung Baden-Württembergs angemessen repräsentiert.
2. Neun Raumklassen sind durch die BDF des Grundmessnetzes über- und fünf unterrepräsentiert ( $\pm 5\%$ ).

3. Der Anteil der Raumklassen mit angemessener Landschaftsrepräsentanz durch das Basismessnetz verdoppelt sich gegenüber dem Grundmessnetz auf 12 Raumklassen, gleichzeitig nimmt die Anzahl der unterrepräsentierten Raumklassen um zwei, die der überrepräsentierten um sieben Raumklassen im BDF-Basismessnetz ab.

Die Verteilung der BDF wurde also im Hinblick auf die Landschaftsrepräsentanz trotz Verminderung von 153 auf 33 Standorten verbessert. Dies garantiert jedoch nicht, dass damit die für die Umweltplanung wesentliche Übertragbarkeit von punktuell gewonnenen Messergebnissen in die Fläche gewährleistet ist. Hierfür liefert die Geostatistik Verfahren, welche nicht auf der Raumgliederung, sondern auf den Messdaten basieren.

#### 4.2 Geostatistische Messwertrepräsentanz

Nachdem die methodische Vergleichbarkeit der Messdaten anhand der Metadaten überprüft ist (Kap. 2), kann die statistische Messwertanalyse erfolgen. In den Umweltwissenschaften finden zunehmend die auf der Theorie regionalisierter Variabler (Matheron 1965, 1971) fußenden geostatistischen Verfahren Variogrammanalyse und Kriging Anwendung, seitdem sie erstmals in Deutschland von Fränzele und Killisch (1980) für die Analyse von Immissionsmessnetzen eingesetzt wurden. Mit den genannten geostatistischen Methoden lässt sich die Übertragbarkeit punktueller Messdaten in die Fläche prüfen. Ergibt sich dabei ein positives Prüfergebnis, dann lassen sich Messwerte aus nicht-kongruenten Monitoringnetzen für die mit der ökologischen Umweltbeobachtung angestrebte medienübergreifende Auswertung und Interpretation statistisch miteinander verknüpfen. Diesem Aspekt der Datenauswertung ist Kapitel 5 gewidmet.

Die Anwendung geostatistischer Verfahren unterstützt die Beantwortung folgender Fragen:

1. Lassen sich die an den Messstationen erhobenen Messdaten auf andere Orte des Untersuchungsraumes, an denen keine Messwerte registriert werden, übertragen?
2. Wie zuverlässig ist die Interpolation der punktuellen Messdaten in die Fläche?

Nach der Theorie regionalisierter Variabler ist die Übertragbarkeit der an einem ausgewählten Messstandort erhobenen Daten auf seine Umgebung ist nur dann gegeben, wenn die Messwertvarianz mit dem Messstellenabstand autokorreliert ist (s.u.). Dies wird

mit der Variogrammanalyse kontrolliert. Sind die Messdaten autokorreliert, werden sie mit dem Kriging-Verfahren flächenhaft regionalisiert. Für jeden interpolierten Wert kann gleichzeitig die Schätzvarianz als Maß für die Zuverlässigkeit dieses Schätzwertes angegeben werden. Regionen mangelnder Informationsdichte können anhand ihrer hohen Schätzvarianz identifiziert werden (Webster und Oliver 2001). Auf diese Weise wurden folgende Daten geostatistisch analysiert: SO<sub>2</sub> (1992 bis 2000), NO<sub>2</sub> (1992, 1995, 1998, 2000) sowie Pb im Schwebstaub (1992, 1995, 1998, 2000) und in Moosen (1990, 1995). Je nach Erhebungsjahr und Messgröße schwankt die Zahl der zur Berechnung der Belastungskarten verwendeten Messstandorte zwischen 71 (NO<sub>2</sub>, 2000) und 52 (Blei im Schwebstaub, 1992). Die Variogramme legen eine Kriging-Interpolation nahe, da eine hinreichende entfernungsabhängige Autokorrelation der Messwerte bei jeder der vier Messgrößen SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> und Pb im Schwebstaub und in Moosen nachgewiesen werden konnte. Während das Moosmessnetz ausschließlich emittentenferne Hintergrundwerte erfassen soll, kommt bei den anderen zusätzlich die Überwachung städtisch geprägter Räume hinzu. Die Reichweite der Autokorrelation schwankt je nach Messgröße und Jahr zwischen 50 und 80 km. Messwerte von Standorten jenseits dieser Entfernung werden zur Berechnung der interpolierten Schätzwerte nicht mehr berücksichtigt. Die in die Fläche interpolierten Daten wurden mit einer Auflösung von jeweils 2 x 2 km kartografisch im GIS abgebildet.

Die Messwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration sinken landesweit. Während 1992 noch im Mittel Konzentrationen von rd. 11 µg/m<sup>3</sup> (Maximum bei 34 µg/m<sup>3</sup> in Kehl/Hafen) gemessen werden, verringern sich die Gehalte kontinuierlich bis ins Jahr 2000 um 54 % auf im Mittel nur noch 5 µg/m<sup>3</sup>. Die höchsten Konzentrationen an den Stationen in den Ballungszentren des Oberrheintalgrabens (Kehl bis Mannheim) sowie im Stuttgarter Raum gemessen (Abb. 3). Gemäß der Richtlinie des Rates 80/779/EWG vom 15. Juli 1980 über Grenzwerte und Leitwerte der Luftqualität für Schwefeldioxid und Schwebstaub liegt der Grenzwert der SO<sub>2</sub>-Belastung lt. Artikel 10 bei 120 µg/m<sup>3</sup> (als Median aller während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte), wobei der 98 %-Wert der Summenhäufigkeit aller während des Jahres gemessenen Tagesmittelwerte den Wert von 350 µg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten darf. Gemäß der TA Luft liegen diese Grenzwerte ein wenig höher bei 140 bzw. 400 µg/m<sup>3</sup>. Eine Überschreitung dieser Grenzwerte wurde nach Auswertung der zugehörigen Datenbanken von keiner Station des Messnetzes zu keinem Zeitpunkt registriert.

Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen gehen im Gesamtmeszeitraum leicht zurück. Die höchsten Meswerte wer-

den in den Ballungsgebieten gemessen (Stuttgart bis zu 72 µg/m<sup>3</sup>, Karlsruhe bis zu 54 µg/m<sup>3</sup>, Mannheim bis zu 50 µg/m<sup>3</sup>). Die geostatistische Flächenschätzung zeigt, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in den ländlichen Gegenden über die Jahre leicht abnehmen, während sie im Umkreis der Großstädte unvermindert hoch bleiben, sich aber im Laufe des Darstellungszeitraumes stärker auf die Siedlungszentren konzentrieren. So werden beispielsweise auf der Schwäbischen Alb an der Station Erpfingen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen um 7 bis 8 µg/m<sup>3</sup>, in Freudenstadt im Niederen Schwarzwald 14 bis 17 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Der Grenzwert der EG-Richtlinie 85/203/EWG von 50 µg/m<sup>3</sup> wird teilweise überschritten (s.o.), alle Messwerte bewegen sich jedoch noch unterhalb des Grenzwerts der TA Luft (80 µg/m<sup>3</sup>).

Die Pb-Konzentrationen im Schwebstaub gehen im Gesamtmeszeitraum deutlich zurück. In 6 Jahren sanken die atmosphärischen Bleigehalte im Schwebstaub bis 1998 um 70 %. Die höchsten Belastungen wurden 1992 aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und der Besiedlungsdichte erwartungsgemäß in den urbanen Ballungsgebieten gemessen (Stuttgart bis zu 77 ng/m<sup>3</sup>, Karlsruhe bis zu 134 ng/m<sup>3</sup>, Esslingen bis zu 111 ng/m<sup>3</sup>). 1998 konnten diese Konzentrationen in all diesen Regionen auf rund 25 ng/m<sup>3</sup> gesenkt werden. Im dünn besiedelten Hinterland dagegen werden auch bereits 1992 relativ geringe Gehalte gemessen: Freudenstadt (23 ng/m<sup>3</sup>), Villingen (39 ng/m<sup>3</sup>). Diese Grenzwerte für Pb im Schwebstaub (EG, TA Luft: 2.000; WHO: 500-1.000 ng/m<sup>3</sup>) werden an allen Standorten deutlich unterschritten, 1998 liegen die Werte im Durchschnitt sogar nur bei einem Hundertstel der erlaubten Konzentrationen. Die Pb-Gehalte in Moosen nehmen von 1990 bis 1995 landesweit ab. Demgegenüber steht die Bildung von regionalen Zunahmen der Pb-Akkumulation, vor allem im Bereich des Schwarzwaldes und des Welzheimer Waldes.

Tabelle 2 zeigt das Ergebnis der Verschneidung der Raumgliederung Baden-Württembergs mit den zuvor beschriebenen Immissionskarten. Dieser Vergleich soll aufzeigen, ob es Raumklassen gibt, in denen es gegenüber dem Landesdurchschnitt besonders hohe negative oder positive Abweichungen gibt. Eine überdurchschnittliche Bleiakкумуляtion in den Moosen muss in den Raumklassen BW 39 (Schwäbisch-Fränkischer Wald) sowie BW 28 und BW 29 (Hoch- und Niederer Schwarzwald) festgestellt werden. Hier sind die Bleikonzentrationen in den Moosen 1995 teilweise doppelt so hoch wie im Landesmittel. Während im Nördlichen Schwarzwald (BW 29) die Pb-Gehalte im Jahr 2000 von 16 auf 7 ppm zurückgegangen sind und fast den Landesdurchschnitt erreicht haben, bleiben die Gehalte in den Raumklassen BW 28 und BW 39 ver-

gleichsweise hoch. Relativ hohe SO<sub>2</sub>-Immissionen werden für die Raumklasse BW 22 (Nördlicher Oberrheintalgraben) beobachtet. Sowohl 1995 als auch 2000 sind die Konzentrationen hier fast doppelt so hoch wie im Landesdurchschnitt. Dies geht offensichtlich auf die Konzentration vieler Industriestandorte und auf die hohe Siedlungs- und Verkehrsdichte in dieser urban geprägten Region zurück, in der sich entlang des Rheins die Städte Kehl, Karlsruhe und Mannheim aneinander reihen.

**Fazit**

Der Vergleich der Entwicklung der Immissionen in Baden-Württemberg führt zu einem geteilten Bild: Für die Luftschadstoffe Schwefeldioxid sowie Blei im Schwebstaub kann ein deutlicher Rückgang (Verminderung um 60 bis 70 %) von Beginn der 90er-Jahre bis in die Gegenwart verzeichnet werden. Hier greifen offensichtlich die Immissionschutzmaßnahmen. Ganz anders dagegen fällt die Entwicklung der Stickoxidbelastung in der Atmosphäre aus. Hier ist kein Trend hin zu einer Emissionsreduzierung der Stickoxide zu beobachten. Lediglich in dünnbesiedelten Räumen werden geringere Stickoxidkonzentrationen registriert, an Verkehrswegen im Innenstadtbereich von größeren Städten ist die Konzentration gleichbleibend hoch geblieben.

RK	Moos Pb 1995	Abw. (%) *	Moos Pb 2000	Abw. (%) *	Staub Pb 1995	Abw. (%) *	SO <sub>2</sub> 1995	Abw. (%) *	SO <sub>2</sub> 2000	Abw. (%) *	NO <sub>x</sub> 1995	Abw. (%) *	NO <sub>x</sub> 2000	Abw. (%) *
15	9	-10	5	-17	32	8	6	20	4	0	26	4	21	-5
20	10	0	6	0	31	5	7	40	5	25	32	28	29	32
21	15	50	10	67	32	8	6	20	4	0	25	0	25	14
22	8	-20	7	17	34	15	9	80	7	75	32	28	29	32
23	14	40	8	33	34	15	6	20	5	25	26	4	25	14
24	10	0	3	-50	28	-5	5	0	4	0	25	0	22	0
25	7	-30	4	-33	32	8	5	0	4	0	30	20	22	0
26	11	10	4	-33	27	-8	5	0	4	0	23	-8	22	0
27	10	0	4	-33	24	-19	5	0	4	0	24	-4	22	0
28	18	80	11	83	28	-5	5	0	4	0	23	-8	23	5
29	16	60	7	17	24	-19	4	-20	4	0	21	-16	19	-14
32	8	-20	6	0	29	-2	5	0	3	-25	24	-4	22	0
33	12	20	6	0	28	-5	6	20	6	50	26	4	25	14
35	7	-30	5	-17	35	19	6	20	4	0	28	12	26	18
36	9	-10	4	-33	34	15	6	20	5	25	31	24	27	23
37	6	-40	4	-33	34	15	6	20	4	0	27	8	23	5
38	12	20	9	50	30	2	5	0	4	0	23	-8	21	-5
39	21	110	10	67	28	-5	5	0	4	0	22	-12	21	-5
68	9	-10	5	-17	25	-15	4	-20	3	-25	20	-20	19	-14
69	8	-20	6	0	26	-12	4	-20	3	-25	23	-8	22	0
<b>Med.</b>	<b>10</b>		<b>6</b>		<b>30</b>		<b>5</b>		<b>4</b>		<b>25</b>		<b>22</b>	

\* Abweichung des Medians vom Mittel des Landesdurchschnitts

Tab. 2: Mediane der SO<sub>2</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen sowie Pb-Gehalte (Schwebstaub, Moos) in den landschaftsökologischen Raumklassen Baden-Württembergs (aus Schröder et al. 2002)

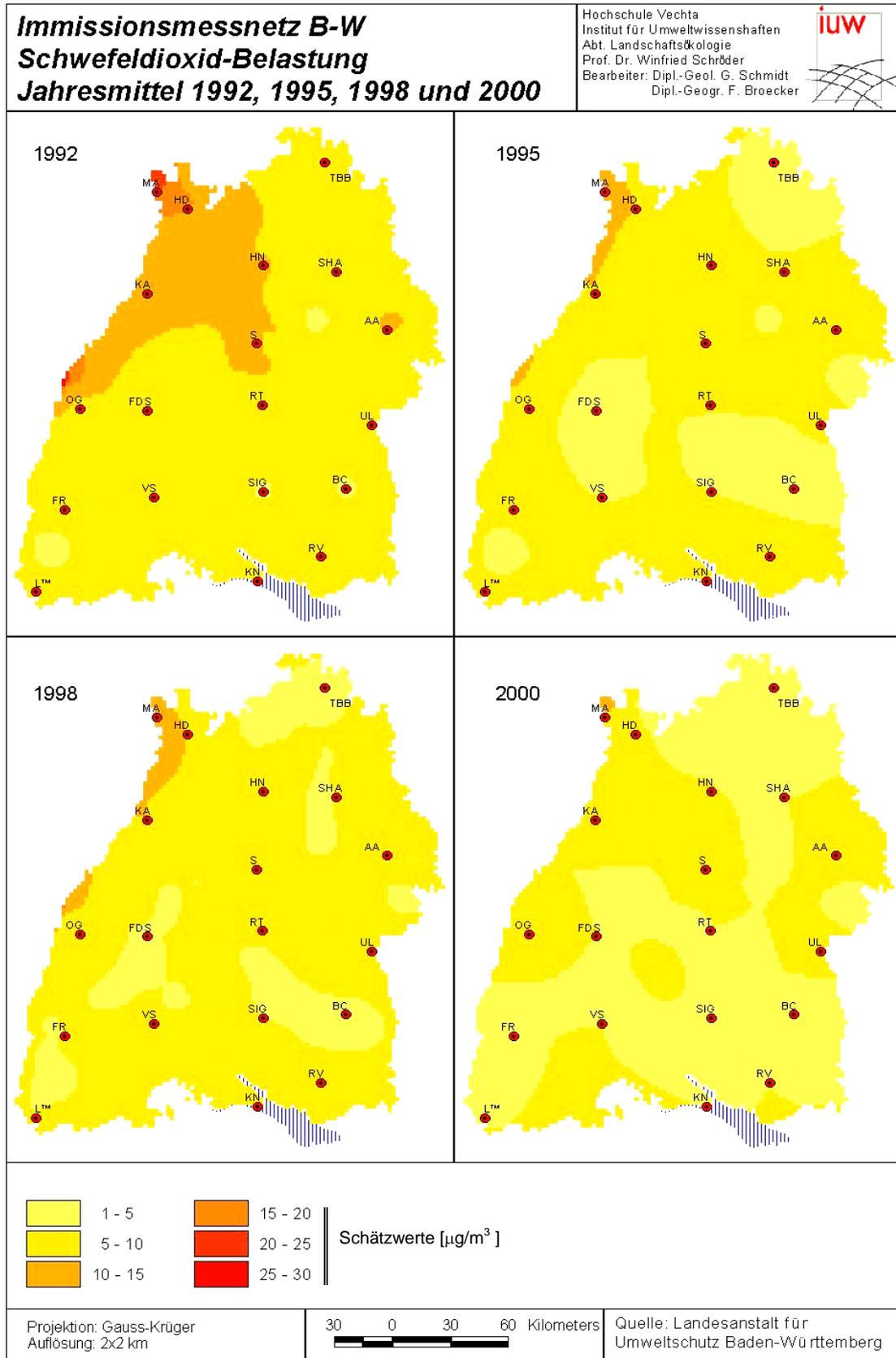


Abb. 3: SO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen 1992 bis 2000 in Baden-Württemberg (aus Schröder et al. 2002)

### 5. Wirkungs- und Transferszenarien

In Kapitel 5 werden punkthafte Messdaten und Metadaten sowie ökologische Flächeninformationen für die Umweltmedien übergreifende Analyse und Interpretation beispielhaft miteinander verknüpft. Hierbei werden in dem ersten Anwendungsbeispiel Teilräume Baden-Württembergs identifiziert, deren Belastbarkeit gegenüber Stoffeinträgen gering ist (Kap. 5.1). In den beiden weiteren Auswertungen wird zum einen anhand der Waldzustandserhebung überprüft, ob mit beispielhaft ausgewählten Daten der Wald-Dauerbeobachtung sowie anderer Umweltmessnetze übergreifende Aussagen zur Umweltqualität sowie zum Wirkungspfad Atmosphäre-Boden-Pflanze abgeleitet werden können (Kap. 5.2). Zum anderen wird beispielhaft die Gewässerqualität baden-württembergischer Fließgewässer anhand von Untersuchungen an Bachforellen ausgewertet (Kap. 5.3).

#### 5.1 Schwermetallaustrag

Bei der Ausweisung der Risikoflächen werden einige zur Raumgliederung verwendeten Flächendaten miteinander verschritten. Diese Karten beschreiben die räumliche Differenzierung der potenziellen Belastbarkeit. Sie werden mit flächenhaften Daten zur Belastung überlagert, die durch Kriging-Interpolation der ebenfalls im GIS integrierten Messdaten abgeleitet wurden (Kap. 4). Im Anschluss wird anhand der Metadaten (Kap. 2) geprüft, ob auf den durch die Verknüpfung von Karten der Belastbarkeit und Belastung identifizierten Teilflächen Messstandorte relevanter Umweltmessnetze vorhanden sind. Schließlich wird kontrolliert, ob die hier erhobenen Daten in einer fachlich sinnvollen Art und Weise für eine Messnetz übergreifende Analyse ausgewertet werden können. Dies geschieht ebenfalls anhand der mit dem digitalen Fragebogen erhobenen Metadaten, die durch gezielte Abfragen ausgewertet werden. Auf diese Art werden die im GIS vorhandenen Flächendaten, Messdaten und Metadaten beispielhaft nach inhaltlichen und räumlichen Kriterien verknüpft. Inhaltliche und geographische Lücken der für die Fragestellung wichtigen Umweltmessnetze lassen sich so ggf. feststellen.

Ein erhöhter Eintrag von Schwermetallen aus der Atmosphäre über den Boden in das Grundwasser kann durch folgende Eingangsgrößen beschrieben werden:

1. Flächenhafte Angaben zum Retentionsvermögen und zum Auswaschungspotenzial der Böden (hydraulische Durchlässigkeit, Pufferkapazität) sowie zur Landnutzung und Niederschlagsmenge,

2. flächenhafte Angaben zur Immissionssituation (Konzentration von SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub> 1995 und 2000, Blei im Schwebstaub 1995 sowie Akkumulation von Blei in Moosen 1995 und 2000.

Zur Operationalisierung der oben beschriebenen Gefährungskriterien wurden Teilflächen mit folgenden Merkmalen aus Flächenkarten des GIS ÖUB selektiert:

1. Böden mit sehr geringer bis mittlerer Pufferkapazität für Säuren auf Waldflächen (abgeleitet aus der BÜK 200 Baden-Württemberg; LGRB, Freiburg);
2. Böden mit hoher bis mäßiger hydraulischer Durchlässigkeit in Locker- und Festgestein (abgeleitet aus der GÜK 350 Baden-Württemberg; LGRB, Freiburg);
3. Jahresniederschläge von über 900 mm/a, die unter sonst gleichen Randbedingungen die Auswaschung der Schwermetalle mit dem Sickerwasser verstärken (1 x 1 km-Grid des DWD, Offenbach). Die so gekennzeichneten Flächen wurden mit den Immissionskarten (Kap. 4) verknüpft.

Etwa 3,5 % (ca. 1.200 km<sup>2</sup>) der Fläche Baden-Württembergs weisen die unter (1) bis (3) beschriebenen Eigenschaften auf. Die Risikoflächen konzentrieren sich insbesondere auf den Nördlichen Schwarzwald (42 % Flächenanteil an der Raumklasse BW 29) und auf die Kristallingebiete des Odenwalds (9 % Flächenanteil an Raumklasse BW 21). Anhand der Metadaten (Kap. 2) wird geprüft, ob sie mit Messstellen fragestellungsrelevanter Umweltmessnetze besetzt sind. Dabei wurden alle Messstandorte im Umkreis von 2 km außerhalb der identifizierten Teilräume einbezogen, deren Messdaten eine empirische Verifikation des Gefährdungsszenarios gestatten.

Auf den für den Schwermetalleintrag gefährdeten Flächen befinden sich insgesamt neun BDF. Hier werden die für die Bilanzierung des Austrages von Schwermetallen ins Grundwasser nötigen Messgrößen nur z.T. erfasst. Es fehlen insbesondere die Angaben zur Menge und Qualität des Ein- und Austrages (Kap. 2.1). Auf den Risikoflächen befinden sich drei Depositions- und vier Immissionsmessstellen. Da in der Deposition keine Schwermetalle bestimmt werden, kann zur vorliegenden Fragestellung unmittelbar nichts beitragen werden. Allerdings können die aus Depositionsmessungen bestimmbaren Säureeinträge (in Form von Sulfat und Nitrat) wertvolle Hinweise zur Versauerungsgefährdung liefern, da der Schwermetallaustrag im hohen Maß vom pH-Wert des Bodens abhängig ist.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Im Rahmen der Immissionsmessungen wird der Schwebstaub quantitativ erfasst. Dabei werden auch die Schwermetalle Blei, Cadmium und Nickel nachgewiesen. Ferner befinden sich auf den Risikoflächen vier Moosmonitoring-Standorte, an zwei weiteren werden in der Wald-Dauerbeobachtung umfangreiche Untersuchungen zur Schwermetallanreicherung in der Kraut- und Baumschicht sowie begleitend dazu auch im Boden durchgeführt. Hingegen wird an den 12 Messstellen der Fließgewässer-Dauerbeobachtung Aluminium in der Leber von Bachforellen untersucht. Die Belastung des Grundwassers mit Schwermetallen wird im Grundwasserbeschaffenheits-Messnetz untersucht. Vollständige Meta- und Lageinformationen liegen vor. Im Grundwasserbeschaffenheits-Messnetz, welches sich aus den Teilmessnetzen "Basis", "Rohwasser" und "Emittenten" zusammensetzt, werden folgende Schwermetalle in regelmäßigen Abständen überprüft: Chrom (DIN EN ISO 11885), Kupfer, Nickel, Zink, Blei, Cadmium, Quecksilber (alle nach DIN 38406-E12). Innerhalb der Risikoflächen befinden sich ca. 70 Grundwasser-Messstellen.

### Fazit

Die alleinige Messung von Luftinhaltsstoffen reicht zur Indikation und Bewertung stofflicher Umweltbelastungen nicht aus. Bodendauerbeobachtung und ökologische Wirkungskataster sind deshalb unverzichtbar für eine ökologische Umweltzustandserfassung und -bewertung.

### 5.2 Walddauerbeobachtung

Die Walddauerbeobachtung im Ökologischen Wirkungskataster erfolgt seit 1984 an 60 Standorten. Anhand geeigneter Reaktionsindikatoren (Baumschicht und Krautschicht) und Akkumulationsindikatoren (Baum- und Krautschicht, Bodenfauna und Moose) sollen insbesondere Immissionswirkungen untersucht werden. Begleitend werden in regelmäßigem Turnus die Gehalte bestimmter Bodennährstoffe und Schadstoffe in der Bodenfestphase und -lösung ermittelt. Die Beobachtung des Kronenzustandes erfolgt in Anlehnung an das Formblatt der EU-Kommission zur Terrestrischen Waldzustandsinventur (TWI). Im folgenden Beispiel wird versucht, statistisch Zusammenhänge zwischen abiotischen Standortbedingungen (Immissionen, Bodeneigenschaften und -gehalte) und Blatt-, Nadel-, Krautschicht- und Moosgehalten sowie Blatt- / Nadelverlusten der Baumbonitur beispielhaft für das Schwermetall Blei aufzudecken. Hierfür standen u.a. folgende Informationen zur Verfügung:

1. Waldschadensinventur an den Wald-DBF 1996: 60 Standorte mit Angaben zu Blatt-/Nadelverlusten, Stoffgehalten in Baum- und Krautschicht;
2. Bodenerhebung an den Wald-DBF 1994: 60 Standorte mit Angaben über chemisch-physikalische Bodenmerkmale sowie Stoffgehalten in Oberboden und Auflage;
3. Collembolen-Zählung im Boden an den Wald-DBF 1997: 60 Standorte mit Angaben über Vorkommen und Artenzusammensetzung der Springschwänze im Boden;
4. Moosmonitoring an den Wald-DBF 1995/96: 60 Standorte mit Angaben über Bleigehalte in Moosen;
5. Immissionsmessnetz VIKOLUM 1995: Schwefeldioxid, Stickoxid, Blei im Schwebstaub;
6. Grundwasserbeschaffenheits-Messnetz 1995: Bleigehalte im Grundwasser. Synchroner Aufnahmen zu allen Messgrößen standen nicht zur Verfügung. Deswegen umfasst die auszuwertende Datenbank Messwerte aus dem Zeitraum 1994 bis 1997.

Ein Vergleich der für die 60 Standorte der Dauerbeobachtung ermittelten Immissionswerte zeigt für den Gehalt an Blei im Schwebstaub wie für das gesamte Landesgebiet eine deutliche Abnahme der Belastung (Median 1995: 30 ppm, Median 2000: 19 ppm). Die Schwefeldioxid-Konzentration ist für beide Erhebungszeiträume auf einem relativ niedrigen Niveau von im Mittel 4 bis 5 ppm. Eine deutliche Abnahme der Stickoxidbelastungen ist nur für die Regionen außerhalb des Schwarzwaldes, etwa im Südwesten der Schwäbischen Alb zu erkennen, im Mittel nahm die NO<sub>x</sub>-Belastung von 1995 bis 2000 nur von 26 auf 23 ppm ab. Untereinander korrelieren die Werte der Immissionsbelastung deutlich (Korrelationskoeffizienten zwischen 0,6 und 0,75), d.h. an Stellen, wo hohe Schwefeldioxidkonzentrationen in der Atmosphäre gemessen werden, findet man auch hohe Stickoxid- und Bleiwerte im Schwebstaub (Tab. 2). Die Bleibelastung in den Nadeln der jeweiligen Bäume korreliert mit rund 0,6 recht gut mit den Gehalten in der Krautschicht am gleichen Standort. Auch die Schwebstaubgehalte in der Atmosphäre weisen auf einen statistischen Zusammenhang zwischen Eintrag von Blei als trockener Deposition und Akkumulation in den Pflanzen hin (Koeffizient 0,34 bzw. 0,5). Ein direkter Bezug zwischen mobilem Blei im Bodensickerwasser des Standorts und den entsprechenden Nadelgehalten lässt sich durch den direkten Vergleich nicht ablesen. Die

stellenweise extrem hohen Bleigehalte im Oberboden und in der Auflage eines Standorts finden sich in der Regel nicht in den Blattorganen wieder. Dagegen korrelieren die Bleigehalte im Moos 1995 wesentlich besser mit den entsprechenden Bodengehalten von 1994, hier konnte ein Korrelationskoeffizient von 0,63 ermittelt werden. Einen deutlichen Ausschlag in der Bleigehaltskurve ist z.B. für die Standorte Welzheim (Nr. 220, nordöstlich von Stuttgart) sowie Murgschifferschaft (Nr. 370, Nordrand des Schwarzwalds) festzustellen. Ein Jahr nachdem hier extrem hohe Bleikonzentrationen im Bodensickerwasser der Auflage gemessen wurden (93 bzw. 209 ppm), stiegen auch die Gehalte in den Moosen deutlich an (48 bzw. 43 ppm). Offensichtlich ist es hier durch Bodenaufwirbelung zur Aufnahme der hohen Bleikonzentrationen gekommen.

Ob ggf. hohe Gehalte im Boden auch im Grundwasser nachgewiesen werden können, wurde durch einen Abgleich des Walddauerbeobachtungsmessnetzes mit dem Grundwasserbeschaffenheitsmessnetz geprüft. Dazu wurden im GIS jeweils zu Bioindikationsstandorten benachbarte Grundwassermessstellen ermittelt. Der zuvor beschriebene Befund an Messstelle 220 (Welzheim) konnte auch im Grundwasser der etwa 2 km entfernt lokalisierten Grundwassermessstelle festgestellt werden. Im Vergleich zu den meisten anderen Standorten, an denen überhaupt ein Messwert vorlag, der zugleich nicht unterhalb der Nachweis-

grenze lag, konnten hier deutlich angestiegene Bleigehalte analysiert werden. Ansonsten sind die Bleigehalte im Grundwasser an allen Messstellen so gering, dass sie in der Regel nicht mehr quantitativ bestimmbar sind (< 0,0001 ppm).

Eine Verknüpfung der pH-Werte der Bodenlösung mit Kationengehalten zeigt eine deutliche Korrelation zwischen Ionengehalt und dem Sickerwassermilieu: Je höher der pH-Wert, desto höher ist gleichzeitig auch der Mg-Gehalt im Boden (0,63) und desto niedriger die Metallkonzentration (pH / Al: -0,69). Bei niedrigem pH-Wert erhöhen sich entsprechend die Blei- und Aluminiumgehalte in Folge von Hydrolyse und Kationenaustausch an der Oberfläche der Tonminerale. Relativ niedrige pH-Werte sind an den Standorten im Nordschwarzwald anzutreffen, hohe erwartungsgemäß in der karbonatreichen Region der Schwäbischen Alb.

Zur Analyse der Zusammenhänge zwischen Nährstoffangebot im Boden und in der Pflanze wurden die Magnesium- und Calciumgehalte an den einzelnen Standorten verglichen. Demnach ist eine deutliche Korrelation zwischen hohen Nährstoffkonzentrationen im Boden und in den Blättern des Baums bzw. in der Krautschicht feststellbar, am deutlichsten im Vergleich der Calcium-Konzentrationen (Korrelationskoeffizienten Mg 0,44 bis 0,58; Ca 0,63 bis 0,83) (Tab. 3).

Parameter Korrelation	Bonitur 1995	pH 1994	KAK <sub>eff</sub> 1994	Humus 1994	C/N 1994	Ca Nadel 1996	Ca Kraut 1996	Ca Boden 1994	Ca Aufl. 1994	Mg Nadel 1996	Mg Kraut 1996	Mg Boden 1994	Mg Aufl. 1994	Al Boden 1994	Al Aufl. 1994
Bonitur 1995	1,00	-0,08	-0,03	0,23	0,14	-0,09	-0,04	-0,14	-0,20	-0,08	0,03	0,07	-0,19	0,39	-0,05
pH Boden 1994		1,00	0,88	0,39	-0,47	0,65	0,71	0,87	0,80	0,59	0,71	0,63	0,73	-0,69	0,49
O'Boden KAK <sub>eff</sub> 1994			1,00	0,66	-0,28	0,53	0,55	0,96	0,64	0,39	0,48	0,59	0,60	-0,38	0,55
O'Boden Humus 1994				1,00	0,32	0,06	0,09	0,58	0,16	0,05	0,05	0,35	0,27	0,03	0,32
C/N Boden 1994					1,00	-0,43	-0,48	-0,33	-0,55	-0,39	-0,48	-0,20	-0,36	0,32	-0,19
Ca Nadel 1996						1,00	0,86	0,63	0,75	0,54	0,69	0,10	0,37	-0,61	0,41
Ca Kraut 1996							1,00	0,64	0,83	0,56	0,84	0,15	0,34	-0,69	0,34
Ca Boden 1994								1,00	0,70	0,37	0,49	0,42	0,54	-0,60	0,53
Ca Aufl. 1994									1,00	0,48	0,73	0,30	0,56	-0,61	0,28
Mg Nadel 1996										1,00	0,81	0,54	0,58	-0,41	0,25
Mg Kraut 1996											1,00	0,44	0,57	-0,59	0,24
Mg Boden 1994												1,00	0,64	-0,37	0,32
Mg Aufl. 1994													1,00	-0,34	0,60
Al O'Boden 1994														1,00	-0,25
Al Aufl. 1994															1,00

Tab. 3: Korrelation zwischen Messgrößen der Walddauerbeobachtung und des Immissionsmessnetzes (aus Schröder et al. 2002)

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Zusammenhänge zwischen Waldzustand und Standortmerkmalen lassen sich mit den verwendeten korrelationsstatistischen Verfahren in vielen Fällen nicht belegen (Tab. 3). Wenn die Umweltdaten Baden-Württembergs einer umfassenden Auswertung zugeführt werden könnten, dann sollten multivariat-statistische Verfahren wie CART und CHAID sowie clusteranalytische Verfahren Anwendung finden.

### Fazit

An den 60 Wald-Dauerbeobachtungsmessstellen wurden 1996 durchschnittliche Blatt-/Nadelverluste von 25 % ermittelt. Der bivariate Vergleich mit unterschiedlichen Eintrags- und Konzentrationsmessungen in mehreren Ökosystemkompartimenten hat für die meisten Messgrößen keinen statistischen Zusammenhang zur Baumschädigung erbracht. Die Beziehungen zwischen Stoffeinträgen und Blatt- / Nadelverlust sind so vielschichtig, dass multivariat-statistische Verfahren genutzt werden müssten. Andererseits lassen sich diese Stoffkonzentrationen im Boden oder im Schwebstaub z.T. gut mit den in den Nadeln oder in der Krautschicht gefundenen Konzentrationen korrelieren. Damit werden Ergebnisse statistischer Auswertungen von bundesweiten Wald- und Bodenzustandsinventuren bestätigt (Wellbrock et al. 2003).

Die Erfassung von Luftinhaltsstoffen allein reicht zur Erfassung und Bewertung stofflicher Umweltbelastungen nicht aus. Bodendauerbeobachtung und ökologische Wirkungskataster sind deshalb unverzichtbar für eine ökologische Umweltzustandserfassung und -bewertung. In Zukunft sollte allerdings überprüft werden, ob eine gleichzeitige Datenerhebung zur Aufnahme der biotischen und pedologischen Kenn- und Schadensgrößen realisierbar ist, um eine bessere Vergleichbarkeit und Verknüpfbarkeit der an diesen Messstellen erhobenen Messdaten zu gewährleisten.

### 5.3 Fließgewässerversauerung in Baden-Württemberg

Im Ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg werden seit 1984 u.a. die Fließgewässerversauerung und ihre Auswirkungen auf die Fischfauna erfasst. Hierzu werden an insgesamt 40 Fließgewässersmessstellen in unterschiedlichen Zeitintervallen Untersuchungen zur Wasserchemie, zur Populationsdynamik von Bachforellen als Reaktionsindikator und zu Gehalten von Schadstoffen in Organen der Fische als Akkumulationsindikator vorgenommen. Im Folgenden werden exemplarisch einige Messgrößen herausgegriffen und statistisch analysiert. Dabei werden auch Ergebnisse aus bestehenden Messnetzen aus den Berei-

chen Boden, Luft und Wasser sowie folgende Flächen-daten verknüpft: die lithogenen Gegebenheiten in den Gewässer-Einzugsgebieten der Fließgewässer-Messstellen (Geologische Einheiten und Tektonik, Maßstab 1:350.000, LGRB), Säure-Pufferkapazität der Böden (Maßstab 1:200.000, LGRB) und Landnutzung (1993). Die Schwefeldioxid- und Stickoxid-Konzentrationen wurden flächendeckend für die Jahre 1992, 1995 und 2000 geostatistisch abgeleitet (Kap. 4.2). Trotz Abnahme der Schwefeldioxid-Konzentrationen in den 1990er Jahren sind die Gewässer-Einzugsgebiete der Messstellen im Odenwald den landesweit stärksten SO<sub>2</sub>-Konzentrationen ausgesetzt. Die Stickstoffdioxid-Belastung ist in den vergangenen Jahren leicht rückläufig. Auch hier wird eine erhöhte Exposition der Gewässer-Einzugsgebiete im Odenwald offensichtlich.

Die Messstellen der Gewässer-Einzugsgebiete in Oberschwaben, in der Schwäbischen Alb und im Keuperbergland sind im Frühjahr nicht von Gewässerversauerung betroffen, von 1987 bis 2000 sinkt der pH-Wert nicht unter 7. Zum anderen ist eine positive Entwicklung der pH-Werte in den versauerungsgefährdeten Gebieten der von Odenwald sowie Nord-, Mittel- und Südschwarzwald zu beobachten. Dies ist vermutlich auf den Rückgang der SO<sub>2</sub>-Immissionen zurückzuführen. Bis auf eine Ausnahme (Mst 400) erreichen alle im Südschwarzwald gelegenen Fließgewässersmessstellen im Jahr 2000 einen neutralen pH-Wert.

Neben der Versauerung der Gewässer spielt die damit einhergehende Erhöhung der Löslichkeit von Aluminium-Ionen für aquatische Organismen eine entscheidende Rolle. Sinkt der pH-Wert calciumarmen Wassers unter 5 bei einer Al-Konzentration von 200 µg/l, so ist nach Untersuchungen von Marthaler (1995) die Mortalitätsrate einer Forellenbrut nach sieben Tagen bei 40 %. Steigt der Al-Gehalt des Wassers auf über 400 µg/l, so ist schon nach vier Tagen eine Absterberate von 55 % zu verzeichnen. Erhöhte Aluminium-Konzentrationen in sauren Gewässern können somit die frühen Entwicklungsstadien der Bachforelle schädigen und zum völligen Aussterben von Fischpopulationen führen.

Entsprechend dem engen Zusammenhang zwischen pH-Wert und Löslichkeit von Al<sup>3+</sup>-Ionen wurde die höchsten Al-Konzentrationen (> 0,2 mg/l) an den schlecht gepufferten, versauerten Messstellen des Nord- und Mittelschwarzwaldes im Frühjahr 1988 nachgewiesen. Die Messstellen der übrigen Gewässer-Einzugsgebiete in den Bereichen Oberschwaben, Schwäbische Alb und Keuperbergland haben bis auf eine Ausnahme (Mst 200) über den gesamten Untersuchungszeitraum keine oder nur leicht erhöhte Al-Kon-

zentrationen. Die Entwicklung der Aluminium-Konzentrationen ist nicht stetig über den gesamten Messzeitraum. Insgesamt hat durch die Verbesserung des Säurestatus der Gewässer auch die Belastung der Gewässer mit Aluminium abgenommen, auch wenn es sich bei den Messungen immer nur Momentaufnahmen handelt. Ein kontinuierliches hydrochemisches Fließgewässer-Monitoring zur Erfassung des Wasserzustandes ist nur durch einen hohen technischen und finanziellen Aufwand zu gewährleisten. Aus diesem Grunde nutzt man Bioindikatoren, deren Lebensfunktionen mit bestimmten Umweltfaktoren so eng verknüpft sind, dass sie dafür als Zeigerorganismen herangezogen werden können.

Der Zusammenhang zwischen Al-Konzentration im Wasser und den Anreicherungen von Aluminium in der Leber von Bachforellen konnte auch durch die Dauerbeobachtung der Fließgewässer in Baden-Württemberg festgestellt werden. Der Korrelations-Koeffizient zwischen der Al-Konzentration im Gewässer im Frühjahr 1995 und dem Al-Gehalt in der Leber von

Bachforellen bei der Befischung des gleichen Jahres betrug 0,55 (Tab. 4). Für das Jahr 2000 ergab sich ein Korrelations-Koeffizient von 0,61. Erwartungsgemäß zeigt sich, dass die Bachforellen an Messstellen der carbonatreichen, gut gepufferten Gewässer der Schwäbischen Alb, Oberschwabens und des Keuperberglandes keine erhöhten Al-Gehalte in den Lebern aufweisen. Die höchsten Aluminium-Anreicherungen in der Leber von Bachforellen wurden im Nord-schwarzwald nachgewiesen. An allen Messstellen ist bis zum Jahr 2000 allerdings eine rückläufige Tendenz zu erkennen, auch für die säuresensitiven Gewässer des Schwarz- und Odenwaldes.

Bis zum Jahr 1995 sind einige Messstellen im Bereich des Schwarzwaldes noch als stark sauer eingestuft worden, d.h. hier ergab die Befischung weder Jungfische noch wurde eine ausreichende Individuenzahl für das Gewässer ermittelt. Bis zum Jahr 2000 scheint landesweit eine Erholung der Bachforellen-Populationen eingetreten zu sein.

Korrelation Parameter 1995	Al Leber	Pb Leber	pH <sub>w</sub> Befisch.	pH <sub>w</sub> Schneeschmelze	Al <sub>w</sub> Schneeschmelze	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Pb Staub	Pb Moos
Al Leber	1,00	-0,10	-0,46	-0,61	0,64	-0,22	0,06	-0,23	0,43
Pb Leber		1,00	0,59	-0,10	0,22	0,56	0,65	0,39	0,05
pH <sub>w</sub> Befisch.			1,00	0,21	0,14	0,40	0,47	0,39	-0,01
pH <sub>w</sub> Schneeschm.				1,00	-0,70	-0,08	-0,27	0,02	-0,55
Al <sub>w</sub> Schneeschm.					1,00	0,44	0,62	0,19	0,59
NO <sub>x</sub>						1,00	0,87	0,59	-0,41
SO <sub>2</sub>							1,00	0,73	-0,23
Pb Staub								1,00	-0,01
Pb Moos									1,00

Korrelation Parameter 2000	Al Leber	Pb Leber	pH <sub>w</sub> Befisch.	pH <sub>w</sub> Schneeschmelze	Al <sub>w</sub> Schneeschmelze	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Pb Staub	Pb Moos
Al Leber	1,00	0,48	-0,60	-0,77	0,80	-0,08	0,43	-0,50	0,25
Pb Leber		1,00	-0,45	-0,26	0,14	-0,12	0,32	-0,08	0,37
pH <sub>w</sub> Befisch.			1,00	0,55	-0,58	0,11	-0,50	0,22	-0,10
pH <sub>w</sub> Schneeschm.				1,00	-0,67	-0,10	-0,42	0,27	-0,26
Al <sub>w</sub> Schneeschm.					1,00	0,01	0,37	-0,26	0,27
NO <sub>x</sub>						1,00	0,37	0,22	-0,21
SO <sub>2</sub>							1,00	-0,23	-0,05
Pb Staub								1,00	-0,06
Pb Moos									1,00

Tab. 4: Korrelationen zwischen Messgrößen des Fließgewässermonitoring und des Immissionsmessnetzes 1995/2000

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Im Grundwasser fanden sich pH-Werte unterhalb des unteren Trinkwasserverordnungs-Grenzwertes von 6,5 ausschließlich im Schwarzwald und im Odenwald. Durch die Grundwasser-Überwachung im Jahre 1998 konnte festgestellt werden, dass landesweit 9 von 223 Messstellen einen Maximalwert oberhalb der Trinkwasser-Verordnung von 0,2 mg/l Al hatten. Von diesen neun Messstellen befanden sich sieben im Bereich des Schwarz- oder Odenwaldes. Sechs Grundwasser-Messstellen befinden sich innerhalb oder in unmittelbarer räumlicher Nähe der Einzugsgebiete der Fließgewässer-Dauerbeobachtung. Weder die Fließgewässer noch die Grundwässer in diesen sechs Einzugsgebieten überschreiten im Jahre 1998 den Grenzwert für Aluminium von 0,2 mg/l.

Die Immissionsbelastung der Einzugsgebiete wurde bereits beschrieben. Aus den vorliegenden Daten konnte hinsichtlich der Gesamt-Deposition keine flächenhafte Abschätzung abgeleitet werden, da die Anzahl der Messstandorte zu gering ist (insgesamt werden 24 Depositions-Messstellen in Baden-Württemberg von der LfU betrieben). 1994 wurden auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen des Ökologischen Wirkungskatasters umfangreiche bodenphysikalische und -chemische Untersuchungen durchgeführt. Anhand dieser Bodenuntersuchungen auf Wald-DBF, die in den Einzugsgebieten liegen, soll der Zusammenhang zwischen dem Versauerungsgrad des Bodens und der Versauerung der Fließgewässer dargestellt werden. Die dafür in Frage kommenden Einzugsgebiete sind die der Messstellen 370 (Vorderer Seebach) und 390 (Waldsteinbach). Ein häufig verwendeter Versauerungs-Index ist das molare Verhältnis von Calcium zu Aluminium in der Bodenlösung. Bei einem Verhältnis unter 1 sind Wurzelschädigungen zu erwarten. Sinkt das Verhältnis unter 0,1, ist mit hohen Absterberaten im Feinwurzelbereich der Pflanzen zu rechnen. An beiden Wald-DBF konnten Ca/Al-Verhältnisse unter 0,1 festgestellt werden. Die Bodenversauerung bedingte somit eine erhöhte Mobilität von Aluminium. Dieser mobile Anteil kann durch Oberflächen- und Sickerwasserabfluss in Gewässer gelangen. Dementsprechend hohe Aluminiumgehalte konnten im Wasser im Frühjahr 1992 auch an den beiden Messstellen 370 und 390 nachgewiesen werden.

### Fazit

Die Fließgewässer-Dauerbeobachtung des ökologischen Wirkungskatasters liefert wichtige Informationen über den Zustand der Versauerung von kleinen Fließgewässern. Es zeigt sich, dass die noch Anfang der neunziger Jahre bestehenden Versauerungs-Probleme vor allem im Bereich der schlecht gepufferten,

säuresensitiven Gebiete Baden-Württembergs rückläufig sind. Die pH-Wert-Anhebung, die auf die nachlassende atmogene Zufuhr des Hauptsäurebildners Schwefeldioxid zurückzuführen ist, führte zur Erholung der Fischbestände. Dennoch muss gerade im Hinblick auf den Eintrag von Stickoxiden in diese empfindlichen Ökosysteme eine weitere Reduzierung der Luftbelastung angestrebt werden.

## 6. Korrelation phänologischer und meteorologischer Daten

Chmielewski und Rötzer (2000) haben die statistischen Zusammenhänge zwischen der Erhöhung der Lufttemperatur und der Phänologie untersucht. Grundlage hierfür bildeten Daten über Klone von *betula pubescens*, *prunus avium*, *sorbus aucuparia*, *ribes alpinum*, *salix smithiana* und *ribes alpinum* in den Jahren 1969 bis 1998 aus 67 Internationalen Phänologischen Gärten Europas (IPG). Jeder dieser IPG verfügt über eine mindestens zehnjährige Datenreihe. Ihre Auswertung erbrachte u.a. folgende Erkenntnisse: Blattentfaltung, Blühbeginn und Maitrieb zeigten je nach Pflanzenart und Standort (IPG) unterschiedlich deutliche Trends. 63 % der Trendanalysen belegen eine Verfrühung der phänologischen Phasen zwischen 5,4 und 11,2 Tagen pro Jahrzehnt. Nach Zuordnung der 67 IPG zu 12 europäischen Großlandschaften und dementsprechender Zusammenfassung der Beobachtungsdaten lässt sich feststellen, dass die Vegetationsperiode zwischen 1969 und 1998 um 8 Tage früher als zuvor begann, also 2,7 Tage pro Jahrzehnt. Besonders ausgeprägt ist die Verfrühung der Phänophasen seit dem Ende der 1980er Jahre. Das Ende der Vegetationsperiode verspätet sich bei geringer Variabilität um einen Tag pro Jahrzehnt. Beide Trends zusammen führen zu einer Verlängerung der Vegetationsperiode um 10,5 Tage zwischen 1969 und 1998 (3,5 Tage pro Jahrzehnt). Die Korrelation des Vegetationsbeginns mit der Lufttemperatur beträgt -0,83. Dieser statistische Zusammenhang ist durch Veränderungen der Nordatlantischen Oszillation (NAO) bedingt, die mit der Lufttemperatur zwischen Februar und April mit  $r = 0,73$  korreliert ist. In fast gleichem Umfang korreliert der NAO-Index in diesen Monaten mit dem Beginn der Vegetationsperiode ( $r = 0,70$ ).

Vor dem Hintergrund dieses kontinentalen Trends des Klimas und der Phänologie wurden in der Pilotstudie (Schröder et al. 2002) und in einer Diplomarbeit (Freistadt 2003) beispielhaft drei Fragen bearbeitet werden: Ist die meteorologisch gemessene Erhöhung der Lufttemperatur der Jahre 1991 bis 1999 auch auf regionalem Maßstab statistisch in ähnlichem Umfang mit der phänologischen Entwicklung korreliert? Weicht

der Beginn der Phänophasen in den Jahren 1991 bis 1999 von dem in den Jahren 1961 bis 1990 statistisch signifikant ab? Lässt sich die räumliche Struktur der Phänologie auf regionalem Maßstab geostatistisch valide abbilden?

Für die vorliegende Untersuchung wurden vom Deutschen Wetterdienst phänologische und meteorologische Daten für Baden-Württemberg bereitgestellt. Sie stammen von bis zu 640 Phänologie- und 92 (1961 bis 1990) bzw. 105 (1991 bis 1999) Lufttemperatur-Messpunkten. Der Eintritt der phänologischen Phasen wird als „Tage seit Jahresbeginn“ angegeben. Die phänologischen Daten werden nach einer Richtlinie (DWD 1991) erhoben. Es ist zu beachten, dass die Pflanzen des phänologischen Beobachtungsnetzes im Gegensatz zu denen aus den IPG nicht genetisch einheitlich und an die Einflüsse des Lokalklimas gebunden sind. Da das Phänologie- und Lufttemperaturmessnetz räumlich nicht kongruent sind, wurden die in ihnen erhobenen Daten für die angestrebte Korrelations- und Regressionsanalyse flächenhaft extrapoliert (Kap. 4.2).

Der Phasenbeginn der untersuchten Pflanzen tritt zwischen 1991 und 1999 früher ein als zwischen 1961 und 1990. Im besonderen Maße gilt dies für die Vertreter der Frühjahrsphasen. Besonders hervorzuheben ist dabei das verfrühte Einsetzen der Blüte der Haselnuss

(maximal -24 Tage, durchschnittlich -15 Tage), der Blüte des Schneeglöckchens (-23 / -5) und der Blüte der Forsythie (-27 / -9). Die Blattverfärbung der Stiel-Eiche (-17 / -5) und das Auflaufen des Winterweizens (-36 / -6) erfolgten zwischen 1991 und 1999 ebenfalls deutlich früher als im Bezugszeitraum (Tab. 5). Anhand der Mediane wird ein ausreißerstabiler Trend hin zu einer Verfrühung der phänologischen Phasen sichtbar. Eine Ausnahme hierbei bildet die Stiel-Eiche, deren Blattverfärbung zwischen 1991 und 1999 einen Tag später einsetzt als zwischen 1961 bis 1990.

Die Herbstphasen zeigen sich differenzierter. Verfrühen sich Eberesche und Schwarzer Holunder (-8 Tage) noch deutlich, zeigen die Phasen des Frühapfels (-4 Tage) und der Rosskastanie (-3 Tage) geringere Abweichungen zwischen den Untersuchungszeiträumen. Dagegen ist eine Verspätung des Phaseneintritts der Stiel-Eiche (Blattverfärbung) um einen Tag auszumachen. Die Spanne der Phasen wird größer. Besonders gilt dies für Forsythie (49 Tage), Winterweizen (34 Tage) und Stiel-Eiche (26 Tage). Aber auch die Phasen des Schneeglöckchens, der Stachelbeere (jeweils 16 Tage) und des Schwarzen Holunders (19 Tage) werden in ihrer Variation breiter. Die relativ hohen Standardabweichungen sind durch die geographische Lage der einzelnen Beobachtungsstandorte bedingt.

Phase	P	Minimum		Median		Maximum		Trend	Spanne		Mittelwert		„s“		Stationen	
		61-90	91-99	61-90	91-99	61-90	91-99		61-90	91-99	61-90	91-99	61-90	91-99	61-90	91-99
Haselnuss	B	34	10	59	44	95	78	-15	61	68	58,3	44	12,2	14,23	111	212
Schneeglöckchen	B	40	17	58	53	87	80	-5	47	63	58,6	51,8	9,24	10,3	149	224
Forsythie	B	73	30	92	83	117	123	-9	44	93	92,1	82,9	8,23	11,5	114	219
Stachelbeere	BO	78	69	94	87	116	123	-7	38	54	94,9	87,4	8,16	9,13	53	181
Apfel	B	109	99	122	115	140	136	-7	31	37	122,7	114,9	6,93	7,83	120	121
Stiel-Eiche	BO	108	91	126	121	145	154	-5	37	63	125,6	119,4	8,09	9,14	90	190
Schwarzer Holunder	B	137	123	154	149	174	179	-5	37	56	154,1	148,4	8,46	9,77	137	223
Sommer-Linde	B	159	140	179	171	203	190	-8	44	50	177,9	170,3	10,25	10,25	70	184
Winter-Linde	B	122	/	187	/	165	/	/	43	/	186,7	/	9,62	/	56	/
Frühapfel	F	194	190	213	209	234	243	-4	40	53	213,2	210,7	9,86	11,1	50	117
Eberesche	F	198	185	225	216	278	275	-9	80	90	228,1	217	14,53	13,55	74	186
Schwarzer Holunder	F	216	203	245	237	273	271	-8	57	68	242,7	236,1	11,02	11,54	103	107
Rosskastanie	F	234	230	265	262	284	286	-3	50	56	263,3	262,4	7,01	7,85	102	186
Stiel-Eiche	BV	260	244	288	289	314	309	+1	54	65	288,7	287,8	8,3	10	85	174
Winterweizen	AU	287	251	304	298	321	319	-6	34	68	303,3	298,3	6,7	10,5	69	161

Tab. 5: Deskriptiv-statistische Kennzahlen der Phänologie-Daten (in Tagen nach Jahresbeginn; Daten: DWD)

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Gegenüber 1961 bis 1990 ist die Jahresmitteltemperatur in Baden-Württemberg zwischen 1991 und 1999 durchschnittlich um  $+0,83\text{ °C}$  auf  $+8,85\text{ °C}$  gestiegen. Dieser Anstieg ist besonders auf die positiven Temperaturanomalien der Monate Januar und März (um jeweils  $+1,4\text{ °C}$ ) und der Sommermonate Juli ( $+1,2\text{ °C}$ ) und August ( $+1,6\text{ °C}$ ) zurückzuführen, deren Mittelwerte deutlich höher liegen als im Vergleichszeitraum 1961 bis 1990.

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Dabei bedeutet:  $r = 0$  kein,  $0 < r \leq 0,4$  schwacher,  $0,4 < r \leq 0,7$  mittlerer,  $0,7 < r < 1$  starker und  $r = 1,0$  vollständig linearer Zusammenhang. Demnach ist eine mittlere bis hohe negative Korrelation zwischen den Untersuchungsvariablen festzustellen: Sind hohe Jahresmittelwerte der Temperatur vorhanden, kann ein früher Phaseneintritt beobachtet werden. Sind die Mittelwerte des Phaseneintritts hoch (also später Phaseneintritt nach Jahresbeginn), kann man von niedrigen Werten der Temperatur ausgehen.

Das Eintreten der Frühjahrsphasen ist demnach stark von der Temperatur beeinflusst. So bewegt sich der Korrelationskoeffizient zwischen Temperatur und

Phaseneintritt für Haselnuss, Schneeglöckchen, Forsythie und Apfel zwischen  $-0,69$  und  $-0,81$ . Die Eintrittstermine der Sommerphasen weisen ebenfalls einen hohen negativen Zusammenhang mit den Temperaturwerten in den beiden Zeiträumen auf. Bei der Blüte des Schwarzen Holunders ( $-0,7$  und  $-0,72$ ) und der Sommer-Linde ( $-0,73$  und  $-0,64$ ) kann eine hohe Korrelation von Phaseneintritt und Temperatur berechnet werden. Auffällig ist, dass die physiologische Entwicklung der Vertreter der Herbstphasen deutlich weniger von den Werten der Temperatur beeinflusst wird. Für die letzte beobachtbare Phase des Herbstes, die Blattverfärbung der Stiel-Eiche, lässt sich kein statistischer Zusammenhang nachweisen.

Die geostatistische Flächenschätzung ist nicht nur die Voraussetzung für die korrelations- und regressionsstatistische Analyse der Daten aus den beiden nicht kongruenten Messnetzen, sondern ebenfalls Grundlage für die räumlich differenzierte Darstellung der zeitlichen Entwicklung des Klimatrends. Der landesweite Anstieg der Jahresmittelwerte um  $+0,83\text{ °C}$  zwischen 1991 und 1999 wird im Oberrheingebiet übertroffen und beträgt  $1,5\text{ °C}$ . Auch die Hochlagen der Mittelgebirge unterliegen mit höheren Jahresmittelwerten ebenfalls dem Klimawandel.

Phase	P	r (Temperatur/ Phaseneintritt)		Bestimmtheitsmaß (R <sup>2</sup> )		Lufttemperatur- Messstationen (n)	
		61-90	91-99	61-90	91-99	61-90	91-99
Haselnuss	B	-0,69	-0,71	0,47	0,51	92	105
Schneeglöckchen	B	-0,8	-0,72	0,64	0,51	92	105
Forsythie	B	-0,75	-0,69	0,57	0,48	114	219
Stachelbeere	BO	-0,44	-0,54	0,2	0,29	92	181
Apfel	B	-0,81	-0,78	0,65	0,61	120	121
Stiel-Eiche	BO	-0,54	-0,65	0,29	0,42	92	190
Schwarzer Holunder	B	-0,76	-0,72	0,58	0,52	137	223
Sommer-Linde	B	-0,73	-0,64	0,54	0,41	92	184
Winter-Linde	B	-0,57	/	0,32	/	92	/
Frühapfel	F	-0,47	-0,5	0,21	0,25	92	117
Eberesche	F	-0,6	-0,38	0,36	0,14	92	186
Schwarzer Holunder	F	-0,61	-0,51	0,38	0,3	103	107
Rosskastanie	F	-0,55	-0,46	0,3	0,2	102	186
Stiel-Eiche	BV	-0,09	0,03	0,01	0,001	92	174
Winterweizen	AU	0,14	0,32	0,02	0,1	92	161

Tab. 6: Zusammenhang zwischen Phänologie und Lufttemperatur (Daten: DWD)

### Literatur

- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (1999): Konzept Ökologische Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. - Bonn (N II 2 – 71 020 / 9)
- BMU (2000): Umweltbeobachtung. Stand und Entwicklungsmöglichkeiten. - Bonn (25.02.2000)
- Bosch & Partner GmbH (2001): Modellhafte Umsetzung und Konkretisierung der Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung am Beispiel des länderübergreifenden Biosphärenreservats Rhön. - Königsdorf (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FuE-Vorhaben 109 02 076 / 01. Schlussberichtsentwurf 31.03.01, im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen und des Umweltbundesamtes)
- Chmielewski, F.M.; Rötzer, T. (2000): Klimavariabilität und Phänologie in Mitteleuropa. – Berlin (BMBF Forschungsprojekt 01LA98501. Abschlussbericht. <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e01fb01/341005029.pdf>)
- Condat GmbH; v. Klitzing, F. (2000): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogrammes im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. Teilvorhaben 1 *Überarbeitung des Konzeptes Umweltbeobachtung*. Teilvorhaben 2 *Fortschreibung der Dokumentation von Programmen anderer Ressorts*. - Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. FuE-Vorhaben 299 82 212 / 01, im Auftrag des Umweltbundesamtes)
- DWD (1991): Anleitung für die phänologischen Beobachter des Deutschen Wetterdienstes. – 3. Aufl., Offenbach am Main (Vorschriften und Betriebsunterlagen 17)
- Ellenberg, H., Fränzle, O., Müller, P. (1978): Ökosystemforschung im Hinblick auf Umwelt- und Entwicklungsplanung. – Bonn (Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern, FuE-Vorhaben 78-10104005, im Auftrag des Umweltbundesamtes)
- Fränzle, O.; Haber, W.; Schröder, W. (1996): Proposal for a global concept for monitoring terrestrial ecosystems as a basis for harmonization of environmental monitoring. In: Schröder, W.; Fränzle, O.; Keune, H.; Mandry, P. (eds.) (1996): Global monitoring of terrestrial ecosystems. – Berlin, pp. 195 - 205
- Fränzle, O.; Killisch, W.F. (1980): Aufschlüsselung des Informationsgehalts umweltrelevanter flächenbezogener Strukturdaten. – Berlin (Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern. FuE-Vorhaben 101 04 035, im Auftrag des Umweltbundesamtes)
- Freistedt, J. (2003): Phänologische Daten: Spiegel des Klimawandels? – Vechta (Diplomarbeit, Institut für Umweltwissenschaften)
- Haber, W.; Schönthaler, K.; Kerner, H.F.; Köppl, J.; Spandau, L. (1997): Konzeption für eine ökosystemare Umweltbeobachtung. Wissenschaftlich-fachlicher Ansatz. – Berlin (UBA-Texte 32/97)
- Marthaler, R. (1995): Laborversuche zum Einfluss von Säure, Aluminium und Wasserhärte auf die Larvenentwicklung der Bachforelle (*Salmo trutta f. fario L.*). In: Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg): Saurer Regen – Probleme für Wasser, Boden und Organismen. - Landsberg
- Matheron, G. (1965): Les variables regionalisées et leur estimation.
- Matheron, G. (1971): The theory of regionalized variables and its application. – Fontainebleau
- Meynen, E., Schmithüsen, J., Gellert, J., Neef, E., Müller-Miny, H. Schultze, J.H. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. - Bad Godesberg
- Nöltner, T. (2000): Boden-Dauerbeobachtung im Land neu konzipiert. In: Landesanstalt für Umweltschutz (Hrsg.): Altlasten und Boden-News, H. 3/2000, S. 15f. - Karlsruhe
- Oberdorfer, E. (1974): Potentiell natürliche Vegetation Baden-Württembergs. – Karlsruhe (Naturschutz und Landschaftspflege, Beiheft Nr. 6)
- Schröder, W.; Broecker, F.; Schmidt, G. (2002): Pilotvorhaben zur integrierenden ökologischen Umweltbeobachtung. Modellentwicklung für eine medienübergreifende Interpretation von Mess-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

daten. – Karlsruhe (Abschlussbericht Dezember 2002, FuE)

- Schröder, W., Fränzle, O. (1996): Disparities in sampling, parameters and metadata. Environmental Monitoring and assessment as unifying basis. In: Schröder, W.; Fränzle, O.; Keune, H.; Mandry, P. (eds.) (1996): Global monitoring of terrestrial ecosystems. – Berlin, pp. 57 – 66
- Schröder, W.; Schmidt, G.; Pesch, R.; Eckstein, Th. (2001 a): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogramms im Rahmen eines Stufenkonzepts der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder. Teilvorhaben 3.
- Schröder, W.; Schmidt, G.; Pesch, R.; Matejka, H.; Eckstein, Th. (2001 b): Umweltbeobachtung im Biosphärenreservat Rhön. Ökologische Raumgliederung und Repräsentanzanalysen. – Berlin, München (Teilprojekt des FuE-Vorhabens 109 02 076 / 01, im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen und des Umweltbundesamtes)
- SRU (Der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen) (1983): Sondergutachten Waldschäden. - Stuttgart
- SRU (1987): Jahresgutachten 1987. – Stuttgart
- SRU (1991): Allgemeine ökologische Umweltbeobachtung. – Stuttgart
- SRU (1997): Jahresgutachten 1997. – Stuttgart
- Webster, R.; Oliver, M.A. (2001): Gostatistics for environmental Scientists. – New York (...)
- Wellbrock, N.; Wolff, B.; Rieck, W.; Schröder, W. (2003): Ansätze, Ergebnisse, Defizite und Perspektiven der Waldschadensforschung. In: Fränzle, O.; Müller, F.; Schröder, W. (Hrsg.): Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. - Landsberg am Lech, München, Zürich, Kap. VI-2.3 (9. Erg.Lfg.), 28 S.

# Aufbau eines Systems zur medienübergreifenden Umweltbeobachtung für Baden-Württemberg

Dr. Harald Gebhardt, Frank Broecker & Dr. Karl Theo von der Trenck,  
Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Ausgangslage

Durch die sich abzeichnenden Entwicklungstrends in unserer Umwelt, werden die Umweltverwaltung und die Umweltpolitik zu Beginn des 21. Jahrhunderts vor neue Aufgaben und Herausforderungen gestellt. Nutzung und Belastung des Naturhaushaltes, Endlichkeit und Verbrauch vieler Ressourcen verlangen gerade auch unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit einen sorgsameren Umgang mit der Umwelt und eine vorausschauende Begleitung dieser Entwicklungen.

Die Umweltpolitik konnte bisher mit erheblichen finanziellen Aufwendungen und Anstrengungen in vielen Bereichen große Erfolge erzielen. In einigen Bereichen sind aber noch Defizite zu erkennen. Hierzu gehören z. B. Waldschäden, Rückgang der biologischen Vielfalt, nachteilige Landschaftsveränderungen sowie bestimmte Boden- und Grundwasserbelastungen.

Die Ursachen dieser Belastungen sind häufig vielfältig und medienübergreifend. Eine medien-spezifisch ausgerichtete Umweltüberwachung ist allein nicht in der Lage, die angesprochenen Umweltveränderungen und ihre Ursachen detailliert aufzuzeigen. Daher hat der Sachverständigenrat für Umweltfragen bereits in seinem "Umweltgutachten von 1987" und im Sondergutachten "Allgemeine ökologische Umweltbeobachtung" von 1990 eine Bündelung der bisher sektoral ausgerichteten Umweltbeobachtung empfohlen und eine Gesamtschau in einer Ökologischen Umweltbeobachtung gefordert.

Für Baden-Württemberg ist dieser medienübergreifende, ökologische Ansatz nicht neu. In Baden-Württemberg besteht mit dem Ökologischen Wirkungskataster seit 1984 ein landesweites Untersuchungsprogramm zur biologischen Umweltbeobachtung. Im Rahmen dieses medienübergreifenden Untersuchungsprogramms werden Art und Ausmaß von Schadstoffwirkungen auf die belebte Umwelt untersucht und bewertet. Angestrebt wird dabei eine landesweite, möglichst flächendeckende Darstellung der Belastung von Ökosystemen, aber auch von einzelnen Belas-

tungsschwerpunkten durch Schadstoffe. Hierzu werden verschiedene Tiere und Pflanzen als Zeigerorganismen (Bioindikatoren) u.a. auf Schadstoffgehalte, Schadsymptome, Artenvielfalt und Populationsdynamik untersucht (Abb. 1). Aus diesen Ergebnissen lassen sich Aussagen über den Zustand der Umwelt ableiten.

Die Untersuchungen zum Ökologischen Wirkungskataster finden landesweit an ausgewählten Dauerbeobachtungsflächen bzw. Dauerbeobachtungsstellen im Wald, Grünland und Fließgewässern statt (Abb. 2). Daneben werden auch in Ballungsgebieten oder an ausgewählten Belastungsschwerpunkten Erhebungen durchgeführt.

Neu ist jedoch der umfassende Ansatz der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB), die nicht nur die Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Ökosysteme untersucht und bewertet. Vielmehr fließen Ergebnisse aus dem Ökologischen Wirkungskataster zusammen mit Messnetzdaten aus den Medienbereichen Boden, Wasser, Luft und Daten aus dem Natur- und Artenschutz sowie Klimadaten in die im Aufbau befindliche Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg ein. Ziel ist die Beschreibung des Zustandes und der Veränderungen der Umwelt sowie die ganzheitliche Erfassung der Funktions-, Entwicklungs- und Belastungsfähigkeit des Naturhaushaltes.



The image shows a lush forest stream with various bioindicators highlighted by numbered callouts (1-12). The callouts contain images of: 1. Green leaves; 2. Pine needles; 3. Lichens on a tree trunk; 4. A bird's egg; 5. A frog; 6. A fish; 7. A damselfly nymph; 8. Moss; 9. Small white flowers; 10. A mouse; 11. A snail; 12. A worm.

**Bioindikation in Baden-Württemberg** erfasst und bewertet:

- 1 Zustand, Nähr- und Schadstoffgehalte von Waldbäumen (Buche, Tanne, Fichte)
- 2 Nähr- und Schadstoffgehalte von Klon-Fichten-, Gras- und Grünkohlexponaten
- 3 Flechtenvorkommen zur Beschreibung der Luftqualität
- 4 Schadstoffgehalte von Vogeleiern
- 5 Auswirkungen der Versauerung auf Amphibien und deren Laichgewässer
- 6 Bestände und Schadstoffgehalte von Bachforellen im Hinblick auf Gewässerversauerung
- 7 Artenspektren und Zustand wirbelloser Wassertiere (inkl. Biotests)
- 8 Artenspektren und Schadstoffgehalte von Moosen
- 9 Pflanzengesellschaften zur Beschreibung von Wald- und Grünlandstandorten
- 10 Schadstoffgehalte bei Kleinsäugetern
- 11 Artenspektren bzw. Schadstoffgehalte von Schnecken und Käfern
- 12 Artenspektren bzw. Schadstoffgehalte von Bodenlebewesen (Regenwürmer, Springschwänze)

Abb. 1: Bioindikation im Ökologischen Wirkungskataster Baden-Württemberg.

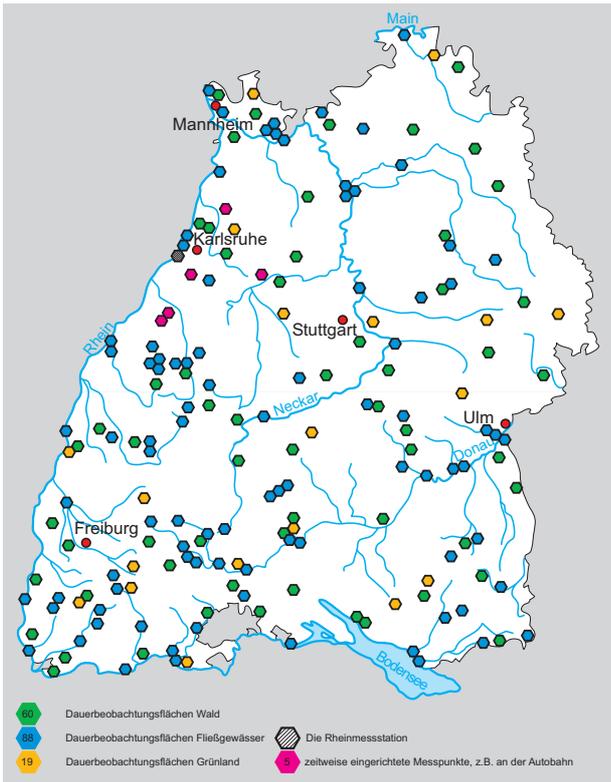


Abb. 2: Messnetze des Ökologischen Wirkungskastasters Baden-Württemberg.

Durch die Novelle des Naturschutzgesetzes und durch aktuelle Fragestellungen zur Umweltwirkungsseite, wie z. B. den Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die belebte Umwelt, muss die Medienübergreifende

Umweltbeobachtung kontinuierlich weiterentwickelt und den neuen Umweltthemen sowie neuen rechtlichen Forderungen angepasst werden. Dabei ist es wichtig, die bewährten Strukturen der Messnetze zu erhalten und über gezielte Auswertungen Ergebnisse für eine Politikberatung und eine fundierte Risikokommunikation bereitzustellen. Dies kann im Rahmen der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung nur in Verbindung mit einer Schwerpunktsetzung erfolgen (vgl. Punkt 3).

## 2. Instrumente

Die MUB ist ein wichtiger Baustein des Umweltinformationssystems (UIS) Baden-Württemberg und wird als solcher in dessen technisches Konzept integriert. Hierzu werden elementare, ineinandergreifende Bausteine der MUB, wie die ökologische Raumgliederung, die Metadaten und die geostatistische Messdatenanalyse genutzt. Für diese Bausteine bildet ein geografisches Informationssystem (ArcView-GIS) die Plattform. Dadurch bietet sich die Möglichkeit raumbezogene Daten mit den Sach- und Metadaten zu verknüpfen und übergreifend zu analysieren. Dieses für die Medienübergreifende Umweltbeobachtung benötigte Instrumentarium wurde in einem Forschungsvorhaben von Prof. Schröder/Vechta für die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU) erarbeitet (SCHRÖDER et al. 2002).

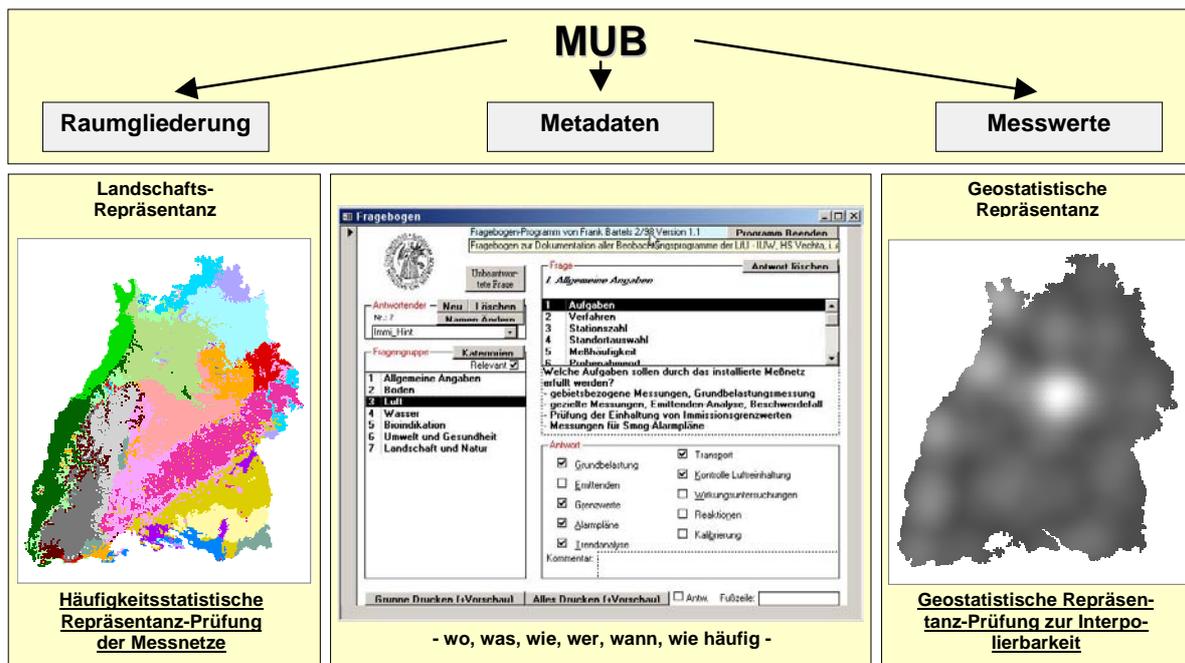


Abb. 3: Bausteine der Medienübergreifenden Umweltbeobachtung (MUB) in Baden-Württemberg.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Die **Raumgliederung** ermöglicht es, Baden-Württemberg in möglichst homogene ökologische Teilräume zu segmentieren, um eine räumliche Bezugsbasis für die MUB zu schaffen. Der **Metadatenkatalog** erlaubt Aussagen darüber, welche Messgrößen in den betriebenen Messnetzen erhoben werden und, welche Methoden dabei angewendet werden. Die Metadaten ermöglichen eine Prüfung der erhobenen Daten im Hinblick auf deren Zusammenführung für eine ökologische Analyse und Bewertung des Umweltzustandes. Die Ermittlung der **Messwert-Repräsentanz** gibt Auskunft über die Interpolierbarkeit von Punktdaten in die Fläche und, ob die Zuverlässigkeit dieser Werte quantifiziert werden kann. Die Datenauswertung erfolgt mittels Variogrammanalyse und Kriging-Interpolation.

### 3. Schwerpunkte und Anwendungsbeispiele

Die Vielfalt an Umweltthemen zwingt in einer mittelfristigen Umsetzungsphase zur Bildung von Schwerpunktthemen. Mittelfristig werden folgende Schwerpunktthemen bearbeitet:

- Wirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt,
- Anreicherung chemischer Stoffe in der Umwelt,
- Wirkungen neuer Technologien auf die Umwelt.

#### 3.1 Schwerpunktthema „Klimaveränderung“

Die rechtzeitige Erstellung von Prognosen und Szenarien zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen ist für eine umfassende Politikberatung, Information der Öffentlichkeit aber auch zur Erfüllung gesetzlich verankerter Berichtspflichten nötig. Deswegen müssen auf nationaler und regionaler Ebene die Kenntnisse über mögliche, klimainduzierte Veränderungen in der Umwelt erweitert werden. Insbesondere zu den Wirkungen von Klimaveränderungen auf die Umwelt unter bundeslandspezifischen und regionalen Gesichtspunkten liegen bisher nur geringe Kenntnisse vor (Küste, Tiefland, Mittelgebirge, Hochgebirge).

Verschiedene Ereignisse und Beobachtungen in den vergangenen 10 -15 Jahren in Baden-Württemberg ließen eine Befassung mit den Thema „Klimaveränderungen“ notwendig erscheinen. Dies waren:

- sich häufende, extreme Hochwasserereignisse,
- der Orkan Lothar sowie die Stürme Wiebke und Vivian mit ihren verheerenden Auswirkungen auf die Wälder,

- der Zustrom und Ausbreitung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten,
- das Auftreten von Krankheitsüberträgern für Mensch, Tier und Pflanze.

Es war die Gesamtheit solcher Ereignisse und Beobachtungen, die vermuten ließen, dass diese im Zusammenhang mit Klimaveränderungen stehen könnten. Zur Verfolgung der Thematik wurde in Baden-Württemberg ein Umweltpolitischer Schwerpunkt „Klimafolgen für Baden-Württemberg“ aufgelegt. Die zu behandelnden Themenbereiche umfassen Auswirkungen auf die belebte Umwelt, die Hydrologie, Wirtschaft und Landnutzung sowie den Aspekt Mensch und Gesundheit. Zusätzlich wurde ein Forschungsverbundvorhaben „Klimawandel - Auswirkungen - Risiken - Anpassung“ (KLARA) eingerichtet.

In Ergänzung hierzu wird darauf hingewiesen, dass die Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg seit 1997 auch das Thema "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (KLIWA) in einem Kooperationsvorhaben mit Bayern und dem Deutschen Wetterdienst bearbeitet.

Im Rahmen der Umweltbeobachtung befasst sich die LfU bereits seit 1994 mit Aspekten der Klimaveränderung auf die belebte Umwelt. Hierbei wurden Arbeiten zur Auswertung möglicher klimainduzierter Befunde an Dauerbeobachtungsstellen (Wald, Grünland, Gewässer) sowie eine Auswertung von phänologischen Daten der letzten 30 Jahre für Baden-Württemberg begonnen.

Die Auswertung der phänologischen Daten zeigte beispielsweise, dass im Zeitraum 1990 bis 1999 ein früherer Frühlingsbeginn um bis zu 10 Tagen gegenüber dem Mittel aus den Jahren 1961 bis 1990 eingetreten ist. Auch die räumlichen Verteilungsmuster von Gebieten mit früherem Frühlingsbeginn (indiziert über den Beginn der Apfelblüte) zeigen bei einem Vergleich der beiden untersuchten Zeiträume deutliche Änderungen (Abb. 5). So nehmen die Gebiete mit einem früheren Beginn der Apfelblüte im Zeitraum 1990 bis 1999 deutlich zu und schließt auch Gebiete ein, die für ihr rauheres Klima bekannt sind. Nutzen ist aus solchen Ergebnissen in mehrfacher Hinsicht zu ziehen. Es können Gebiete ausgegliedert werden, in denen es aufgrund der klimatischen Entwicklung für den Menschen zu gesundheitlichen Belastungen durch Hitzestress und hohe Luftfeuchtigkeit kommen kann (z.B. Oberrheinebene). Gleichzeitig sind dies aber auch Gebiete in die wärmeliebende Tier- und Pflanzenarten (darunter auch Schädlinge und Krankheitserreger)

bevorzugt einwandern können. Für die Land- und Forstwirtschaft ergeben sich Hinweise für den Zeitpunkt des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, für die Sortenwahl von Nutzpflanzen sowie Hinweise bezüglich der Erntezeitpunkte, aber auch im Hinblick auf Spätfrostgefahren für den Wein- und Obstbau.



Abb. 4: Die Südliche Mosaikjungfer (*Aeshna affinis*) - eine in Süddeutschland eingewanderte mediterrane Libellenart. (Foto: H.-P. DÖLER).

Diese Ergebnisse korrespondieren gut mit anderen Beobachtungen, wie beispielsweise mit der zunehmenden Ausbreitung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten in Baden-Württemberg.

Mehrere Libellenarten, wie z. B. die Südliche Mosaikjungfer, *Aeshna affinis* (Abb. 4), die Südliche Heide-libelle *Sympetrum meridionale*, der Südliche Blaupfeil, *Orthetrum brunneum* aus dem mediterranen Raum sind in den vergangenen 10-15 Jahren in den süddeutschen Raum eingewandert (OTT 2000). Die Ausbreitung der Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) ist hierfür ebenfalls ein gutes Beispiel (Abb. 6).

Auch das Vordringen von Vogelarten nach Norden in bisher von diesen Arten nicht besiedelte Gebiete sowie Änderungen von Zugverhalten, Zugrouten, Zugzeiten, Überwinterungsstrategien und der Brutzeitpunkte konnte in den zurückliegenden Jahren festgestellt werden (BERTHOLD 1997,1998).

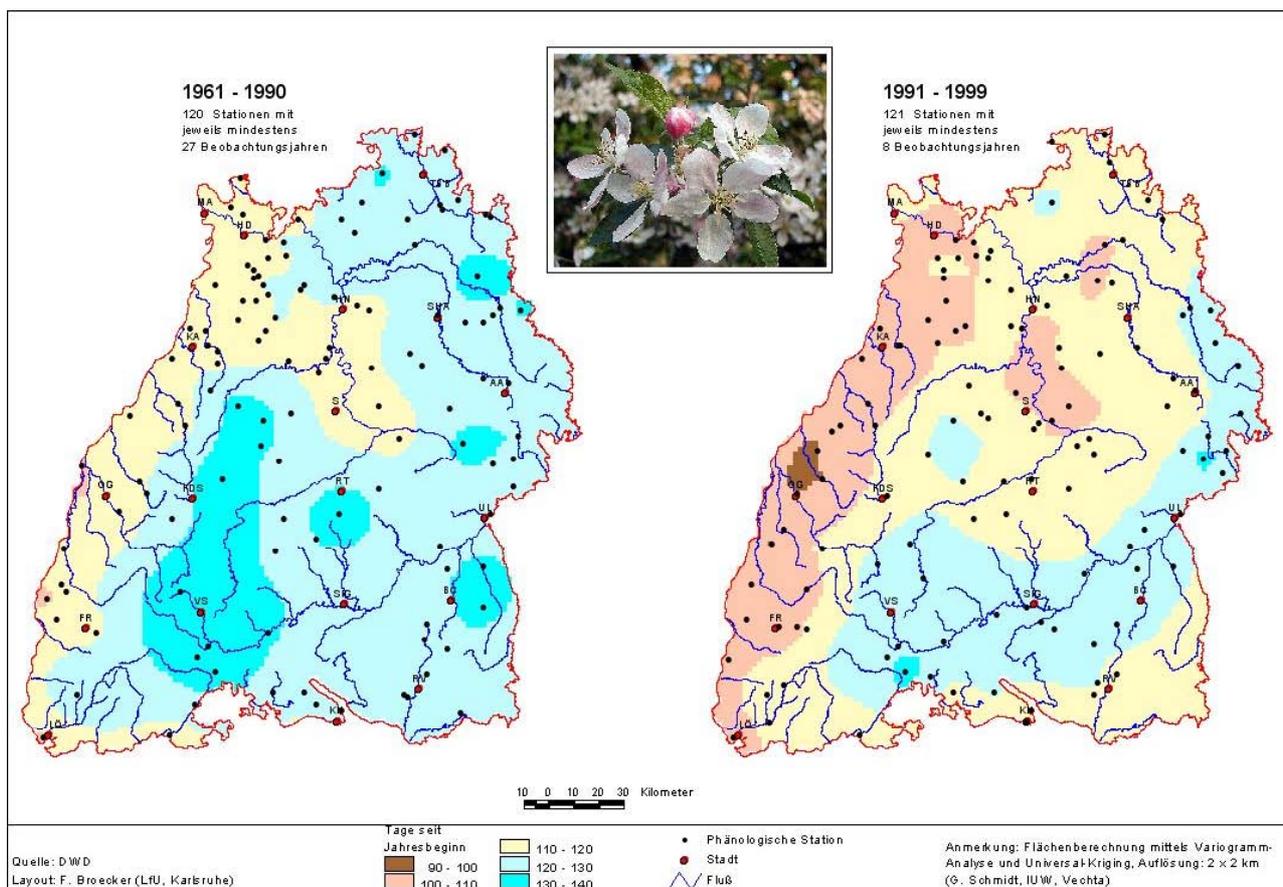


Abb. 5: Durchschnittlicher Beginn der Apfelblüte - Vergleich der Perioden 1961 - 1990 und 1991 - 1999.

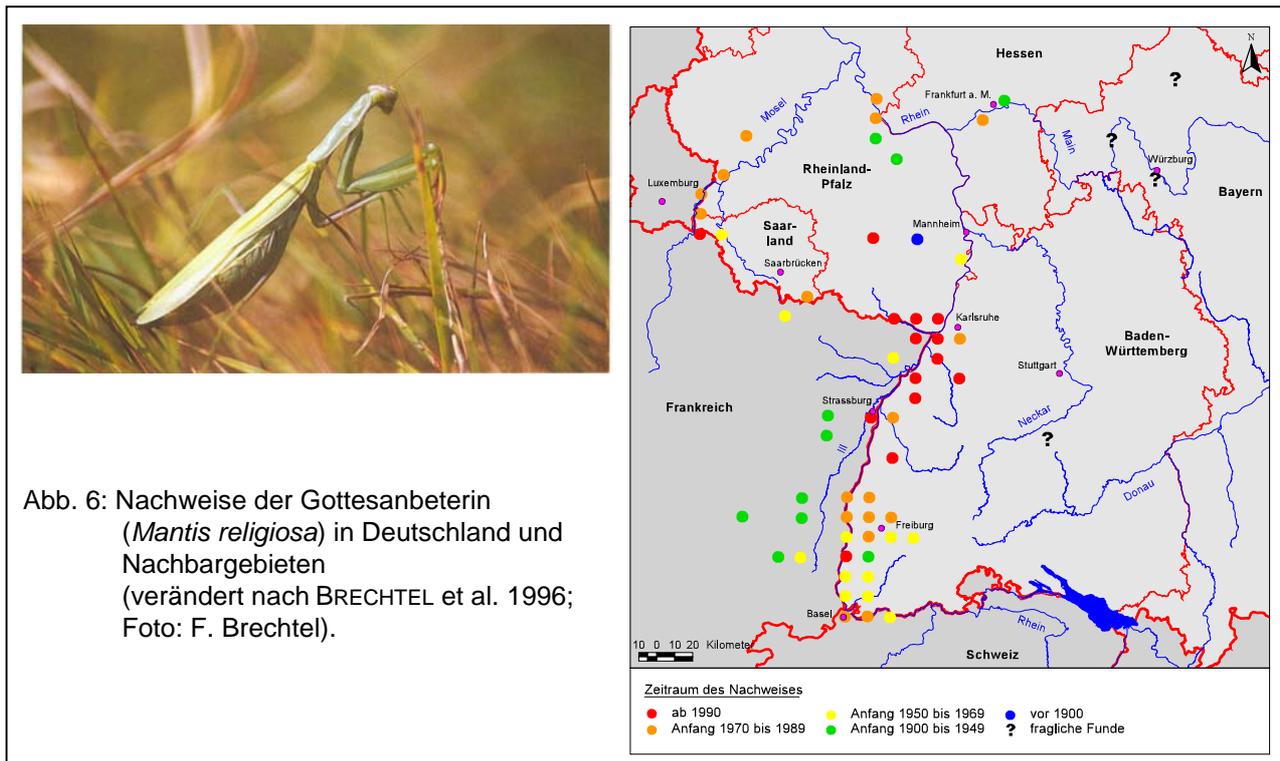


Abb. 6: Nachweise der Gottesanbeterin (*Mantis religiosa*) in Deutschland und Nachbargebieten (verändert nach BRECHTEL et al. 1996; Foto: F. Brechtel).

Für Baden-Württemberg wurde außerdem ein Zustrom gebietsfremder bzw. wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten, insbesondere mediterraner Faunen- und Florenelemente festgestellt. Der Zustrom gebietsfremder Organismen, darunter subtropische und tropische Schädlinge und Krankheitserreger bringt für unsere Breiten bisher nicht gekannte bzw. auch wiederkehrende Gefahren für (Nutz-)Pflanzen und (Nutz-)Tiere sowie für den Menschen mit sich (BÖCKER et al. 1995, GEBHARDT et al. 1996).

Speziell für den Menschen können sich Gefahren durch von Vektoren übertragene Krankheiten ergeben (Abb. 7), die sich in den letzten Jahrzehnten in Deutschland verstärkt ausgebreitet haben, wie z. B. FSME oder Borreliose, wobei jeweils die Zecke (*Ixodes ricinus*) als Vektor fungiert.

Krankheit	Erregertyp	Überträger (Vektoren)
Malaria	Protozoen	<i>Anopheles</i> -Arten (Mücken)
Gelbfieber	Viren	<i>Aedes</i> -Arten (Mücken)
Lyme-Borreliose	Bakterien	<i>Ixodes ricinus</i> (Zecke)
Frühsommermeningoenzephalitis (FSME)	Viren	<i>Ixodes ricinus</i> (Zecke)




Abb. 7: Vektorkrankheiten, Erreger und Vektoren. (verändert nach TOTH et al. 1996; linkes Foto: N. BECKER)

Durch die Einschleppung des Tigermoskitos (*Aedes albopictus*) 1990 nach Genua (Italien) ist hiermit ein Gelbfieber- und Denguefieber-Vektor nach Europa gelangt (MAEZO-Projekt 2001). Heute ist die Art in ganz Italien sowie in Teilen Frankreichs und der Schweiz (nördlichstes Vorkommen Bellinzona) verbreitet (BECKER 2003, mündl. Mitt.).

Eine potentielle Gefahr für die Menschen in der Oberrheinischen Tiefebene ist dadurch gegeben, dass das Oberrheingebiet über die Burgundische Pforte eine Verbindung nach Italien und Frankreich besitzt, die sich als Invasionspfad für den Tigermoskito (Abb. 8) eignet. Auch der Malaria-Vektor, die *Anopheles*-Mücke (*Anopheles sp.*) ist im Oberrheingebiet anzutreffen. Früher wurden Malariaerkrankungen auch für das Oberrheingebiet registriert. Nach WEYER (1956) gibt es jedoch in Deutschland seit 1951 keine Malariagebiete mehr. Hierbei scheint die Veränderung ökologischer Verhältnisse eine Rolle zu spielen (GABRIEL 1965).



Abb. 8: Der Tigermoskito (*Aedes albopictus*) - ein Gelbfieber- und Denguefieber-Vektor (Foto: R. BELLINI).

### 3.2 Themenschwerpunkt „Chemische Stoffe in der Umwelt“

Bei der technischen Entwicklung der letzten 150 Jahre wird als unerwünschter Nebeneffekt eine große Zahl von Stoffen freigesetzt, welche die Umwelt und die Gesundheit des Menschen schädigen können. Gefährliche Wirkungen sind u.a. Giftigkeit, Erzeugung von Krebs, Schädigung der Leibesfrucht und Erbgutveränderungen, aber auch Langlebigkeit und Anreicherung können Anlass zur Besorgnis geben. Für eine vorsorgende Umweltpolitik sind deshalb eine kontinuierliche Beobachtung und die Setzung von Umweltstandards unabdingbar. Zu den Stoffgruppen, die einer besonderen Aufmerksamkeit (Umweltbeobachtung) und teilwei-

se auch einer Steuerung (Standardsetzung) bedürfen, gehören:

- Persistente organische Schadstoffe (POP),
- Pestizide (z.B. Organophosphor-Verbindungen oder Atrazin),
- Schwermetalle,
- Luftschadstoffe wie Ozon, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, lungengängiger Schwebstaub, Benzol, PAK,
- Stoffe, die das Grundwasser bedrohen, wie z.B. MTBE (Antiklopfmittel), Bor, Nitrat, Sulfat, leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe, Chlorphenole,
- Wasch- und Reinigungsmittel,
- Arzneimittel, Tierarzneimittel, Antibiotika,
- Hormonaktive Stoffe.

Für das weitere Vorgehen ist vorgesehen, die (öko)toxikologischen Wirkungen ausgewählter Stoffe sowie Aussagen zur Verteilung der Schadstoffe in verschiedenen Regionen Baden-Württembergs (inkl. Belastungsunterschiede) herauszuarbeiten. Die Auswertung langjähriger Zeitreihen erlaubt zudem die Verfolgung langfristiger Trends. Die (öko)toxikologischen Wirkungen der genannten Stoffe sowie ihre Konzentration in den verschiedenen Kompartimenten der Umwelt bis hin zur Nahrungskette sollen erfasst werden. Eine Verbesserung der Datenbasis über die Belastung der Umwelt und der Bevölkerung mit - insbesondere langlebigen - Schadstoffen wird dabei angestrebt.

Aus der Vielzahl von chemischen Stoffen, die sich in Umweltkompartimenten anreichern und die Umwelt negativ beeinflussen können, sollen hier exemplarisch Untersuchungsergebnisse zu Organochlorpestiziden und ihren Abbauprodukten sowie zu polychlorierten Biphenylen (PCB) vorgestellt werden.

Die Verbreitung und Anreicherung dieser Stoffe in den verschiedenen Umweltkompartimenten erklärt sich aus deren spezifischen Eigenschaften. Beiden Substanzgruppen ist eine hohe Fettlöslichkeit, eine sehr niedrige Wasserlöslichkeit und eine hohe chemische Stabilität und Persistenz in der Umwelt gemeinsam. Diese Eigenschaften führen trotz eines niedrigen Dampfdruckes zur Verflüchtigung dieser Stoffe aus wässriger Lösung mit einer anschließenden globalen atmosphärischen Verteilung. Zudem sind diese Merk-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

male für die Bioakkumulation und das ubiquitäre Vorkommen der Stoffe in lipophilen Umweltkompartimenten verantwortlich.

Die Methode zum Nachweis dieser Verbindungen ist die Untersuchung von Vogeleiern. Letztere sind aufgrund ihres relativ hohen Lipidgehaltes in der Lage, lipophile Umweltschadstoffe anzureichern. Es wurden Eier bzw. Embryos verschiedener Entwicklungsstadien von Meisen (Kohlmeise *Parus major*, Blaumeise *Parus caeruleus*, Tannenmeise *Parus ater*), Dohle (*Corvus monedula*), Eulenvögeln (Uhu *Bubo bubo*, Schleiereule *Tyto alba*, Steinkauz *Athene noctua*) und des Wanderfalcken (*Falco peregrinus*) untersucht. In den Proben wurden die Gehalte der in Tabelle 1 aufgeführten Organochlorverbindungen bestimmt.

- Aldrin und sein Epoxid (Dieldrin)
- Chlordan
- Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und seine Metabolite
- Endosulfan
- Endrin
- Hexachlorbenzol (HCB)
- Heptachlor und sein Epoxid (HCEP)
- verschiedene Konformere des Hexachlorcyclohexans (HCH)
- 21 Einzelsubstanzen (Kongener) der polychlorierten Biphenyle (PCB)

Tab. 1: Untersuchte Organochlorverbindungen in Vogeleiern.

Die Untersuchung der Wanderfalkeneier aus Baden-Württemberg ergab sich als Fortführung der bis 1995 vom Tierhygienischen Institut Freiburg durchgeführten Rückstandsuntersuchungen (BAUM & HÄDRICH 1995). Durch die Zusammenarbeit mit dem Freiburger Institut und der Aktionsgemeinschaft Wanderfalkenschutz (AGW) ist die LfU heute in der Lage, wertvolle

Zeitreihen der Belastung mit verschiedenen Organochlorverbindungen zu präsentieren (DDT, PCB, HCB, HCEP und HCH). Alle diese Stoffe zeigen nach Spitzenkonzentrationen in den 1970er Jahren (PCB in den 1980er Jahren) eine erfreuliche Abnahme.



Abb. 9: Der Wanderfalke (*Falco peregrinus*) - eine in Deutschland gefährdete Art (Foto: B. ZOLLER).

Im Falle des DDT steht außer Frage, dass das Anwendungsverbot in Deutschland 1972 mit dazu beigetragen hat, das Aussterben des Wanderfalcken (Abb. 9) zu verhindern. Im Vergleich zur DDT- (DDE)-Kontamination der Falkeneier früherer Jahre mag das derzeit erreichte Niveau von 24 ppm gering erscheinen (Abb. 10). Gemessen am Futtermittelgrenzwert von 0,1 mg/kg Trockensubstanz bedeutet die Kontamination der Wanderfalkeneier jedoch eine Überschreitung um den Faktor 240.

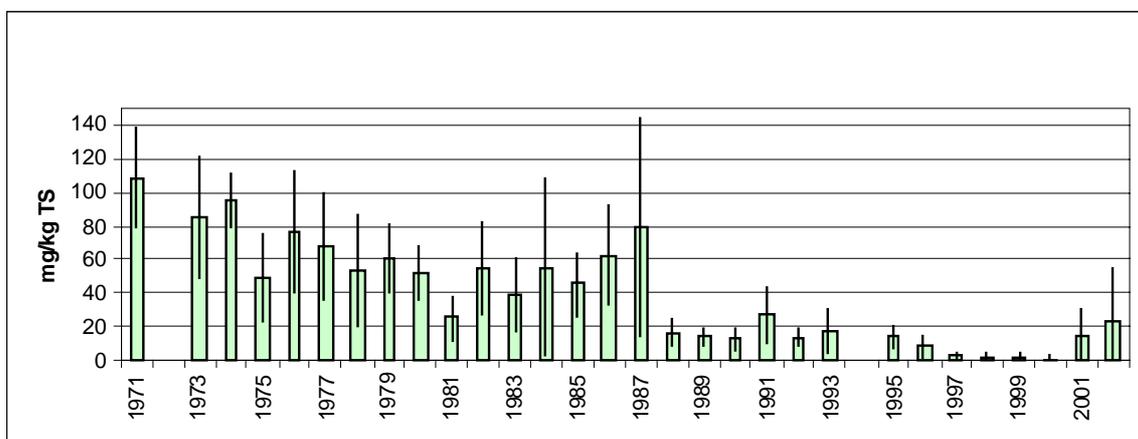


Abb. 10: DDE - Gehalte in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg.

Die 37 baden-württembergischen Falkeneier des Jahres 2002 wiesen einen mittleren Gehalt von 21,7 mg PCB/kg Trockensubstanz auf. Gegenüber der Spitzenkontamination Mitte der 1980er Jahre ist dies ein Rückgang um den Faktor sechs bis sieben.

Aus der Zeitreihe (Abb. 11) geht hervor, dass sich die PCB-Gehalte ausgangs der 1980er Jahre um ca. 100 mg PCB/kg Trockensubstanz auf ca. 40 mg/kg Trockensubstanz und in den 1990er Jahren auf ca. 20 mg/kg Trockensubstanz reduziert haben.

sichtigung einer etwaigen Dioxin-Kontamination schon zehnfach überschritten.

Auch Schwellen für bekannte Schadwirkungen in Vögeln werden durch die 200 ng Dioxin-Äquivalente pro Kilogramm der in den Wanderfalkeneiern gemessenen PCB überschritten. Dabei wurde der Gehalt an „eigentlichen Dioxinen“ bisher nicht berücksichtigt. Nach bisherigen Erfahrungswerten ist davon auszugehen, dass die Dioxine etwa 50% zur Belastung mit Dioxin-Äquivalenten beisteuern. Zur Stabilisierung

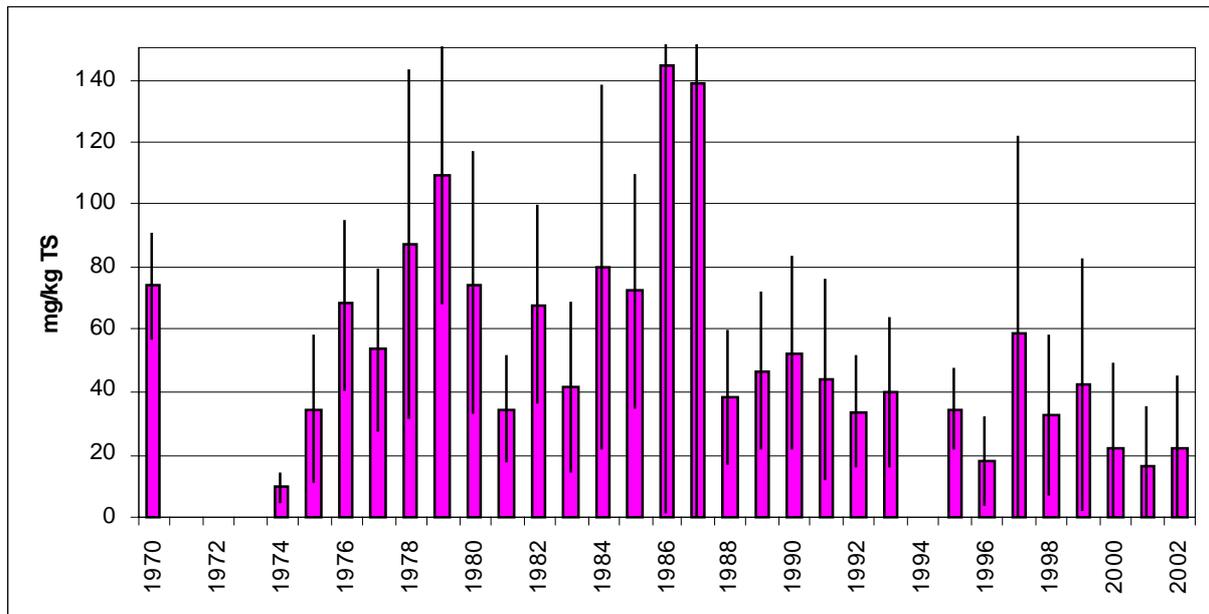


Abb. 11: PCB - Gehalte in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg.

Diese an sich erfreuliche Entwicklung wird jedoch durch den Vergleich mit Grenzwerten relativiert. So fordert die Schadstoff-Höchstmengen-Verordnung (SHmV) die Einhaltung einer Konzentration von 0,02 mg/kg Frischmasse für jede der sechs Einzelsubstanzen nach DIN. Daraus ergibt sich ein Grenzwert von ca. 3 mg/kg Trockensubstanz für die Summe PCB, der noch sehr deutlich (ca. 7fach) überschritten wird.

Da die dioxinähnlich wirkenden Einzel-PCB gemessen wurden, können die Dioxin-Äquivalente der Wanderfalkeneier mit durchschnittlich 200 ng/kg Trockensubstanz angegeben werden. Demnach entfalten die in den Eiern enthaltenen PCB im Durchschnitt die gleiche Wirkung wie 200 ng/kg des potentesten Dioxins (2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin). Der Vergleichswert, dessen Überschreitung in Milchfett zu einem Verkehrsverbot führen würde, liegt bei 20 ng/kg Trockensubstanz (Poiger & Schlatter 1997). Der Vergleichswert für die menschliche Ernährung ist also allein durch den PCB-Gehalt der Eier ohne Berücksichtigung

wildlebender Wanderfalkenpopulationen sind deshalb weitere Minderungsmaßnahmen notwendig.

Stellvertretend für viele Organochlorverbindungen steht die Zeitreihe des Hexachlorbenzols (HCB) in Wanderfalkeneiern (Abb. 12). Der Einschub verdeutlicht, dass sich die Belastung der Wanderfalkeneier mit diesem Fungizid und Saatbeizmittel nicht nur seit den 1970er Jahren, als ein Stand von 30 bis 45 mg/kg Trockensubstanz erreicht war, sondern auch im vergangenen Jahrzehnt noch weiter verringert hat (z. Zt. 0,07 mg/kg Trockensubstanz im Mittel). Dieser Rückgang um nahezu einen Faktor 1000 dokumentiert eindrucksvoll den Erfolg der Verbotsmaßnahme. Nach der Rückstands-Höchstmengen-Verordnung (RHmV 2002, rote Linie) sind in Hühnereiern allerdings nicht mehr als 0,05 mg/kg Trockensubstanz erlaubt. Die gefundenen Gehalte liegen damit immer noch knapp über dem Richtwert, die Wanderfalkeneier wären, - abgesehen von der Belastung mit anderen Organochlorverbindungen, - allein aufgrund ihrer HCB-Belastung unverkäuflich.

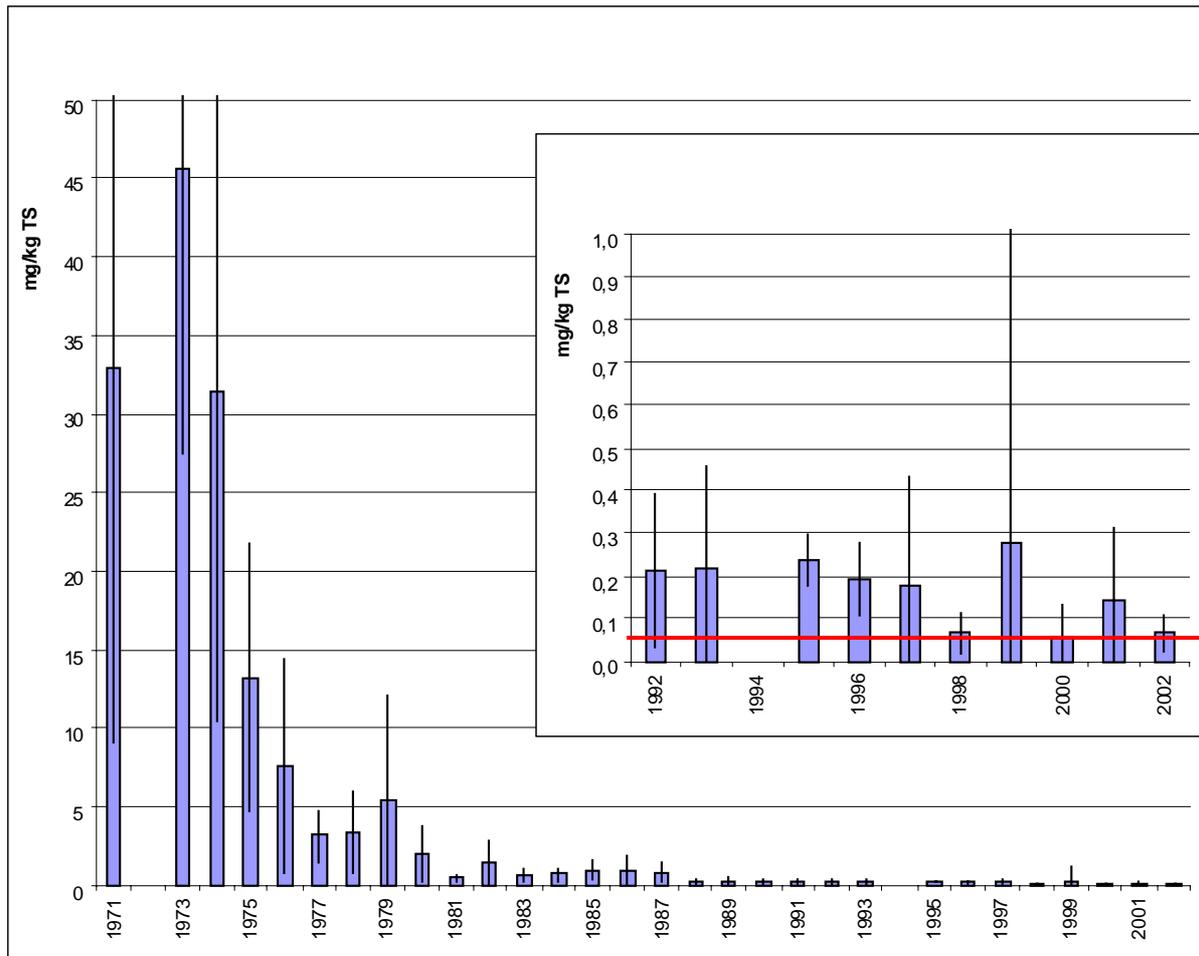


Abb. 12: HCB in Wanderfalkeneiern aus Baden-Württemberg (rote Linie: Grenzwert - 0,05 mg/kg Trockensubstanz - nach Rückstands-Höchstmengen-Verordnung).

Bei einem Vergleich der Schadstoffbelastungen der Eier der verschiedenen Vogelarten für das Jahr 2001 zeigte sich, dass der Wanderfalke die am höchsten belastete der untersuchten Spezies ist. Aus der Reihung der Organochlorbelastung von

**Wanderfalke > Uhu > Schleiereule > Dohle ≈ Steinkauz > Kohlmeise ≈ Blaumeise > Tannenmeise**

lässt sich die Stellung in der Nahrungspyramide ablesen.

Aus den Ergebnissen wird auch deutlich, wie wichtig die Dauerbeobachtung für die Erstellung von Zeitreihen zur Entwicklung von Schadstoffbelastungen in der Umwelt ist. Beim weiteren Vorgehen zu diesem Themenbereich werden mögliche Schadstoffquellen (u.a. Altlasten, Industrie, Landwirtschaft, Verkehr) näher untersucht. Neben der Darstellung der Pfade und des Verbleibs der Schadstoffe im Ökosystem ist das Aufzeigen von räumlichen Belastungsschwerpunkten und die zeitliche Entwicklung von Schadstoffbe-

lastungen und den damit verbundenen Risiken insbesondere für Mensch, Tier und Pflanze von herausragender Bedeutung.

Ein weiteres Vorhaben zum Schwerpunkt „Chemische Stoffe in der Umwelt“ ist das Thema „Versauerungssituation in Baden-Württemberg“, zu dessen Bearbeitung eine abteilungs- und institutionenübergreifende Arbeitsgruppe eingerichtet wurde. (s. auch die Beiträge am Schluss dieses Tagungsbandes).

### 3.3 Themenschwerpunkt „Neue Technologien“

Beim Einsatz neuer Technologien gilt es die damit verbundenen ökologischen Auswirkungen zu erfassen und zu bewerten. Dazu ist es notwendig, Umweltqualitätsziele und Bewertungskriterien festzulegen die zur Vermeidung oder Abmilderung von Risiken für die Umwelt führen. Untersucht werden sollen zunächst die folgenden Themen:

- Funktechnik (Elektrosmog),

- Katalysatortechnik in Kraftfahrzeugen (Platingruppenelemente),
- Nutzung regenerativer Energien (z.B. Windkraft),
- die Gentechnik (Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt).

### Beispiel: Katalysator und Platingruppenelemente

Seit Mitte der 1980er Jahre hat der Einsatz von Katalysatoren zur Abgasreinigung von Kraftfahrzeugen stark zugenommen. Platin (Pt) und die Platingruppenelemente Rhodium (Rh) und Palladium (Pd) sorgen im Abgaskatalysator für die weitgehende Beseitigung von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und Stickoxiden. So wird die Freisetzung von Schadstoffen aus dem Straßenverkehr durch den Katalysator um über 90% vermindert. Damit trägt die Katalysatortechnik einen großen Anteil an der Verbesserung der Luftqualität trotz gesteigerter Fahrleistung.

Neben diesem unbestrittenen Nutzeffekt ist die Abgasreinigung mit der Emission von Platinmetallen (Pt, Rh und Pd) verbunden, die durch Temperaturerhöhung und Erschütterung aus dem Katalysator freigesetzt werden und sich in der Umwelt anreichern. Bekannt ist, dass hohe Konzentrationen dieser Edelmetalle für den Menschen gesundheitsschädlich sind. Unklar ist jedoch, ob die seit Mitte der achtziger Jahre ansteigenden Konzentrationen an Edelmetallen schädlich für die Natur und den Menschen sind.

Die LfU wurde deshalb 1998 vom Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg mit dem Ziel beauftragt,

- die Anreicherung von Platin in straßennahen Ökosystemen zu dokumentieren,
- mögliche Gefährdungen für die Umwelt und die Bevölkerung zu überprüfen.

In einer Pilotstudie wurde die Anreicherung von Platin, Palladium und Rhodium an nach VDI-Richtlinie exponierten, standardisierten Graskulturen (vgl. Abb. 13) an Autobahnabschnitten nahe Karlsruhe und Forst (A 5) sowie Pforzheim (A 8) untersucht.



Abb. 13: Graskulturexposition an der A 5 südlich von Karlsruhe.

Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend kurz zusammengefasst:

Emissionen aus Kfz-Katalysatoren stellen die größte Quelle für den Eintrag von Edelmetallen in die Umwelt dar, die - wie im vorliegenden Projekt an Autobahnen gemessen - zu Konzentrationen von maximal  $10 \mu\text{g}$  Platin/kg Trockenmasse Gras führten. Bei Konzentrationen in dieser Höhe sind nach derzeitigem Kenntnisstand keine Ertragsverluste und Wachstumsbeeinträchtigungen bei Nutzpflanzen zu erwarten.

Am Rand stark befahrener Straßen treten in ungünstigen Fällen Konzentrationen von max.  $100 \text{pg Pt/m}^3$  Luft auf. Derartige Konzentrationen sind nicht mit einem gesundheitlichen Risiko verbunden, da sie um ca. den Faktor 150 unter der Schwelle von  $15 \text{ng/m}^3$  liegen, bei der mit der Auslösung von allergischen Reaktionen bei empfindlichen Personen zu rechnen ist. Diese Zusammenhänge lassen den Schluss zu, dass die ermittelten Konzentrationen von maximal  $10 \mu\text{g}$  Platin/kg Trockenmasse Gras bisher nicht für die menschliche Gesundheit relevant sind.

Die Messung von Edelmetallimmissionen in der Nähe stark befahrener Straßen hat sich als sinnvoll zur Überwachung der Umweltauswirkungen der Katalysator-Technologie erwiesen. Sie sollte deshalb in das Dauerbeobachtungsprogramm der LfU aufgenommen werden. Unabhängig von dieser Erkenntnis besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Eintragungspfade in die Umwelt und der Wirkung von Platingruppenmetallen auf Lebewesen einschließlich des Menschen.

### Beispiel: GVP-Monitoring

Als perspektivischer Ansatz wird an dieser Stelle das Monitoring gentechnisch veränderter Pflanzen aufgeführt (GVP-Monitoring). Die EU-Freisetzungs-Richtlinie (2001/18/EG) zur Ausbringung gentechnisch veränderter Pflanzen verpflichtet die Mitglied-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

staaten zu einer ökologischen Begleitforschung bei der Ausbringung solcher Pflanzen. Gegenwärtig wird an der Entwicklung eines Konzeptes zum GVP-Monitoring auf Bundes- und Länderebene gearbeitet.

In Baden-Württemberg liegt ein solches Konzept im Entwurf vor. Ziel ist die Beobachtung der Wirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Umweltmedien und die Biodiversität, einschließlich der Wirkungen, die den Umwelt-, Natur- und Artenschutz berühren. Das Aufgabenspektrum umfasst u.a. die Ausbreitung von gentechnisch veränderten Sequenzen in Nicht-Zielorganismen, wie z.B. Kreuzungspartner und Bakterien. Als medienübergreifend angelegtes Umweltbeobachtungsprogramm bietet die Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg hierzu die notwendigen Voraussetzungen.

Seit ein großflächiges Ausbringen von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen bevorsteht, rücken vermehrt die Ökologischen Wirkungsketten in der Agrarlandschaft bei der Risikoforschung in den Vordergrund. In einem landeseigenen GVP-Monitoring soll zunächst der Raps im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen, da er ein hohes Auskreuzungspotential gegenüber wildlebenden Kreuzblütlern (z.B. Ackersenf) besitzt.



Abb. 14: Grünland-Dauerbeobachtungsfläche des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg.

Im Zusammenhang mit dem Untersuchungsprogramm zum oben beschriebenen Ökologischen Wirkungskataster sind in Baden-Württemberg seit über 15 Jahren Grünland-Dauerbeobachtungsflächen vorhanden (vgl. Abb. 2 und Abb. 14). Das hier durchgeführte Untersuchungsprogramm umfasst u.a. pflanzensoziologische Erhebungen sowie die Ermittlung der Arteninventare an Tieren und Pflanzen, Bodenuntersuchungen und die Schadstoffgehalte im Boden, in Tieren und Pflanzen. Teilweise liegen die genannten Dauer-

beobachtungsflächen in den Anbauswerpunktgebieten des Rapses, teilweise aber auch fern von diesen Gebieten. Dadurch bieten sich auf der Basis der Untersuchungsergebnisse aus der Vergangenheit sehr gute Vergleichsmöglichkeiten für ein GVP-Monitoring in der Zukunft.

### 4. Ausblick

Baden-Württemberg ist als hochindustrialisiertes, intensiv genutztes und dichtbesiedeltes Land zur Wahrung eines attraktiven Lebensumfeldes sowie zur Schaffung gesunder Arbeits- und Standortbedingungen auf eine nachhaltige Entwicklung im Umweltbereich angewiesen. Der weitere Erfolg der Umweltpolitik wird ganz wesentlich davon abhängen, effektive und kompetente Wege zu beschreiten, die diese Anforderungen erfüllen. Dazu bedarf die Umweltpolitik einer fachlichen Zuarbeit und Beratung über den aktuellen Zustand der Umwelt sowie deren langfristige Veränderungen. Die Medienübergreifende Umweltbeobachtung kann hierzu einen Beitrag leisten.

Aufbauend auf den bisherigen Arbeiten müssen die Verfahren und Methoden zur medienübergreifenden Interpretation von Messdaten fortentwickelt werden. Ein weiterer Bearbeitungsschwerpunkt beinhaltet die räumlich und zeitlich differenzierte Darstellung von Untersuchungsergebnissen unter Nutzung von geografischen Informationssystemen (GIS). Wegen der benötigten Daten steht und fällt dieser Ansatz mit der Fortführung der in Baden-Württemberg eingerichteten, sektoralen Messnetze.

### 5. Literatur

- Baum, F. & J. Hädrich (1995): CGW- und PCB-Kontamination. Rückstände von Chlorkohlenwasserstoff-Pestiziden und polychlorierten Biphenylen in Eiern wildlebender Vögel, insbesondere südwestdeutscher Wanderfalken. - Beihefte Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ. 82, 351-373.
- Berthold, P. (1997): Wandel der Avifauna Mitteleuropas im Zuge rezenter Umweltveränderungen. In: Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.): Zugvögel - Botschafter weltweiter Klima- und Lebensraumveränderungen. - Tagungsdokumentation. Stuttgart:11-16.
- Berthold, P. (1998): Vogelwelt und Klima - gegenwärtige Veränderungen. - Naturw. Rdsch., 51:337-346.

- Brechtel, F., Ehrmann, R. & P. Detzel (1996): Zum Vorkommen der Gottesanbeterin *Mantis religiosa* (LINNÉ, 1758) in Deutschland. - *Carolina*, 54: 73-90. Karlsruhe. 216 S.
- Böcker, R., Gebhardt, H., Konold, W., & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1995): Gebietsfremde Pflanzenarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope, Kontrollmöglichkeiten und Management. - Ecomed Verlag, Landsberg. 215 S.
- Gabriel, A. (1965): Geographische Probleme der Malaria. - *Anz. Schädlingsk.*, 38:145-150.
- Gebhardt, H., Kinzelbach, R. & S. Schmidt-Fischer - Hrsg. (1996): Gebietsfremde Tierarten - Auswirkungen auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope - Situationsanalyse. - Ecomed, Landsberg. 314 S.
- MAEZO-Projekt (2001): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren (Überträger) in Deutschland (MAEZO). - Internet-Bericht des Instituts für Medizinische Parasitologie, Universität Bonn. Bonn. 6 S.
- Ott, J. (2000): Die Ausbreitung mediterraner Libellenarten in Deutschland und Europa. In: Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz (Hrsg.): Klimaveränderungen und Naturschutz. - *NNA-Ber.*, 13. Jg., 2:13-35.
- Poiger, H. & CH. Schlatter (1997): Organische Verbindungen/Dioxine und Furane. 1-26. In: Wichmann, H. E., Schlipkötter, H. W. & G. Fülgraff (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin VI-4* - Ecomed, Landsberg.
- RHmV (2002): Verordnung über Höchstmengen an Rückständen von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln, Düngemitteln und sonstigen Mitteln in oder auf Lebensmitteln und Tabakerzeugnissen (Rückstands-Höchstmengenverordnung, RHmV). Letzte Änderung vom 16. Januar 2002; BGBl I 2002. 425 S.
- Schröder, W.; Broecker, F. & G. Schmidt (2002): Pilotvorhaben zur integrierenden ökologischen Umweltbeobachtung. Modellentwicklung für eine medienübergreifende Interpretation von Messdaten. - FuE-Vorhaben im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. 115 S.
- Toth, F., Hizsnyik, E., Fröhlich, A. & M. Stock (1996): Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg - Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In: Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (Hrsg.): *Mögliche Auswirkungen von Klimaänderungen auf das Land Brandenburg. - Pilotstudie: 92-117.*
- Weyer, F. (1956): Bemerkungen zum Erlöschen der ostfriesischen Malaria und zur Anopheles-Lage in Deutschland. - *Z. Tropenmedizin u. Parasitologie: 219-228.*

# Vorgehensbeispiele zur Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg an den Themen „Versauerung“ und „Klimafolgen“

Werner Franke, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

Im Folgenden wird die Vorgehensweise an der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg in Bezug auf eine Medienübergreifende Umweltbeobachtung an zwei Beispielen deutlich gemacht. Zunächst wird das Beispiel „Klimafolgen“ dargestellt, während zum zweiten Beispiel, der Versauerung, die beteiligten Akteure ihre Themen im Einzelnen darlegen.

## A. Klimafolgen

### 1. Ausgangslage

Seit Jahren werden Hinweise für eine Klimaveränderung auf vielen politischen Ebenen diskutiert. Durch die klimabedingte Änderung der Umweltbedingungen werden auch für Baden-Württemberg ökologische, ökonomische, sozio-ökonomische sowie gesundheitliche Fragen aufgeworfen. Die Vereinten Nationen haben auf diese Diskussion 1988 mit der Einrichtung des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) reagiert. In diesem Gremium sind führende Wissenschaftler versammelt, die über die Problematik berichten. In ihrem aktuellen Bericht vom Januar 2001 wird vom IPCC ausgeführt, dass

- der globale Klimawandel bereits begonnen hat,
- sich der Klimawandel im 21. Jahrhundert fortsetzen wird,
- der Klimawandel dramatischer ausfallen könnte, als bisher angenommen,
- die Erwärmung der letzten 50 Jahre im Wesentlichen anthropogen verursacht ist.

Die Auswirkungen von Klimaveränderungen in Deutschland sind nach heutigem Kenntnisstand je nach Lage der einzelnen Regionen (Küsten-, Mittelgebirgs-, Hochgebirgsregion) sehr unterschiedlich einzuschätzen. Dies gilt besonders auch im Hinblick auf regionalklimatische Entwicklungen. Auswirkungen sind u.a. zu erwarten auch für:

- Lebensgemeinschaften,

- Flächennutzung,
- Wirtschaft und
- Gesundheit.

### 2. Derzeitiger Stand

Die LfU befasst sich bereits seit Jahren mit Aspekten der Klimaveränderung auf die belebte Umwelt. Eine Auswertung von Fachpublikationen zur Zusammenstellung des derzeitigen Kenntnisstandes zum Thema „Klimaveränderungen und Auswirkungen auf Ökosysteme“ wurde vorgenommen. Arbeiten zur Auswertung möglicher klimainduzierter Befunde an Dauerbeobachtungsstellen (Wald, Grünland, Gewässer) sowie eine Auswertung von phänologischen Daten der letzten 30 Jahre für Baden-Württemberg wurden begonnen. Erste Ergebnisse zeigen beispielsweise, dass im Zeitraum 1990 bis 2000 eine Verlängerung der Vegetationsperiode um rund 14 Tage gegenüber dem Mittel aus den Jahren 1961 bis 1990 eingetreten ist. Außerdem wird eine zunehmende Ausbreitung wärmeliebender Tier- und Pflanzenarten bei uns beobachtet.

Die LfU hat seit 1990 aktiv am **Regio-Klima-Projekt (REKLIP)** mitgearbeitet. REKLIP war ein trinationales Klima-Forschungsprogramm (Deutschland, Frankreich, Schweiz) mit dem Ziel, die klimatischen Vorgänge im mittleren und südlichen Oberrhein- und Hochrheintal zwischen den Gebirgszügen Jura, Vogesen und Schwarzwald zu untersuchen. Auf Basis der bei der LfU vorliegenden Daten und Erkenntnisse können auch Aussagen zur Beurteilung von außergewöhnlichen Witterungsereignissen, wie zum Beispiel Orkan „Lothar“, getroffen werden.

Seit 1997 ist die LfU mit der Wahrnehmung der Aufgaben im Rahmen des Kooperationsvorhabens "Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft" (KLIWA) beauftragt worden. Im Kooperationsvorhaben KLIWA haben die Länder Baden-Württemberg (vertreten durch das Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg) und Bayern (vertreten durch das Bayerische Staatsministerium

für Landesentwicklung und Umweltfragen) sowie der Deutsche Wetterdienst im Jahre 1999 eine längerfristige gebiets- und fachübergreifende Zusammenarbeit vereinbart. Die Ministerien steuern das Projekt KLIWA.

Im Rahmen von KLIWA werden alle mit dem Medium Wasser zusammenhängenden Fragestellungen untersucht. Dabei werden die Auswirkungen einer Klimaveränderung auf die wasserwirtschaftlichen Handlungsfelder (Hochwasserschutz, Wasserversorgung, Gewässerschutz, Gewässerentwicklung, Nutzung der Gewässer) im regionalen Bereich untersucht, Konsequenzen aufgezeigt sowie Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung der sozioökonomischen Folgewirkungen entwickelt. Die Untersuchungen erstrecken sich auf die Fließgewässer, die stehenden Gewässer und das Grundwasser.

Das Kooperationsvorhaben KLIWA liefert grundlegende Ausgangswerte aus den Bereichen Meteorologie und Wasser für die Untersuchungen zur belebten Umwelt. Insbesondere die Auswertungen der langjährigen (z.T. >100 Jahre) hydrologischen und hydrometeorologischen Zeitreihen, die Bereitstellung von Klimaszenarien mit regionalen Klimamodellen und die daran anschließenden Berechnungen mit den Wasserhaushaltsmodellen bilden eine verlässliche Grundlage, auf der den Fragestellungen zur belebten Umwelt nachgegangen werden kann.

Durch die zahlreichen Kontakte und die Zusammenarbeit mit auf dem Gebiet der Klimaforschung national und international anerkannten Institutionen wurden bisher vielfältige Erfahrungen gesammelt, Kenntnisse gewonnen und Fachkompetenz erworben.

### 3. Ziele

Neben der Aufarbeitung der Grundlagen und deren Darstellung gehören entsprechende Ableitungen für das Land Baden-Württemberg zum Ziel dieses Vorhabens. Die rechtzeitige Erstellung von Prognosen und Szenarien zu den Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die belebte Umwelt ist für eine zielführende und umfassende Politikberatung, aber auch zur Erfüllung von Berichtspflichten nötig.

Besonders auf nationaler und regionaler Ebene müssen die Kenntnisse über mögliche, klimainduzierte Veränderungen in der Umwelt erweitert werden. Insbesondere zum Bereich der Klimawirkungen auf die belebte Umwelt liegen bisher nur wenige Kenntnisse vor. Konkrete, landesbezogene Lösungsansätze und Maßnahmenvorschläge sind zu erarbeiten. Die Klima-

forschung, die interdisziplinär und medienübergreifend angelegt ist, liefert hierbei Grundlagen, die über eine integrative Umweltbeobachtung validiert und ergänzt werden müssen

### 4. Vorgehensweise

Im Rahmen einer abteilungsübergreifenden Projektgruppe werden die vorliegenden Beobachtungen, Erkenntnisse und Ergebnisse zusammengestellt und bewertet. Daraus werden die weiteren Arbeitsschritte abgeleitet. Die Ergebnisse der Arbeiten werden regelmäßig berichtet und in Absprache mit dem UVM vertieft.

### B. Versauerung

Der medienübergreifende Untersuchungsansatz zu Fragestellungen zur anthropogenen Beeinträchtigung der Umwelt kann durch die Verknüpfung der in den Umweltmessnetzen des Landes erhobenen Daten sinnvoll umgesetzt werden. Hierzu wurde in einem ersten Schritt eine abteilungsübergreifende Zusammenarbeit zum Thema „Versauerung“ unter Berücksichtigung von Expertenwissen sowie die Abstimmung von Ergebnissen vereinbart.

Konkret ist mit der Bearbeitung des Themas „Versauerung“ abteilungsübergreifend begonnen worden. Die einzelnen Themenbereiche werden im Folgenden von den beteiligten Bearbeitern dargestellt.

# Immission und Deposition von versauernd wirkenden Luftverunreinigungen in Baden-Württemberg

Yvonne Buchleither, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Zusammenfassung

Die Luftverunreinigungen  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  und ihre Umwandlungsprodukte  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  sind die Hauptverursacher des „Sauren Regen“, der die Pflanzen, Böden, Gewässer und Sachgüter beeinflusst.

Wie die Ergebnisse aus den beiden Untersuchungsprogrammen zeigen, nahmen, dank des europaweiten Einbaus von Rauchgasentschwefelungsanlagen bei Kraftwerken und des Einsatzes von schwefelarmen Brennstoffen für Heizungen, die Schwefelkomponenten ab.

Die Gehalte der Stickstoffverbindungen bleiben relativ unverändert. Hier wirken sich die Zunahme der Fahrleistung, der zugelassenen Kraftfahrzeuge sowie der mit Dieselmotoren ausgestatteten PKWs und leichten Nutzfahrzeugen aus.

Nach wie vor gelangen die Depositionen in empfindlich reagierende Standorte wie den Schwarzwald bzw. den Nordschwarzwald oder den Odenwald und führen zu Veränderungen oder Schädigungen der Vegetation bzw. der Böden.

Die Ergebnisse der Nitratdeposition verdeutlichen, dass gerade an diesen empfindlichen Standorten (Nordschwarzwald, Odenwald) ca. 30% mehr Nitrat eingetragen werden, als dies im Mittel für die Naturräume in Baden-Württemberg zu erwarten wäre. Ähnlich verhält es sich für die Sulfateinträge. Die Ursachen hierfür sind die hohen Niederschläge (1800 – 2000 mm) und der Auskämmeffekt der Laub- und Nadelwälder.

## 2. Einleitung

Die Luft besteht aus den Hauptkomponenten Stickstoff und Sauerstoff und aus einer Vielzahl weiterer gas- und partikelförmiger Komponenten, die aus biologischen Quellen wie Vulkanausbrüchen, Waldbränden, Staubaufwirbelungen, Pollenflug, Blitzen etc. stammen. Weitere Komponenten gelangen durch anthropogene Einflüsse aus Industrie, Verkehr, intensiver Landwirtschaft und Hausbränden in die Atmosphäre.

Diese emittierten Luftverunreinigungen wirken als Immissionen auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Böden, Gewässer und Sachgüter ein oder lagern sich als Depositionen in unsere Umwelt ab.

Das Hauptaugenmerk liegt hier bei Luftverunreinigungen, die zur Versauerung der Niederschläge sprich zum „Sauren Regen“ führen.

Dabei handelt es sich um das bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern (schwefelhaltige Kohle, Erdöl oder Holz) freier werdende Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Seine Lebensdauer beträgt 3-12 Tage, dabei wird es über Wind und Wolken auch in Emittenten ferne Gebiete transportiert. Während dieses Transports finden chemische Prozesse (z.B. Oxidation) statt, so dass  $\text{SO}_2$  u. a. in Form von Sulfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) durch die Niederschläge in die belebte und unbeliebte Umwelt eingetragen wird. Dieser Eintrag findet verstärkt in niederschlagsreichen Höhenlagen und in Reinluftgebieten (Schwarzwald) statt.

Als weitere versauernd wirkende Komponenten sind die Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) zu nennen. Bei allen Verbrennungsprozessen (Industrie und Verkehr) wird primär Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) freigesetzt und in der Atmosphäre über verschiedene chemische Mechanismen (Oxidation durch Ozon) zu Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) oder Nitrat ( $\text{NO}_3$ ) umgewandelt.

Die bei beiden Vorgängen gebildeten Säuren wie Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) oder Schwefelsäure lagern sich zu Aerosolen zusammen und stellen somit die Verursacher des „Sauren Regens“ dar.

Die Gebiete die besonders empfindlich auf versauernd wirkende Stoffeinträge reagieren, sind in Baden-Württemberg die sorptionsschwachen Böden auf Buntsandstein mit Waldnutzung im Schwarzwald und im Odenwald.

Die vorgestellten Untersuchungsergebnisse beziehen sich überwiegend auf diese Region.

### 3. Messnetze und Methode

In Baden-Württemberg werden die Luftverunreinigungen über das Luftmessnetz und das Depositionsmessnetz überwacht, die beide von der UMEG Zentrum für Umweltmessung, Umwelterhebung und Gerätesicherheit betrieben werden.

#### 3.1 Luftmessnetz

Das Luftmessnetz begann 1966 in den Städten Stuttgart, Mannheim und Karlsruhe und wurde sukzessiv auf den heutigen Stand von ca. 60 Stationen erweitert. Zur Zeit werden die Immissionen an städtischen Messstationen, an Verkehrsmessstationen sowie an vier Hintergrundmessstationen erfasst. Die Untersuchungsstandorte liegen wie Abbildung 1 zeigt überwiegend in den Ballungsgebieten.

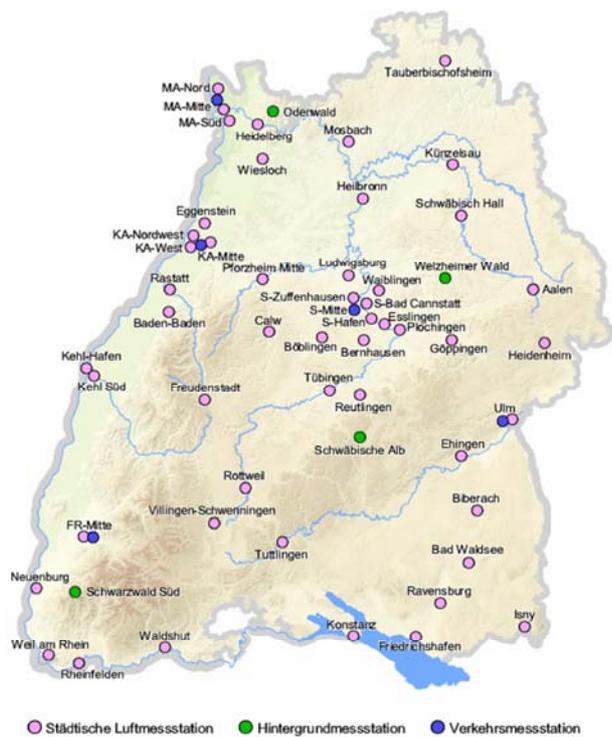


Abb. 1: Luftmessnetz von Baden-Württemberg (Quelle: LFU, UMEG)

An diesen Luftmessstationen wird seit den 80-er Jahren kontinuierlich mit automatischen Analysegeräten aktiv Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Ozon (O<sub>3</sub>), Schwebstaub (PM<sub>10</sub>) und die Inhaltsstoffe Ruß, NMVOC etc. erfasst.

#### 3.2 Depositionsmessnetz

Als Schwerpunkt werden die atmosphärischen Stoffeinträge an 24 Standorten in den verschiedenen Natur-

räumen in Baden-Württemberg untersucht. Die Standorte liegen in dünn besiedelten, Emittenten fernen Regionen mit verschiedenen klimatischen Einflüssen und unterschiedlichen orographischen Gegebenheiten z.B. trockene Tallage (Tauberland) oder niederschlagsreiche Hochlage (Schwarzwald). Für die Ballungsgebiete wurden in Mannheim sechs Standorte und in Karlsruhe acht Standorte ausgewählt, die zum Teil auch in den 70-er Jahren beprobt wurden (s. Abb. 2). An diesen Standorten wird die Gesamtdeposition, (gas- und partikelförmiger Eintrag sowie Eintrag über Niederschläge) jeweils in zwei Bulk-Sammler (Bergerhoff-Gefäßen) aufgefangen. Die Gefäße werden monatlich ausgetauscht und auf den Gesamtstaub sowie das darin enthaltene Sulfat (SO<sub>4</sub>) und Nitrat (NO<sub>3</sub>) untersucht.

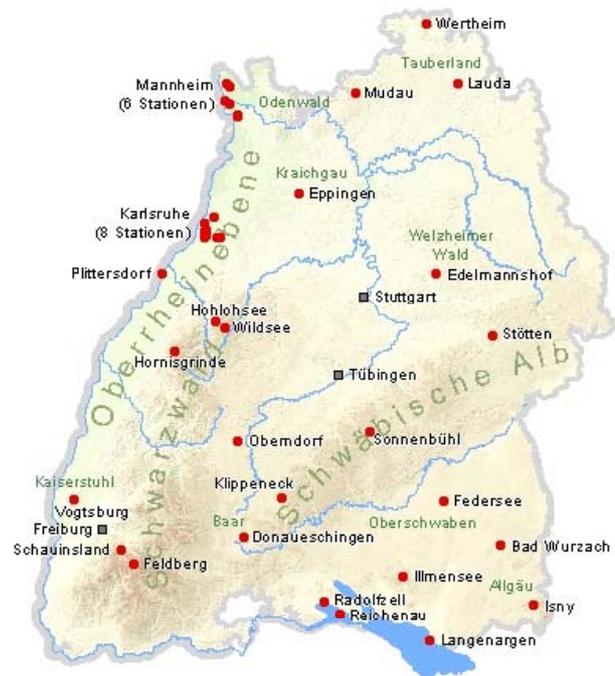


Abb. 2: Depositionsmessnetz von Baden-Württemberg (Quelle: LfU, UMEG)

Zusätzlich wurde an sieben Standorten (z. B. Hornisgrinde) in den Jahren 1994, 1995, 1996, 1999 und 2002 die nasse Deposition mit Hilfe von wet-only-Sammler (Gefäße nur bei Regen, Schnee oder Graupel geöffnet) bestimmt.

### 4. Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse der letzten zehn Jahre zeigen für die Schwefel- und Stickstoffkomponenten unterschiedliche Tendenzen.

4.1 Immission und Deposition

In den Ballungsgebieten bzw. Stadtgebieten war in den letzten zehn Jahren eine deutliche Abnahme der Schwefeldioxid-Immissionen z.B. von 20 µg/m³ in Mannheim auf unter 10 µg/m³ erkennbar (Abb. 3). An der Hintergrundstation (Schwarzwald-Süd) lagen die SO<sub>2</sub>-Konzentrationen innerhalb dieses Zeitraum unterhalb von 5 µg/m³. Die deutliche Abnahme der Schwefeldioxidkonzentration in den Ballungs- bzw. Stadtgebieten ließ den Unterschied zu den Hintergrundsstandorten im Verlauf dieser zehn Jahre verringern.

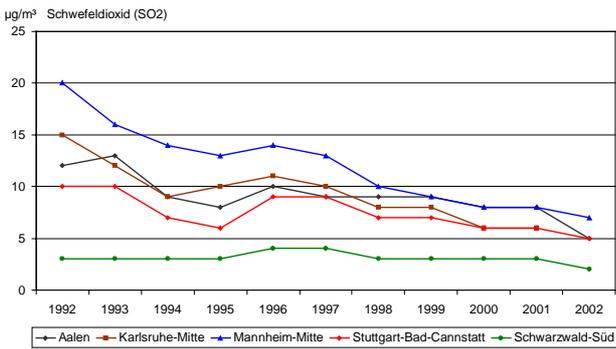


Abb. 3: Schwefeldioxid-Immission in Baden-Württemberg (Quelle: UMEG, LfU)

Ebenso nahmen die Sulfateinträge in den letzten zehn Jahren in den Naturräumen z.B. auf der Hornisgrinde von ca. 11 mg/m<sup>2</sup>\*d auf ca. 6 mg/m<sup>2</sup>\*d ab (Abb. 4) und blieben seit 1997 auf einem relativ gleichem Niveau. Erkennbar ist auch, dass in den niederschlagsreichen Höhenlagen des Schwarzwaldes die maximalen Sulfateinträge vorlagen. Die Schwankungen bei den Sulfateinträgen an den einzelnen Untersuchungsstandorten haben im Verlauf der letzten zehn Jahre abgenommen.

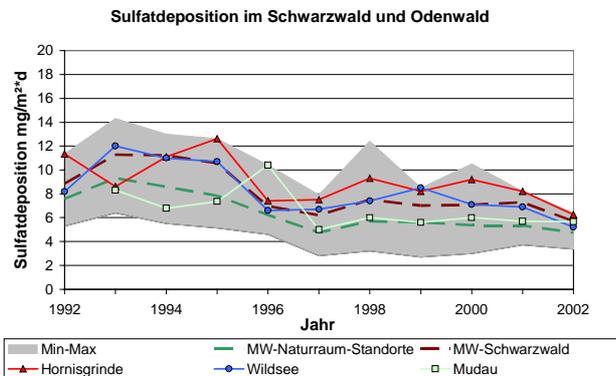


Abb. 4: Sulfatdeposition im Schwarzwald und Odenwald (Quelle: UMEG, LfU)

Bei den Stickstoffkomponenten war im Gegensatz zu den Schwefelkomponenten eine minimale bis keine

Abnahme erkennbar (Abb. 5). Die mittlere jährliche Stickstoffdioxid-Immission sank in Karlsruhe 1992 von 50 µg/m³ auf 40 µg/m³ im Jahre 2002 ab. Für Aalen belief sich in den letzten zehn Jahren der Jahresdurchschnitt bei ca. 26 µg/m³. Aalen ist somit weniger stark mit NO<sub>2</sub>-Immissionen belastet als die industrie- und verkehrsreichen Ballungsgebiete Mannheim, Stuttgart und Karlsruhe, jedoch blieben die Immissionswerte unverändert. An der Hintergrundstation Schwarzwald-Süd konnten die geringsten NO<sub>2</sub>-Immissionen von ca. 5 µg/m³ nachgewiesen werden. Die Unterschiede der Untersuchungsstandorte bzgl. vorhandener Emittenten (Industrie und Verkehr) spiegeln die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen wider.

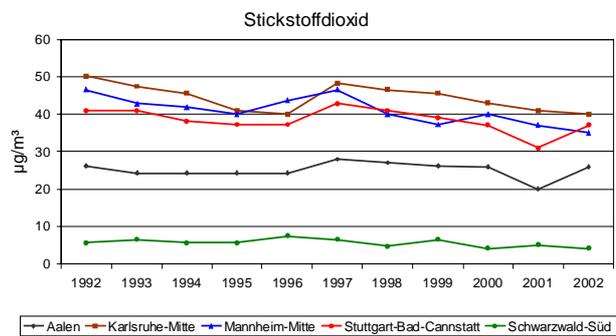


Abb. 5: Stickstoff-Immissionen in Baden-Württemberg (Quelle: UMEG, LfU)

Die Nitratdepositionen im Schwarzwald und im Odenwald liegen deutlich über dem Jahresdurchschnitt der Naturräume insgesamt. Maximale Stickstoffeinträge konnten am Feldberg und am Wildsee gemessen werden (Abb. 6). Die Einträge schwankten in den letzten zehn Jahren am Schwarzwald zwischen ca. 5 und 11 mg/m<sup>2</sup>\*d, die Tendenz ist minimal abnehmend bis gleich bleibend. Im Odenwald nahmen von 1993 bis 2002 die Nitratreinträge von 5 auf 7,5 mg/m<sup>2</sup>\*d zu.

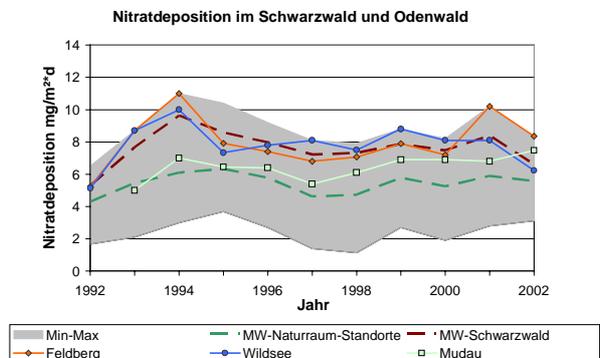


Abb. 6: Nitratdepositionen im Schwarzwald und Odenwald (Quelle: UMEG, LfU)

### 4.3 Versauernd wirkende Deposition

Bei der Oxidation der gasförmigen Verbindungen von  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{NH}_3$  mit z.B. Ozon bilden sich Sulfat, Nitrat und Protonen werden dabei frei. Der Säureeintrag kann über die ermittelten Depositionen von Sulfat, Nitrat und Ammonium berechnet werden. Den Verlauf der Säureäquivalente der letzten zehn Jahre an den Standorten im Schwarzwald bzw. am Odenwald gibt Abb. 7 wieder. Bei dieser Berechnung konnte die Protonenfreisetzung aus Ammonium nicht berücksichtigt werden, da diese Komponente im Rahmen des Depositionsmessnetzes nicht miterfasst wird.

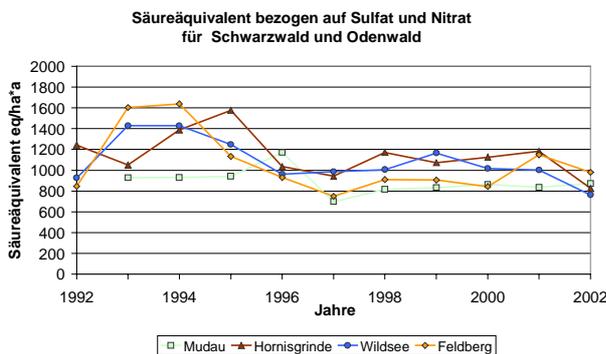


Abb. 7: Säureäquivalente bezogen auf Sulfat und Nitrat (Quelle: UMEG, LfU)

Maximale Säureeinträge von 1600 eq/ha\*a konnten 1993 und 1994 am Feldberg und 1995 auf der Hornisgrinde nachgewiesen werden. Ab 1996 liegen die Säureäquivalente zwischen 800 und 1200 eq/ha\*a. Die kritische Belastungsgrenze (Critical Loads) für den Eintrag an Schwefel- und Stickstoffgesamtdepositionen wird am Schwarzwald und Odenwald mit 1000 bis 2000 eq/ha\*a Säureeintrag erreicht (s. Abb. 10, UBA Critical Loads). Der gemessene Eintrag liegt etwas unterhalb bzw. innerhalb der Belastungsgrenze, jedoch fehlt bei dieser Berechnung der Ammoniumanteil. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei Berücksichtigung aller Komponenten die Critical Loads überschritten werden.

Die Verteilung der untersuchten Komponenten geben Abbildung 8 und 9 für die Standorte Hornisgrinde und Feldberg wieder. Die Sulfat- und Nitratanteile schwanken leicht im gesamten Untersuchungszeitraum.

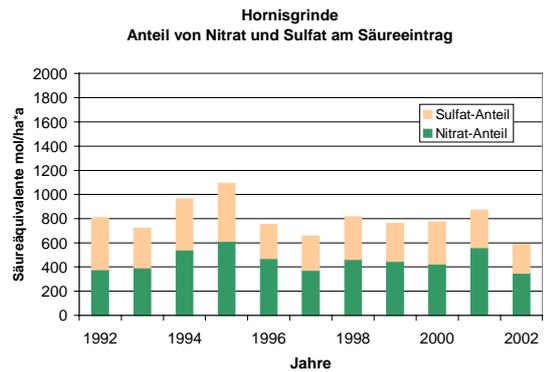


Abb. 8: Anteil von Sulfat und Nitrat am Säureeintrag auf der Hornisgrinde (Quelle: UMEG, LfU)

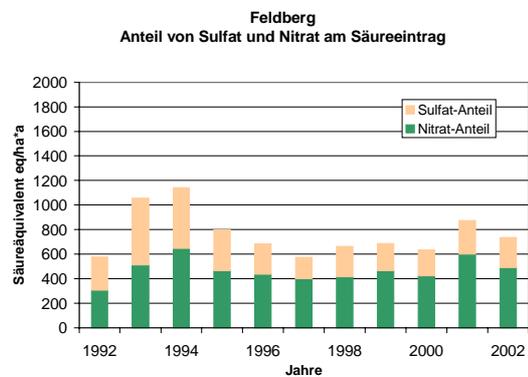
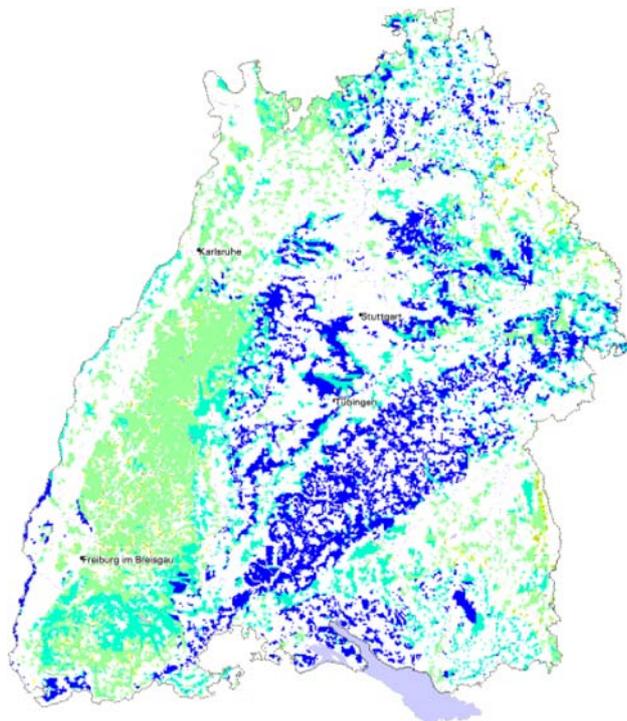


Abb. 9: Anteil von Sulfat und Nitrat am Säureeintrag auf dem Feldberg (Quelle: UMEG, LfU)

Erkennbar wird die Abnahme des Sulfatanteils am Säureeintrag. Dies wirkt sich doppelt aus, da pro Sulfatäquivalent zwei Säureäquivalente berechnet werden. An beiden Standorten nimmt der Anteil der Säureeinträge aus Nitrat zu, besonders deutlich erkennbar am Feldberg. Der Kurvenverlauf der Säureäquivalente aus Abbildung 7 ist zu erst bis ca. 1996 durch die Abnahme des Sulfatanteils und danach durch den gleich bleibenden bis steigenden Nitratanteil geprägt. Dies verdeutlicht, dass die Stickstoffkomponenten insgesamt (hier nur Nitrat) einen wichtigen Anteil am Säureeintrag ausmachen.

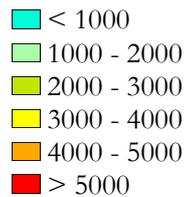


Quellen:

ÖKO-DATA, Strausberg, DWD, Offenbach  
BGR, R. Hartwich et al., 1995 INS, Stuttgart; RIVM,  
Bilthoven; StBA, CORINE Land Cover

Säure (eq ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)

keine Überschreitung



Quelle: UBA –critical loads

Abb. 10: Überschreitung der Critical Loads, CL(S+N) durch die Schwefel- und Stickstoffgesamtdeposition 1995

## 5. Fazit

Dank der europaweiten Maßnahmen konnten die Einträge an Schwefelkomponenten deutlich reduziert werden. Bei den Stickstoffkomponenten jedoch, scheinen die bisherigen Emissions-Minderungsmaßnahmen nicht ausreichend. Die Bedeutung des Stickstoffeintrags bzgl. seiner versauernden und eutrophierenden Wirkung nimmt zu. Aus diesem Grund ist die Erfassung weiterer Stickstoffkomponenten wie z.B. Ammonium in der Deposition sowie Ammoniak in der Immission wichtig. Dadurch nimmt die Bewertung der Stickstoffeinträge bzgl. ihrer versauernden und/oder eutrophierenden Wirkungen an Aussagekraft zu.

## 6. Literatur

Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. 1999 (Hrsg.): Ökologische Belastungsgrenzen Critical Loads & Levels – Ein internationales Konzept für die Luftreinhaltepolitik; Berlin, Heidelberg Springer-Verlag.

UBA 2002: Umweltbundesamt (Hrsg.): Jahresbericht 2001 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. Texte 69/2002, Berlin, S. 85 – 105.

UMEG (1992 - 2001) Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit: Jahresberichte (1992-2001).

<http://www.lfu.bwl.de/lfu/abt3/luft/index.html>

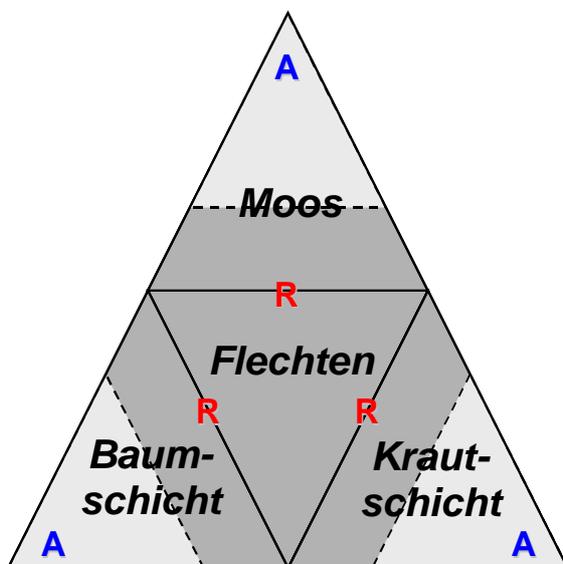
LfU (2003) Landesanstalt für Umweltschutz: Depositionsmessnetz in Baden-Württemberg (im Druck)

# Kartierung der epiphytischen Flechtenvegetation in Baden-Württemberg

Frank Broecker, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Einleitung

Um die Belastung durch Immissionen und deren Wirkung auf Wälder abschätzen zu können, werden im Rahmen der Untersuchungen des ökologischen Wirkungskatasters umfangreiche vegetationskundliche und faunistische Untersuchungen nach dem Prinzip der passiven Bioindikation durchgeführt. Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau der Bioindikation aus dem Bereich der Vegetation auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LfU). Neben den Untersuchungen in der Kraut- und Baumschicht werden auch Moose und Flechten als Bioindikatoren genutzt.



**A = Akkumulationsindikator**

**R = Reaktionsindikator**

Abb. 1: Passives Biomonitoring der Vegetation auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen des Ökologischen Wirkungskatasters.

## 2. Methoden

Flechten eignen sich aufgrund ihrer Konstitution und Biologie hervorragend als Bioindikatoren. Sie werden im ökologischen Wirkungskataster bislang als Reaktionsindikatoren eingesetzt. Flechten sind langlebige Organismen, die der Wirkung von Immissionen stän-

dig ausgesetzt sind. Eine jahreszeitliche Minderung bzw. Vermeidung der Einwirkung durch Abwurf oder Erneuerung von Organen wie bei den höheren Pflanzen ist den Flechten nicht möglich. Flechten nehmen gasförmige und gelöste Immissionen mit der gesamten Oberfläche auf und sind - anders als höhere Pflanzen - nicht durch ein Abschlussgewebe geschützt. Durch ihre besondere Organisation, nämlich der Symbiose zwischen Alge und Pilz, sind die Flechten als besonders anfällige Organismen gegenüber Luftverunreinigungen anzusehen.

Einige Luftverunreinigungen bestimmen in besonderem Maße das Vorkommen und die Artenzusammensetzung der Flechtengesellschaften. Eine große Rolle spielt dabei das Schwefeldioxid, der Menge und Verbreitung nach einer der bedeutendsten Luftschadstoffe. SO<sub>2</sub>-Immissionen sind maßgeblich an der Entstehung des sog. "sauren Regens" beteiligt und tragen somit einen großen Anteil an der Versauerung von Böden und Gewässern und den damit verbundenen negativen Wirkungen auf Flora und Fauna bei. Die Reaktion auf Immissionen kann allerdings bei den einzelnen Flechtenarten in unterschiedlichem Maße ausfallen. Manche Arten verschwinden bereits bei geringen Luftbelastungen, andere Flechtenarten überdauern selbst große Luftverunreinigungen und man findet sie daher auch noch in Ballungsgebieten. Diesen Effekt kann man sich sowohl bei großräumigen Untersuchungsansätzen - wie dem landesweiten ökologischen Wirkungskataster - zunutze machen, um Belastungsschwerpunkte von weniger stark belasteten Räumen abzugrenzen, als auch bei kleinräumigen emittentennahen Kartierungen.

Auf den 60 Wald-Dauerbeobachtungsflächen wurden bislang vier Kartierungen der epiphytischen Flechtenvegetation durchgeführt:

Kartierung 1: Herbst 1985 bis Herbst 1986

Kartierung 2: Herbst 1990 bis Frühjahr 1992

Kartierung 3: Sommer/Herbst 1996

Kartierung 4: Sommer/Herbst 2002

Die Methodik (LFU 1991) zur Flechtenerhebung im Rahmen des Ökologischen Wirkungskatasters sieht zwei Arbeitsgänge vor: (1) Eine möglichst vollständige Registrierung aller Flechtenarten in der sog. Pufferzo-

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

ne der Wald-Dauerbeobachtungsfläche und (2) eine flächengenaue Registrierung aller Flechtenlager eines abgegrenzten Stammbereiches an insgesamt vier Aufnahmebäumen je Standort. (s. Abb. 2). Beim ersten Arbeitsgang handelt es sich um eine Kartierung zur Erfassung des vollständigen Flechtenarteninventars auf der gesamten Wald-Dauerbeobachtungsfläche. Dabei werden, neben den epiphytisch wachsenden, auch boden-, totholz- oder gesteinsbesiedelnde Flechten erfasst. Es ergibt sich daraus einerseits die Möglichkeit qualitativ den Wandel der einzelnen Wald-Dauerbeobachtungsflächen im zeitlichen Kontext zu beschreiben. Andererseits kann man über den Vergleich des Arteninventars der Waldflächen eine Einordnung hinsichtlich bestimmter Luftbelastungen erreicht werden. Artenarmut oder -reichtum sowie das Fehlen oder Vorkommen besonders resistenter oder empfindlicher Arten lassen somit – unter Berücksichtigung der (lokal)-klimatischen Gegebenheiten – Rückschlüsse auf die Luftqualität eines Gebietes zu. Auch der zweite Arbeitsgang ist für diese Zwecke angelegt, jedoch bietet sich hier über die flächengenaue Registrierung der Flechtenthalli die Möglichkeit einer Quantifizierung des Zurückgehens oder Aufkommens der Arten. Abbildung 2 skizziert die Vorgehensweise dieser Methode. Zunächst wird am Trägerbaum eine volltransparente Plastikfolie innerhalb eines dauerhaft markierten Bereiches im vollen Umfang des Stammes

angebracht. Auf dieser Plastikfolie werden anschließend mit dauerhaften Filzschreibern mit unterschiedlichen Farben und Signaturen die Umrisse der Flechtenlager nachgezogen. Durch die Wiederholungskartierungen ist es somit möglich selbst geringe quantitative Veränderungen im Flechtenbewuchs (Änderung von Deckung, Abundanz und Artenstruktur) zu erfassen. Die Dynamik der Flechtengesellschaften, die die Entwicklung der allgemeinen lufthygienischen Situation widerspiegeln, kann damit nachvollzogen werden.

Die Bestimmung der Flächengröße der einzelnen Flechtenthalli kann entweder durch Planimetrieung der Folien (dieses Verfahren wurde im Falle der ersten und zweiten Flechtenerhebung angewandt) oder durch Digitalisierung der Folien (Vorgehensweise bei der dritten und vierten Flechtenkartierung) erreicht werden. Das Verfahren der Digitalisierung bietet den Vorteil, dass die Ergebnisse der Kartierung mithilfe eines GIS ausgewertet und visualisiert werden können. Beispielhaft ist dieses Vorgehen in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Abbildung 3 zeigt den Zustand des Trägerbaumes 2 der Wald-DBF Bad Waldsee im Jahre 1996. In Abbildung 4 ist der Flechtenbesatz des gleichen Baumes im Jahre 2002 abgebildet.



Abb. 2: Vorgehensweise zur flächengenaue Registrierung aller Flechtenlager eines abgegrenzten Stammbereiches.

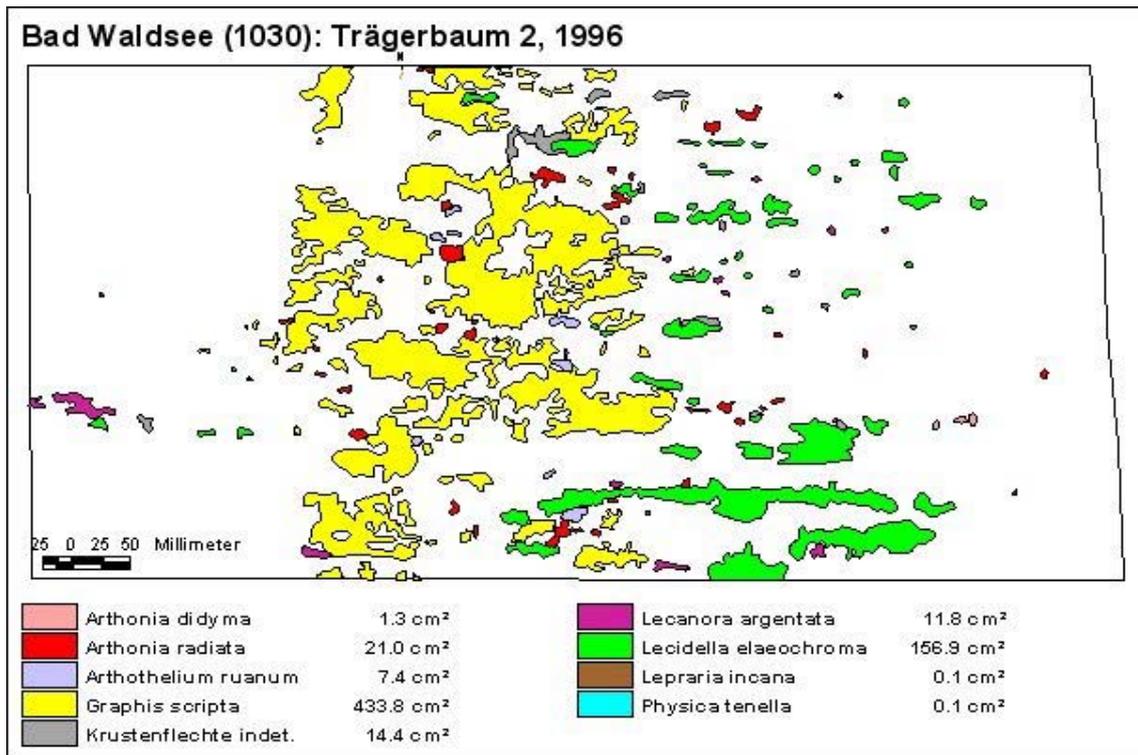


Abb. 3: Flechtenkartierung auf der Wald- Dauerbeobachtungsfläche Bad Waldsee 1996: Trägerbaum 2.

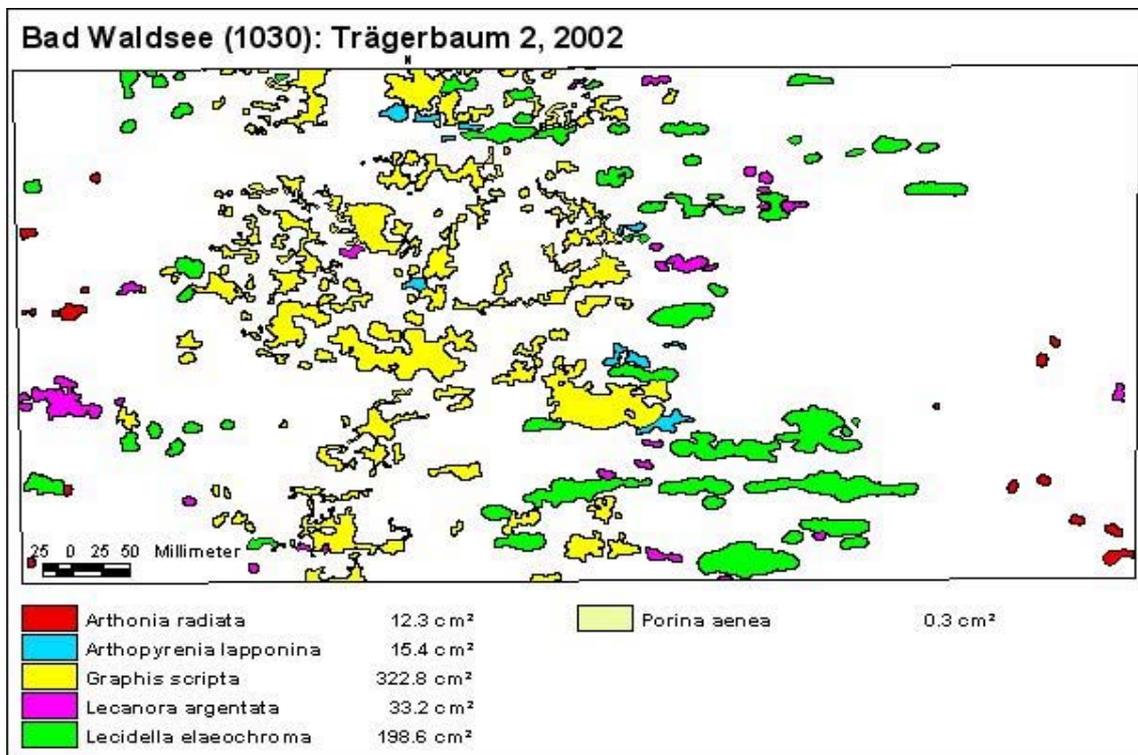


Abb. 4: Flechtenkartierung auf der Wald-Dauerbeobachtungsfläche Bad Waldsee 2002: Trägerbaum 2.

### 3. Ergebnisse

Seit Beginn der ersten Kartierungen auf den Wald-DBF des Ökologischen Wirkungskatasters zeigt die Entwicklung der Flechten eine massive, landesweite Abnahme der SO<sub>2</sub>-Belastung bis in die Gegenwart an. Dokumentiert wird dieser Sachverhalt durch die Abnahme der gegenüber versauernd wirkenden Luftverunreinigungen als besonders resistent geltenden Flechte *Lecanora conizaeoides* (s. Abb. 5). Das Grundlagenwerk für die Flechten Baden-Württembergs (WIRTH 1995) charakterisiert *Lecanora conizaeoides* folgendermaßen: "Bis in die montane Stufe auf ziemlich - extrem saurer Rinde von Laub- bis Nadelbäumen, vereinzelt auch auf saurem Silkatgestein, besonders an durch saure Luftverunreinigungen (SO<sub>2</sub>) stark angesäuerten Substraten, klimatisch sehr euryök, in schattigen Wäldern, wie an freistehenden Bäumen, eutrophierte Rinden erst bei stärkerer Ansäuerung besiedelnd, sehr toxis tolerant, am weitesten in industrielle und urbane Räume vordringende epiphytische Flechte, ...; sehr häufig in luftverunreinigten Gebieten, sehr selten in Reinluftgebieten (unter 10 µg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>)".



Abb. 5: Die Flechtenart *Lecanora conizaeoides*.

An zahlreichen, als stark belastet eingestuften Wald-DBF, die 1986 und abgeschwächt noch Anfang der 1990er Jahre durch die Dominanz von *Lecanora conizaeoides* gekennzeichnet waren, hat sich der Trend der Abnahme dieser, durch saure Immissionen geförderten Art, bis heute fortgesetzt. Bereits die zweite Flechtenerhebung Anfang der 1990er Jahre offenbarte an fast allen artenarmen Wald-DBF einen Rückgang dieser besonders toxis tolerant Flechtenart. Mittlerweile ist *Lecanora conizaeoides* an mehreren Standorten ganz verschwunden. Eine derart gleichsinnige Entwicklung kann nur als floristische Reaktion auf eine großflächige Abnahme versauernder Immissionen angesehen werden. Die erhebliche Verbesserung der lufthygienischen

Situation wird auch verdeutlicht durch das Auftreten von neuen, empfindlicheren Arten an ehemals flechtenartenarmen Wald-DBF. Auffälligstes Beispiel dieser Entwicklung ist die Dauerbeobachtungsfläche im Käfertaler Wald in unmittelbarer Nähe des Mannheimer Stadtzentrums. Im Jahr 1990 konnten hier nur zwei Flechtenarten (*Lecanora conizaeoides* und die ebenfalls sehr toxis tolerante Art *Lepraria incana*) registriert werden. Die Kartierung des Jahres 1996 erbrachte bereits ein Artenspektrum von bereits sechs epiphytischen Flechten. Der bislang letzte Durchgang im Jahr 2002 erhöhte diese Zahl nochmals um weitere fünf Arten auf insgesamt elf. Auffallend ist, dass inzwischen auch Flechten hinzugekommen sind deren Toleranz gegenüber versauernd wirkenden Immissionen nur als mittel eingestuft wird (*Micarea prasina*, *Buellia griseovirens*).

Der Umfang des Rückganges von *Lecanora conizaeoides* und dessen zeitlicher Verlauf kann auch durch die oben beschriebene Methode (Arbeitsgang 2: Bestimmung der Flächengröße der Thalli) quantitativ nachvollzogen werden (Abb. 6). Dargestellt ist der mittlere Anteil auf den Folien der Flechte *Lecanora conizaeoides* pro Wald-DBF in Prozent. Die Ergebnisse der Flächenauswertungen für das Jahr 2002 liegen noch nicht komplett vor. Insgesamt verdeutlicht Abbildung 6 die ganz erhebliche Zunahme von Wald-DBF auf denen *Lecanora conizaeoides* einen rückläufigen Anteil des Flächenanteiles aufweist. Ausserdem ist zu erkennen, dass der nördliche Teil des Landes Baden-Württemberg wesentlich stärker durch SO<sub>2</sub>-Immissionen geprägt ist als der südliche Landesteil.

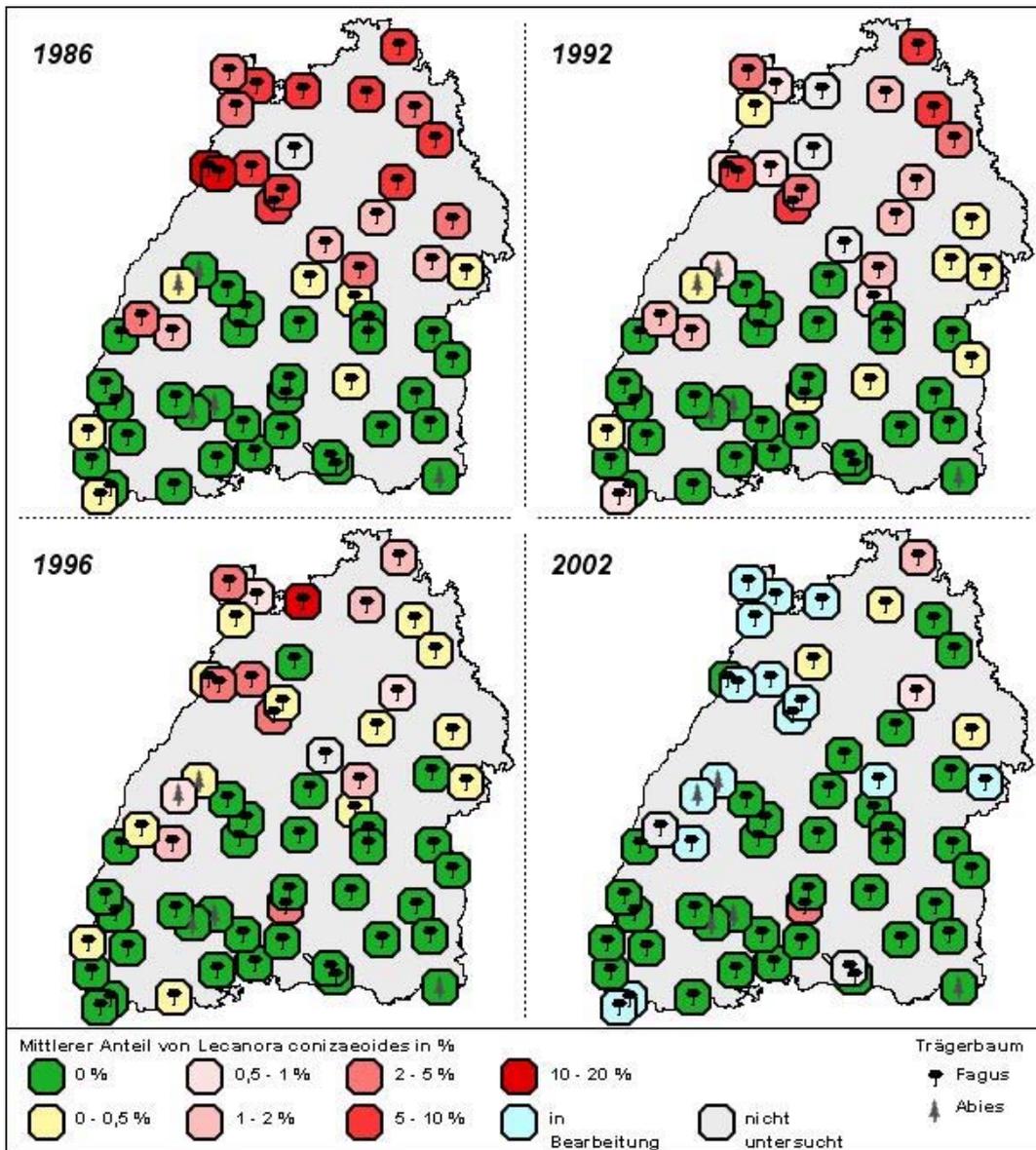


Abb. 6: Mittlerer Anteil der Flechte *Lecanora conizaeoides* auf den Folien pro Wald-Dauerbeobachtungsfläche in Prozent.

Abbildung 7 fasst die Ergebnisse der Flechtenkartierungen hinsichtlich des Vorkommens von *Lecanora conizaeoides* über den gesamten Untersuchungszeitraum in einer Grafik zusammen: Es wird deutlich, dass seit Anfang der 1990er die Anzahl der Flächen ohne *Lecanora conizaeoides* an den Trägerbäumen um ein Viertel zurückgegangen ist. Die rückläufige Entwicklung der versauernd wirkenden Immissionen setzte allerdings schon vor dem Jahre 1990 ein wie die Kurve der mittleren Deckung indiziert; hier nimmt der prozentuale Flächenanteil von *Lecanora conizaeoides* um über die Hälfte ab.

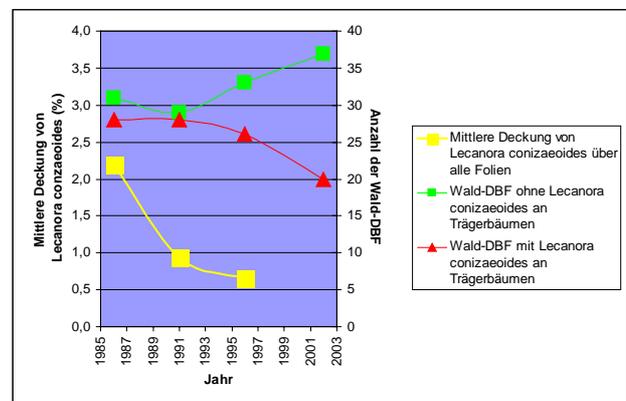


Abb. 7: Vorkommen und mittlere Deckung von *Lecanora conizaeoides* auf den Wald-Dauerbeobachtungsflächen der LfU.

## 4. Fazit

Insgesamt indiziert die Entwicklung der Flechten eine gravierende, landesweite Abnahme der SO<sub>2</sub>-Belastung in den vergangenen 15 Jahren. Die Bioindikation mittels epiphytischer Flechten im Sinne eines passiven Biomonitorings ist somit eine wertvolle Information zum Umweltzustand und ergänzt das bestehende Luftmessnetz.

## 5. Literatur

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1991): Methoden zur Wirkungserhebung in Wald-Dauerbeobachtungsflächen: Schwerpunkt Botanik. Tagungsband zum Workshop vom 21. bis 23.5.1990 in Karlsruhe. In: - Beihefte Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., 64.-Karlsruhe.
- Wirth, V. (1995): Die Flechten Baden-Württembergs. - Teil 1. Ulmer, Stuttgart, 527 S.

# Wirkung der Deposition von Säure-Radikalen auf den Mineralbestand in Böden

Prof. Dr. Volker Schweikle, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Einleitung

Gestein in Mitteleuropa verwittert durch natürlichen Eintrag und vegetationsbedingte Bildung von Säure-Radikalen, die Minerale verändern/zerstören, unter Fortfuhr wasserlöslicher Verbindungen zu Böden. Der Mensch förderte diesen Prozess durch Entzug ge- steins-/bodeneigener Säurepuffer durch Ernten von

Pflanzen und beschleunigte ihn durch Emission von Säureradikalen aus der Verbrennung fossiler Stoffe und industrieller Tierhaltung. Der natürliche Eintrag von Säureradikalen liegt bei 0,8 kmol/ha • a, die an- thropogenen atmgogenen Einträge entsprechen unge- fähr den Natürlichen und der Entzug durch Ernten, abhängig von der Art der Frucht, liegt zwischen 3 und 0,2 kmol/ha • a.

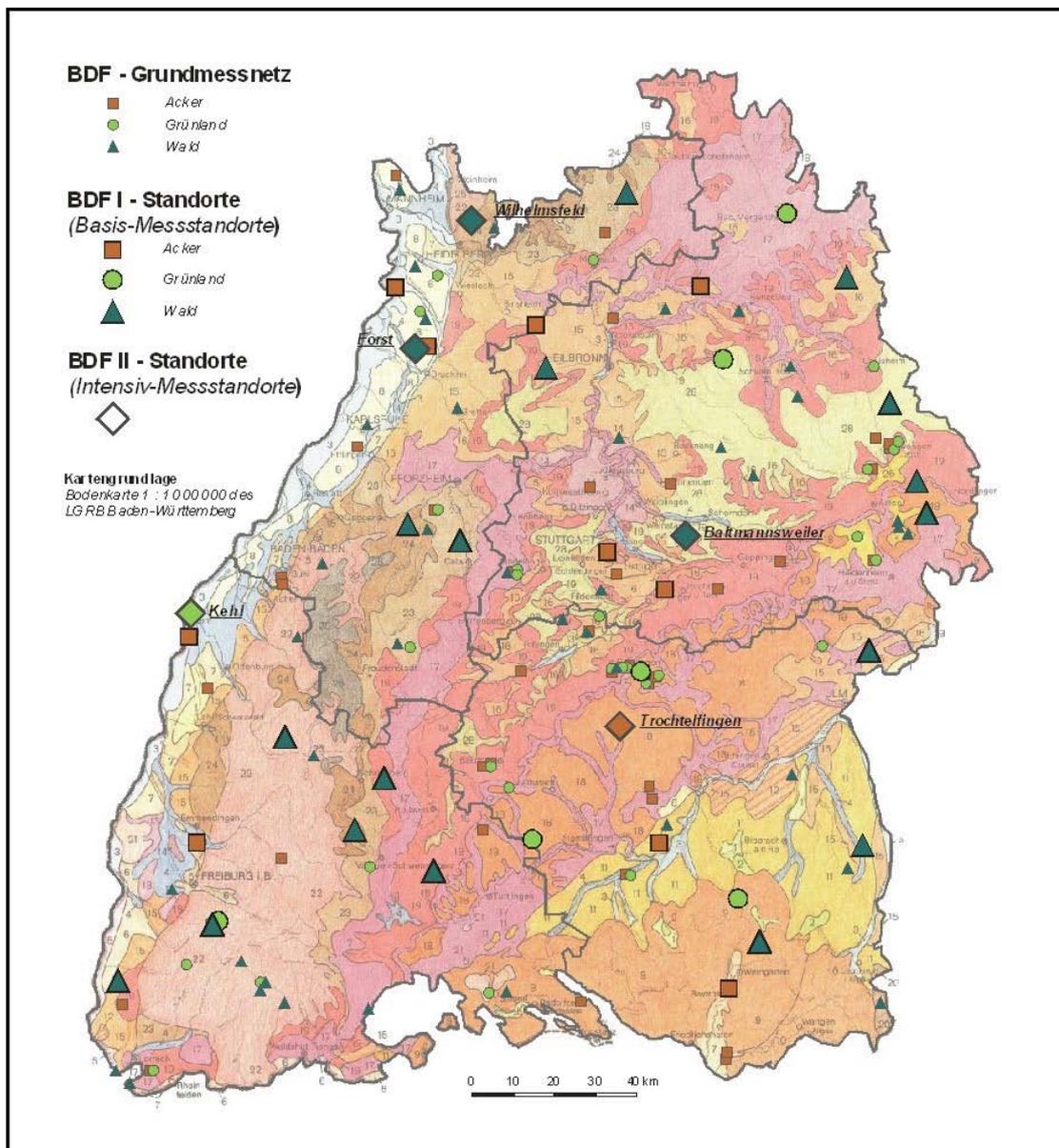


Abb. 1: Standorte der Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg

## 2. Methodik

Im Rahmen des baden-württembergischen Bodenmessnetzes I (BDF I) wurden 1986 an 153 Standorten in allen Bodenhorizonten, und 1999 bis 2001 an einer Auswahl von 33 (BDF I) aus 153 Standorten pH-Werte gemessen. Im Intensiv-Bodenmessnetz (BDF II) wurden bis dato an vier Standorten horizontweise in den Jahren 1992 (1 Standort), 1995 und 1997 bis 1999 pH(CaCl<sub>2</sub>)-Werte untersucht (siehe Abb. 1).

## 3. Ergebnis

### 3.1 Veränderung von pH-Werten im BDF/BDF I von 1986 bis 1999/2001:

Die Daten zur Veränderung von pH-Werten an den BDF/BDF I für den Zeitraum 1986 bis 1999/2001 werden z. Zt. einer intensiven Aufbereitung unterzogen.

### 3.2 Veränderung von pH-Werten im BDF II:

Das gesamte Datenkollektiv im Hinblick auf die Veränderung von pH-Werten an den BDF/BDF II wird momentan ebenfalls einer umfassenden Auswertung unterzogen. Von einem Standort liegen Daten schon vor, die pH-Werte haben sich am Standort Forst von 1992 bis 1999 nicht verändert und liegen im A-Horizont konstant bei 3,3 und B-Horizont bei 3,8.

## 4. Diskussion

### 4.1 Puffereigenschaften

Böden besitzen Stoffe, die eingetragene Säureradikale puffern und zwar:

- Karbonate auf pH-Werte von 7 bis 7,5
- Austauschbare Kationen auf pH-Werte von 5,5 bis 6,5
- Schichtsilikate auf pH-Werte von 3,8 bis 4,2 und
- Eisen auf pH-Werte von ca. 2,8.

Unterstellt man 10.000 Jahre Bodenbildung und 100 Jahre anthropogene atmogene Einträge ohne Entzug von Säureneutralisationskapazität durch Ernten, dann würden die o. a. Puffer gerade mal um 1 % stärker beansprucht, als die Natur es ohnehin selber tut. Gleichgültig welchen Puffer man betrachtet, ihre Variabilität in Böden ist so groß, dass Verluste oder Veränderungen der Puffer messtechnisch nicht fassbar sind, abgesehen noch von den unvermeidlichen Fehlern analytischer Untersuchungen.

### 4.2 Wirkung auf Gewässer

Säureradikale lösen Stoffe u. a. Aluminium-Ionen bis zu Aluminium-Hydroxiden in Böden, die, bei karbonatfreiem Untergrund und hohen Sickerwasserraten, über das Grundwasser Vorflutern zugeführt werden und dort Lebewesen beeinträchtigen. Einzugsgebiete mit diesen Eigenschaften sind in Abb. 2 dargestellt.

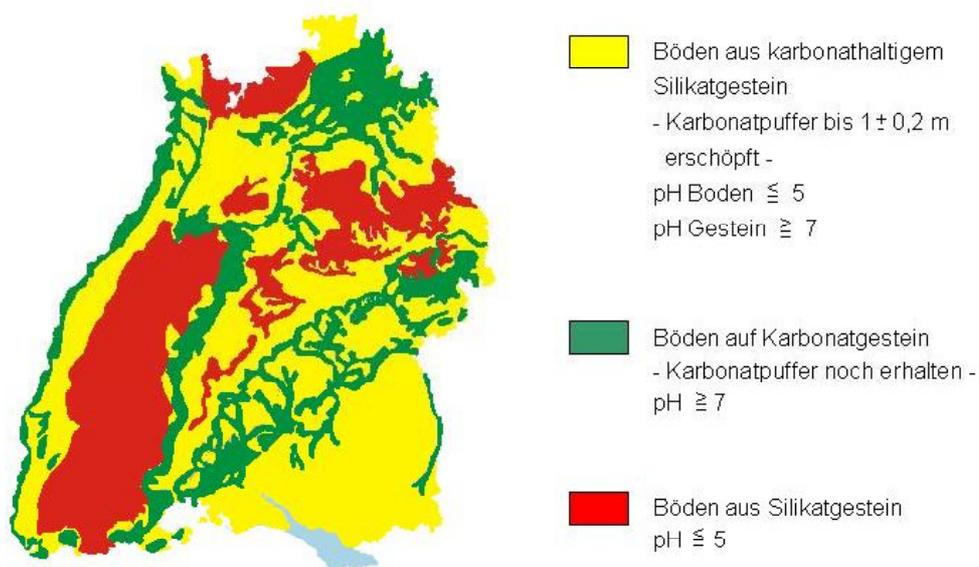


Abb.2: pH-Pufferbereiche von Gesteinen und Böden Baden-Württembergs.

# Untersuchungen zur Versauerungsproblematik im Rahmen des Fließgewässermonitorings Baden-Württemberg

Corinna Kroner, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Zusammenfassung

Die seit 1986 durchgeführten monatlichen chemisch-physikalischen Untersuchungen an 11 ausgewählten geologisch besonders prädestinierten Stellen ermöglichen die Bewertung des Versauerungszustandes der Gewässer. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Beobachtung des pH-Wertes, der Gesamthärte und der Säurekapazität sowie der sauer wirkenden Stoffe Nitrat und Sulfat sowie der Gehalte der gelösten Schwermetalle, die vom pH-Wert abhängig sind. Das Untersuchungsprogramm hat sich bewährt und ermöglicht das Aufzeigen langjähriger Entwicklungstendenzen. Es ist im Allgemeinen seit Mitte der 80er Jahre ein Rückgang insbesondere der Sulfatgehalte der Gewässer zu erkennen.

Bei der Untersuchung des Makrozoobenthos wurden ca. 450 repräsentative quellennahe Oberläufe des Schwarzwaldes und des Odenwaldes ausgewählt, die einen Überblick über den gegenwärtigen Säurestatus empfindlicher Fließgewässer in Baden-Württemberg geben. Grundlage der Bewertung ist ein für kalkarme Bäche entwickeltes biologisches Indikationssystem, das auf der Erfassung von wirbellosen Kleintieren (Makrozoobenthos) beruht. Es ist insgesamt eine leichte Verschiebung der Artenzusammensetzung hin zu säureempfindlicheren Makrozoen zu verzeichnen.

Ergänzend zu den Untersuchungen der Makrozoen wurden Mitte der 80er Jahre die Aufwuchs-Kieselalgen (Diatomeen) an 400 Untersuchungsstellen in versauerungsgefährdeten Gebieten untersucht. Eine vergleichende Untersuchung fand im Jahr 2001 an 33 Untersuchungsstellen statt. Anhand der Artenzusammensetzung der verschiedenen Diatomeen-Arten kann ebenfalls der Säurezustand ermittelt werden, wobei zwischen natürlich versauerten (Moorgewässer) und anthropogen versauerten Gewässern unterschieden werden kann.

## 2. Einleitung

Wenn der luftbürtige Säureeintrag die natürliche Pufferfähigkeit der Gewässersedimente und des Bodens im Einzugsgebiet des Gewässers übersteigt, versauert

das Gewässer. Die Ursache der anthropogen bedingten Gewässerversauerung liegt im massiven Eintrag von Säure bildenden Luftschadstoffen. Die natürlich eher basenarmen Böden, wie z.B. über quarzitischem Sandstein oder Gneis aufliegend, können den Säureeintrag nicht abfangen und geben ihn direkt an das Grundwasser und die Fließgewässer weiter. Der Grad der Versauerung der Fließgewässer ist darüber hinaus noch von anderen klimatologischen, orografischen, hydrologischen, forstwirtschaftlichen und gesteins- bzw. bodenkundlichen Faktoren abhängig. Gewässer mit unterschiedlichem Versauerungsgrad können daher in unmittelbarer Nähe auftreten.

Wenn die Kohlensäure/Carbonat-Puffer, Silikat-Puffer und Erdalkali-Puffer aufgebraucht sind und der pH-Wert weiter absinkt, werden vermehrt Aluminiumionen durch  $H^+$ -Ionen ausgetauscht und gehen in Lösung. Parallel dazu werden auch andere Kationen freigesetzt und es kommt zur Mobilisierung von Schwermetallen. Die gelösten Aluminium- bzw. Schwermetallionen wirken bei Überschreitung einer bestimmten Konzentration toxisch auf die Gewässerorganismen, die Artenzahl nimmt ab (zugunsten weniger, säureunempfindlicher Arten). Insbesondere bei Säureschüben wie z.B. nach der Schneeschmelze oder nach einem extremen Niederschlag kann es im Extremfall zum Absterben eines Großteils der aquatischen Lebensgemeinschaft kommen.

## 3. Chemisch-Physikalische Untersuchungen

Zur Erfassung der Beeinträchtigung der abwasserunbelasteten Gewässer oberläufe durch sauer wirkende Luftschadstoffe (z.B. Schwefeldioxid oder Stickstoffoxide) beobachtet die LfU seit einigen Jahren die chemisch-physikalische Beschaffenheit sowie die Wirkungen auf die Lebewesen im Gewässer.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die kalkarmen, schwach gepufferten und damit versauerungsempfindlichen Gebiete in Baden-Württemberg, nämlich den Odenwald und den Schwarzwald.

# Medienübergreifende Umweltbeobachtung

## 3.1 Methode

Zur chemischen Grundcharakterisierung der versauerten Gewässer werden an ausgewählten Gewässern versauerungsrelevante chemisch-physikalische Kenngrößen untersucht, wie pH-Wert, Säurekapazität, Gesamthärte aber auch andere Mineralstoffe, Nährstoffe, Salze und Metalle. Die Untersuchungen werden seit 1986 monatlich durchgeführt, dadurch ist eine gute Trendbewertung möglich. In der Literatur (BRAUKMANN, 2000). werden verschiedene Versauerungsindexe beschrieben, die zur Klassifizierung der Versauerungsgefährdung herangezogen werden können. Eine Einschätzung des Versauerungsgrades eines Gewässers kann aber auch mit Hilfe des pH-Wertes erfolgen. In Anlehnung an die biologische Bewertung nach Braukmann lassen sich 5 Säureklassen wie folgt unterscheiden.

## 3.2 Ergebnisse

Die Säurezustände der untersuchten Bäche, bewertet auf chemisch-physikalischer Grundlage, reichen von nicht sauer im Südschwarzwald bis periodisch deutlich sauer im Nordschwarzwald (Abb. 2).

Die Ergebnisse aus den physikalisch-chemischen Untersuchungen sind exemplarisch für das jeweilige Gewässer und können nicht regionalisiert werden. Nachfolgend wird die Entwicklung der Säurezustände beispielhaft für jeweils ein Gewässer pro Untersuchungsgebiet aufgezeigt:

- Goldersbach (Südschwarzwald)
- Dürreychbach (Nordschwarzwald)
- Steinbach (Odenwald)

Säurezustandsklassen	pH-Jahresmittel	Anmerkung
nicht sauer	> 7	Der pH-Wert liegt gewöhnlich nicht unter 6,5, meistens bei etwa 7.
nicht bis schwach sauer	6 - 7	Die Minima unterschreiten den Wert von 6,0 in der Regel nicht.
schwach sauer	5 - 6	Schwach sauer mit einzelnen Absenkungen des pH-Wertes, in der Regel jedoch nicht unter 5,5. Empfindliche Organismen fehlen.
periodisch deutlich sauer	4,3 - 5	Der pH-Wert liegt normalerweise unter 6,5, in der Regel jedoch nicht unter 4,3. Es folgt ein Ausdünnen des Fischbestandes, die pH-Werte sind tödlich für Laich und Fischbrut der Forellenregionen. Es kommen nur säuretolerante Organismen vor.
ständig stark sauer	< 4,3	Der pH-Wert liegt in der Regel ganzjährig im sauren Bereich unter 5,5. Die pH-Minima fallen während der Schneeschmelze oder nach Starkregen unter 4,3 und sinken mitunter noch tiefer. Es kommen nur noch wenige Leitorganismen vor. Die pH-Werte sind tödlich für einheimische Fische.

Abb. 1: Einstufung des pH-Wertes

Messstelle	Untersuchungsgebiet	Bewertung
St. Wilhelmer Talbach - Oberlauf	Südschwarzwald	nicht bis schwach sauer
Zastler - Oberlauf		nicht sauer
Goldersbach - Feldberg		nicht bis schwach sauer
Teufelsbächle - Teufelsbächle	Nordschwarzwald	nicht bis schwach sauer
Weiherbergbach - Weiherbach		nicht bis schwach sauer
Huttenbächle - Schillingers Wald		nicht bis schwach sauer
Kleine Kinzig - Huttenhardt		nicht sauer
Kleine Kinzig - Kinzigtalsperre		nicht bis schwach sauer
Dürreychbach - Oberlauf		schwach sauer
Kaltenbach - Gompelscheuer		periodisch deutlich sauer
Steinbach - Ziegelhausen	Odenwald	nicht bis schwach sauer

Abb. 2: Säurezustand der untersuchten Bäche

Der **Goldersbach** befindet sich im Südschwarzwald in der Nähe des Feldberges. Er ist ein schwach gepufferter Gneisbach mit extrem weichem Wasser. Die Jahresmittel des pH-Wertes schwanken um 6,5 im nicht sauren bis schwach sauren Bereich, die pH-Minima sind größer als 5,5. Im Untersuchungszeitraum ist kein deutlicher Anstieg des pH-Wertes zu erkennen. Dagegen ist im Mittel eine deutliche Sulfatverminderung von 6,5 auf heute ca. 3 mg/l zu beobachten. Die Mittel der Nitratgehalte liegen seit 1986 bei rund 0,5 mg/l. Die Aluminiumgehalte schwanken bei den einzelnen Untersuchungen sehr stark, was sich auch in den Jahresmitteln ausdrückt. Die Schwankungen sind darin begründet, dass die Löslichkeit des Aluminiums aus den Sedimenten stark von den pH-Werten abhängt. Bei Säureschüben nach ergiebigen Niederschlägen oder Schneeschmelze kommt es demnach zu 2-3fach höheren Aluminiumspitzen. (Abb. 3)

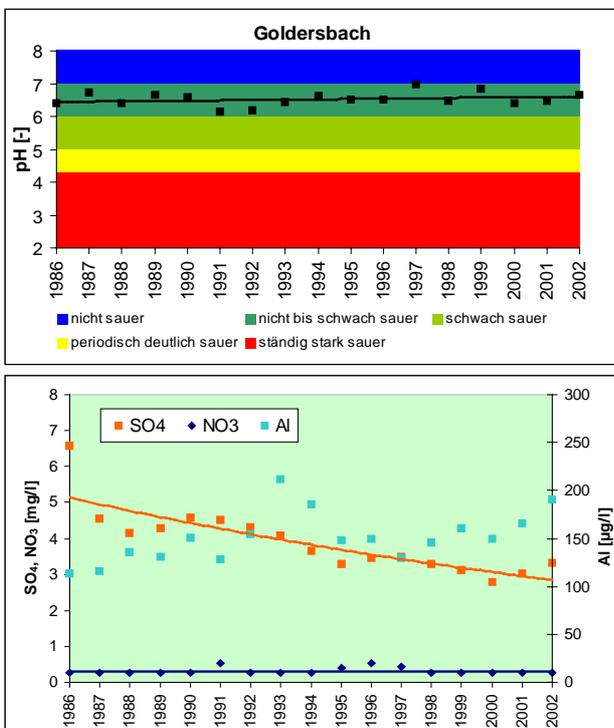


Abb. 3: Entwicklung der Jahresmittel des pH-Wertes sowie der Sulfat- und Nitrat- und Aluminiumgehalte des Goldersbachs

Der **Dürreychbach** ist von den chemisch untersuchten Bächen einer der sauersten. Er ist im Buntsandstein im Nordschwarzwald gelegen, sehr schwach gepuffert und extrem weich. Die Jahresmittel der pH-Werte steigen seit 1987 stetig an, von periodisch deutlich sauer in den heute schwach sauren Bereich. Zugenommen haben auch die pH-Minimas von ehemals 4 auf heute ca. 5. Auch hier haben sich die Sulfatgehalte seit 1987 im Mittel vermindert, die Nitratgehalte sind im Mittel bei ca. 1mg/l stabil. Die Aluminiumgehalte

schwanken sehr stark, so dass kein Trend zu erkennen ist. (Abb. 4)

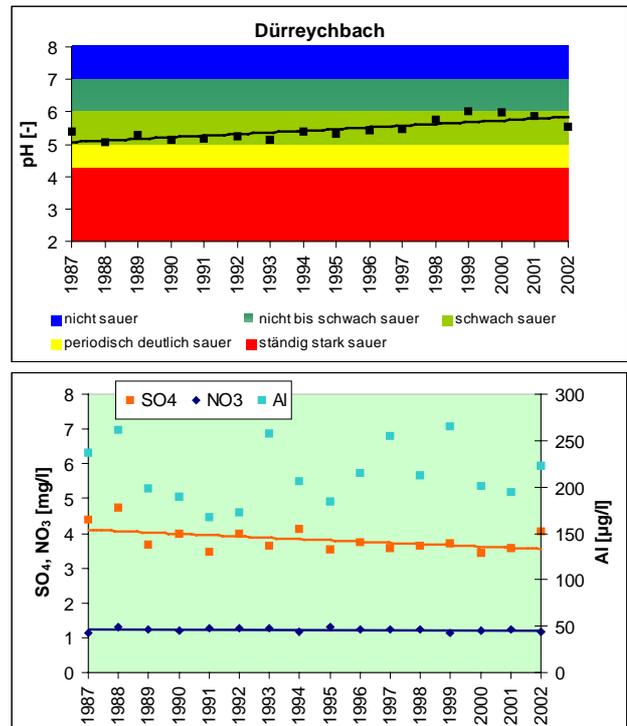


Abb. 4: Entwicklung der Jahresmittel des pH-Wertes sowie der Sulfat- und Nitrat- und Aluminiumgehalte des Dürreychbachs

Der **Steinbach** im Odenwald ist ebenfalls ein schwach gepufferter Buntsandsteinbach mit weichem Wasser. Die Jahresmittelwerte des pH-Wertes sind seit 1998 im schwach sauren Bereich bei rund 6,3 relativ stabil. Seit 1997 werden keine pH-Werte unter 5,5 registriert. Im Mittel ist zudem ein leichter Sulfatrückgang zu erkennen, die Gehalte sind hier allerdings mit rund 20 mg/l viel höher als im Schwarzwald. Die Nitratgehalte sind seit 1988 im Mittel bei etwa 2 mg/l auf gleichem Niveau geblieben.

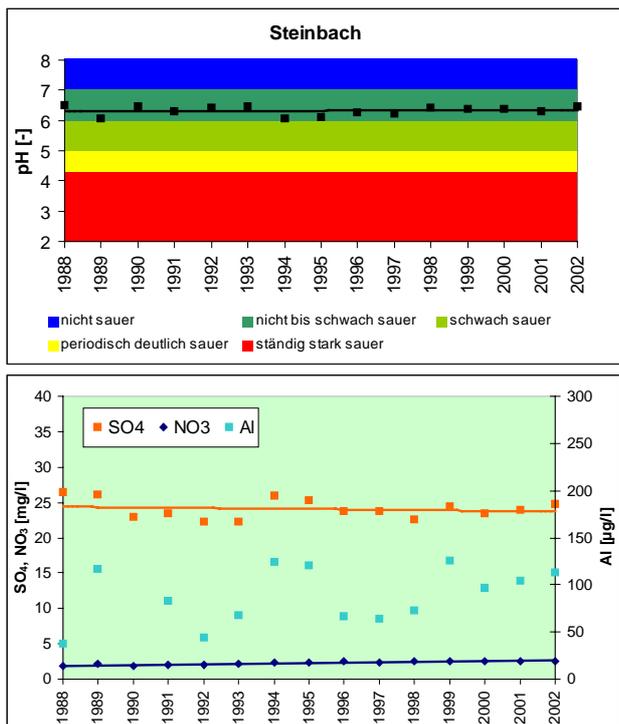


Abb. 5: Entwicklung der Jahresmittel des pH-Wertes sowie der Sulfat- und Nitrat- und Aluminiumgehalte des Steinbachs

## 4. Biologische Untersuchungen

### 4.1 Methode

Einen Überblick über den Säurezustand der Gewässer in versauerungsgefährdeten Gebieten geben die biologischen Untersuchungen, die die Wirkung der Versauerung auf die Gewässerorganismen beschreiben. Zum Einen werden das Makrozoobenthos und zum Anderen Diatomeen bewertet.

Bei der Untersuchung des Makrozoobenthos werden ca. 30 Arten als Indikatororganismen entsprechend

	Säureklasse	Bemerkung	Beispiele für Indikatoren
	ständig nicht saure Gewässer	hohe Artenzahl und viele säureempfindliche Arten	Flussnapfschnecke, Eintagsfliegenlarve Ephemera danica
	Episodisch schwach saure	relativ artenreich, säureempfindliche Arten sind weitgehend vorhanden	Köcherfliegenlarve Hydropsyche spec., Eintagsfliegenlarve Epeorus sylvicola
	Periodisch saure Gewässer	kritischen Säurezustand und deutliche ökologische Folgen	Steinfliegenlarve Isoperla, Hakenkäfer Limnius perrisi
	ständig saure Gewässer	keine säureempfindlichen Arten, säuretolerante Arten überwiegen	Strudelwurm Polycelis felina, Steinfliegenlarve Leuctra

Abb. 6: Klassifizierung des Säurezustandes der Gewässer auf der Grundlage der Bewertung des Makrozoobenthos (BRAUKMANN 2000)

ihrer Säureempfindlichkeit vier Säurezustandsklassen zugeordnet (Abb. 6). Bei der Bewertung wird auch das Fernbleiben einer Indikatorart berücksichtigt. Auf dieser Grundlage wurde 1991 und 1998 der Säurezustand der Gewässer in versauerungsgefährdeten Gebieten untersucht und bewertet.

In den 80er Jahren wurden an 400 Messstellen im Land die Artenzusammensetzungen der Diatomeen ermittelt. Bei der Wiederholungsuntersuchung im Jahr 2001 wurden 33 Messstellen beprobt, um an diesen ausgesuchten Stellen eine Entwicklung des Säuregrades darzustellen (E. Alles, 1999 u. 2002). Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt mit dem Diatomeen-Versauerungsindex, der rund 300 Diatomeen-Arten in verschiedene Klassen einstuft. Durch dieses Verfahren können natürlich vermoorte und anthropogen versauerte Gewässer unterschieden werden.

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Makrozoobenthos

Die Ergebnisse der Säurezustandskartierung 1998 zeigen im Odenwald kleinere Gebiete mit erhöhter Versauerung auf. Zudem ist zu erkennen, dass im Nordschwarzwald besonders die Oberläufe und Zuläufe der Murg, der Kinzig und der Enz stärker versauert sind als die Gewässer des Südschwarzwald, bedingt durch pufferungsärmere Gesteine und Böden. Im Südschwarzwald gibt es nur wenige Bäche im Einzugsgebiet der Wutach und der Dreisam, die periodisch deutlich bis ständig stark sauer sind. Bei der Gesamtauswertung der Ergebnisse der Makrozoobenthosuntersuchung von 1998 zeigt sich, dass nur 8 % der 450 Untersuchungsstellen die beiden schlechtesten Versauerungsklassen aufweisen.

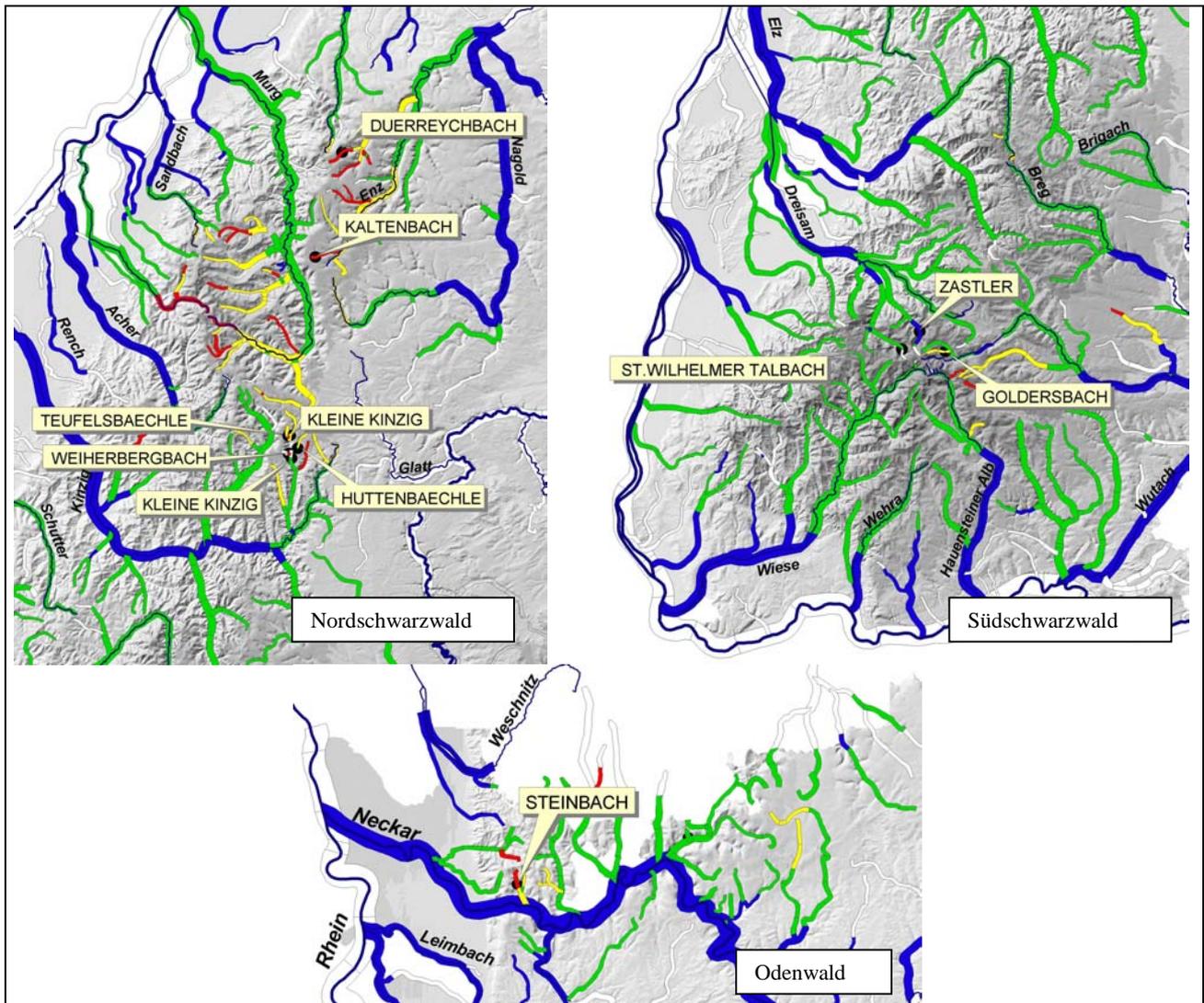


Abb. 7: Ausschnitte aus der Säurezustandskarte 1998

#### 4.2.2 Diatomeen

Die Makrozoobenthos- und die Diatomeen-Untersuchung ergeben vergleichbare Ergebnisse. Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der Diatomeen-Untersuchungen Mitte der 80er Jahre und 2001 zeigt sich ein Rückgang der akut versauerten Gewässer zur nächst besseren Stufe. (Abb. 8)

### 5. Diskussion der Ergebnisse

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich die Situation der versauerten Gewässer im Lande seit Mitte der 80er Jahre leicht verbessert hat. Die Untersuchungen des Makrozoobenthos und der Diatomeen zeigen eine leichte Verschiebung der Artenzusammensetzung hin zu säureempfindlichen Arten.

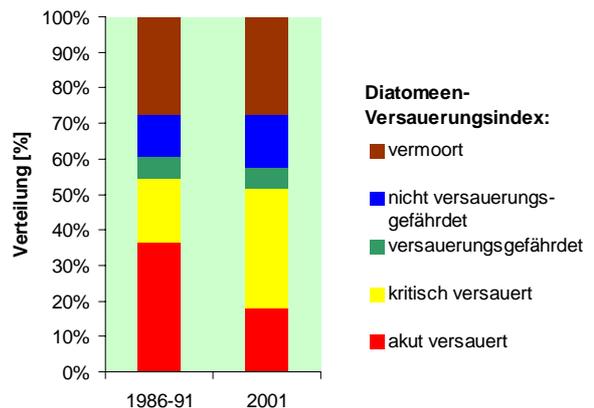


Abb. 8: Verteilung der Säurezustände der 33 untersuchten Bäche im Nordschwarzwald

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Der verminderte Eintrag von sauer wirkenden Luftschadstoffen durch trockene und nasse Deposition wirkt sich positiv auf den Säurezustand der Gewässer aus. Insbesondere konnten geringere Sulfatgehalte in allen untersuchten Gewässern nachgewiesen werden. Eine Verminderung der Nitratgehalte in den Oberläufen ist nicht zu erkennen.

Die Nitrat- und Sulfateinträge in die Gewässer sind noch zu hoch, um einen deutlichen Anstieg der pH-Werte zu bewirken. Die Jahresmittelwerte der pH-Werte sind bei den chemisch-physikalisch untersuchten Bächen seit Mitte der 80er Jahre auf gleichem Niveau. Ausnahme sind die besonders sauren Gewässer im Nordschwarzwald. Die Gewässer sind hier so schwach gepuffert, dass schon eine geringe Sulfatreduzierung zu einem Anstieg des pH-Wertes führt.

### 6. Literatur

- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Auswirkungen saurer Niederschläge auf Böden und Gewässer – Kurzbericht (Karlsruhe 1994)
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg: Gewässergütekarte Baden-Württemberg (Karlsruhe 1998)
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Dr. phil. nat. E. Alles: Fließgewässerversauerung im Schwarzwald – ökologische Bewertung auf der Basis benthischer Diatomeen (Karlsruhe 1999)
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Dr. U. Braukmann: Hydrochemische und biologische Merkmale regionaler Bachtypen in Baden-Württemberg (Karlsruhe 2000)
- Forschungsbericht FZKA-BWPLUS, Dr. phil. nat. E. Alles: Konsolidierung ehemals versauerter Bachoberläufe - dokumentiert anhand der Veränderungen der Kieselalgen-Zönose (Mannheim 2002)

# Wirkungen der Gewässerversauerung auf Fische und Amphibien

Kay Rahtkens, Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg

## 1. Einleitung

Die sauren Niederschläge in den 70er und 80er Jahren führten zu starken Schädigungen von Fischeiern, Gewebeveränderungen bei Jungfischen (Abb. 1), Mangelerscheinungen bei adulten Tieren (Abb. 2) und in Folge dessen zu einem alarmierend niedrigen Bachforellenbestand in vielen Bächen Baden-Württembergs; einige Bäche waren sogar ohne Bachforellen. Dadurch war das Überleben der Fischpopulation mittel- bis langfristig gefährdet. Auch bei Amphibien wie Fröschen, Kröten und Molchen wurden versauerungsbedingte Schädigungen des Laiches mit nachfolgender Verpilzungen beobachtet (Abb. 3), die zu Absterberaten von teilweise 90 bis 100 Prozent führten.

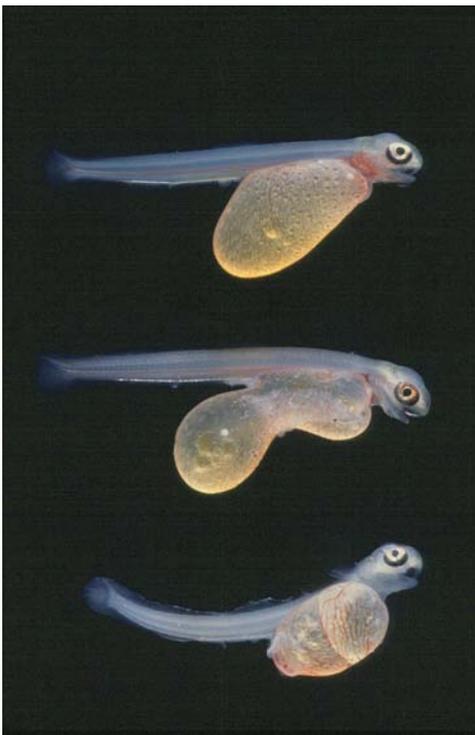


Abb. 1: Gewebeveränderungen bei Larven von Forellen im Dottersackstadium; normale Entwicklung (oben), säuregeschädigte Larven mit starker Deformation des Dottersackes (mitte) und Verkrümmung des Rumpfes (unten) (Foto: R. MARTHALER)

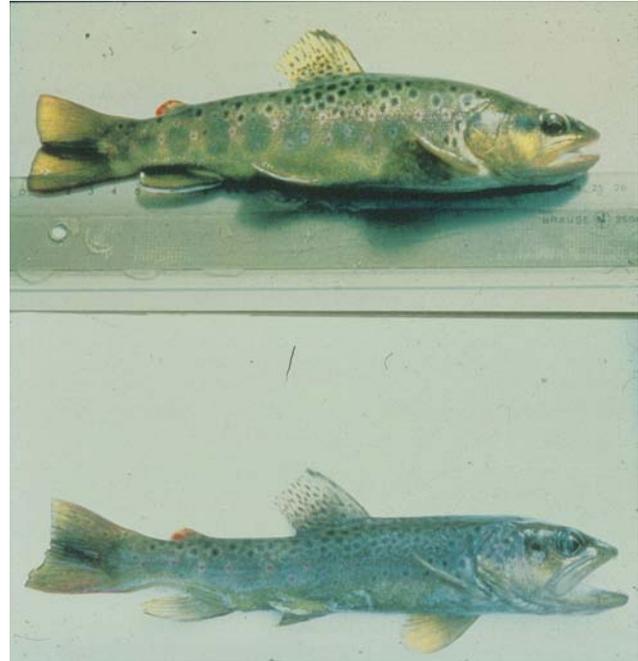


Abb. 2: Auswirkungen von Säurestress auf die Bachforelle; gesunder Fisch (oben) aus einem nicht sauren Gewässer (Blauenbach) und säuregestresster, kachektischer Fisch (unten) aus einem stark versauerten Bach (Wälzbach) (Foto: LfU).



Abb. 3: Stark verpilzter Laich vom Grasfrosch verursacht durch niedrige pH-Werte (Foto: J. BÖHMER)

## 2. Untersuchungsprogramm

Als Reaktion darauf untersucht die Karlsruher Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (LFU) ab 1984 an 38 Fließgewässerstrecken von Mittelgebirgsbächen den Säurezustand (pH-Wert) der Gewässer, verschiedene andere gewässerchemische Parameter (u.a. Leitfähigkeit, Temperatur, Gesamthärte und Karbonathärte, Aluminium, Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Sulfat, Nitrat, Chlorid, CSB, DOC) und einige Schwermetalle (Zink, Cadmium, Blei) im Wasser. Bei der Fischfauna wurden Populations- und Vitalitätsuntersuchungen (Anzahl, Größe und Gewicht aller Fische innerhalb einer bestimmten Fließgewässerstrecke, sowie der Altersaufbau der Fischpopulationen) durchgeführt. Zusätzlich wurden die Gehalte der Fischlebern von adulten Tieren auf Schwermetalle (Blei, Cadmium, Zink) und das besonders fischtoxische Aluminium analysiert.

An einigen Seen und Weihern des Schwarzwaldes und des Odenwaldes wurden zwischen 1985 und 2003 mehrfach gewässerchemische und biologische Untersuchungen zur Amphibienfauna durchgeführt. Bei den gewässerchemischen Untersuchungen wurden die Parameter pH, Leitfähigkeit, Temperatur, Wasserhärte, sowie die Analyse der Metalle Aluminium, Zink, Cadmium und Blei bestimmt, die biologischen Untersuchungen umfassten die Beobachtung und Kartierung des Laiches von Molchen, Grasfrosch und Erdkröten.

## 3. Ergebnisse

Eine auffällige Häufung von Schädigungen der Fischfauna wurde in den ersten Untersuchungsjahren in Bächen des Odenwaldes und des Schwarzwaldes beobachtet (LFU 1985, LFU 1986, GEBHARDT 1994). Die Abbildung 4 zeigt dies anhand der Ergebnisse der Fischuntersuchungen von 1986/87. Die Säurezustände der verschiedenen Bäche wurden bewertet nach dem Zustand von Besiedlungsdichte und Altersstruktur der Fischpopulationen (LFU 1994); als „nicht sauer“ wird danach ein Bach bewertet mit einer hohen Besiedlungsdichte und einer normalen Altersstruktur, als „kritisch sauer“ werden die Bäche bezeichnet, in denen eine verminderte Besiedlungsdichte ermittelt wurde und als „stark sauer“ diejenigen Bäche, bei denen zusätzlich noch eine nicht normale Altersstruktur gefunden wurde. Gänzlich fischfreie Bäche werden als „sehr stark sauer“ bewertet.

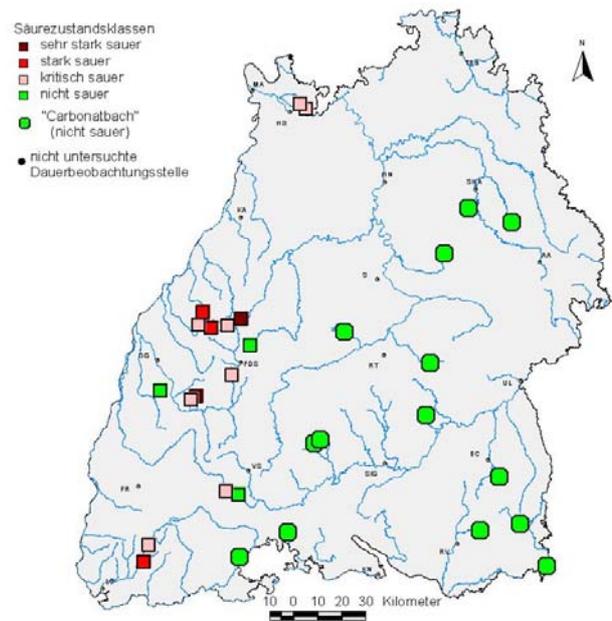


Abb. 4: Der Säurezustand der Fließgewässer-Dauerbeobachtungsstellen 1986/87 bewertet nach dem Zustand der Bachforellenpopulationen (LFU 1994)

### Worin liegen die Ursachen für die Schädigungen?

Die Ausgangsgesteine der Landschaften des Odenwaldes und des Schwarzwaldes bestehen aus den karbonatfreien Gesteinen des Porphyrs, Buntsandsteins und den Gneisen und Graniten des Grundgebirges. Die Böden aus diesen Gesteinen haben zumeist nur eine sehr geringe bis maximal mittlere Pufferkapazität gegen Säure (Abb.5).

Auf dem Weg des Niederschlagswassers durch den Boden in die Gewässer steht das Bodensickerwasser im Austausch mit dem Boden, nimmt dabei Metalle auf und tauscht diese gegen Säure aus. Dieser Austausch ist stark pH-abhängig, je niedriger der pH-Wert des Wassers, umso höher ist in der Regel der Metallgehalt im Bodenwasser. Die Abbildung 6 zeigt diesen Zusammenhang für das Metall Aluminium (Al); im Bereich leicht saurer bis alkalischer Bäche und Seen ( $\text{pH} > 6$ ) liegt der Al-Gehalt bei i.d.R. unter  $200 \mu\text{g/l}$ . Spezielle Untersuchungen haben gezeigt, dass ab diesem Aluminiumgehalt mit Schäden bei sensiblen Entwicklungsstadien von Fischen und Amphibien gerechnet werden muss (UBA 1987, GEBHARDT ET AL. 1990, GEFAÖ 2001). Bei abnehmendem pH-Wert und besonders bei pH-Werten unter 5 nimmt der Al-Gehalt im Wasser deutlich zu. Spitzenwerte von über  $1000 \mu\text{g Al/l}$  ( $=1 \text{ mg Al/l}$ ) im Bachwasser der untersuchten Fließgewässerstrecken wurden gemessen. Die niedrigsten pH-Werte im Bachwasser und in Seen wurden nach Starkregen und besonders bei Schneeschmelze,

also im zeitigen Frühjahr zur Zeit der Laichablage von Amphibien bzw. der Ei- und Larvalstadien von Bachforellen, gemessen (BÖHMER & RAHMANN 1992, GEBHARDT 1994, GEFAÖ 2001). Bei den untersuchten Schwermetallen Blei, Cadmium und Zink konnten nur in Ausnahmefällen wirkungsrelevante oder stark erhöhte Gehalte gegenüber dem Hintergrundgehalt ermittelt werden.

Bachwasser auch funktionelle Störungen und histologische Veränderungen von Atmungs- und Verdauungsorganen bewirken (GEFAÖ 2001).

Fische nehmen die Metalle aus dem Wasser auf und lagern diese in bestimmten Organen ein. Sie sind somit **Akkumulationsindikatoren**. Die Abbildung 7 zeigt – wieder für das Metall Aluminium – die Entwicklung

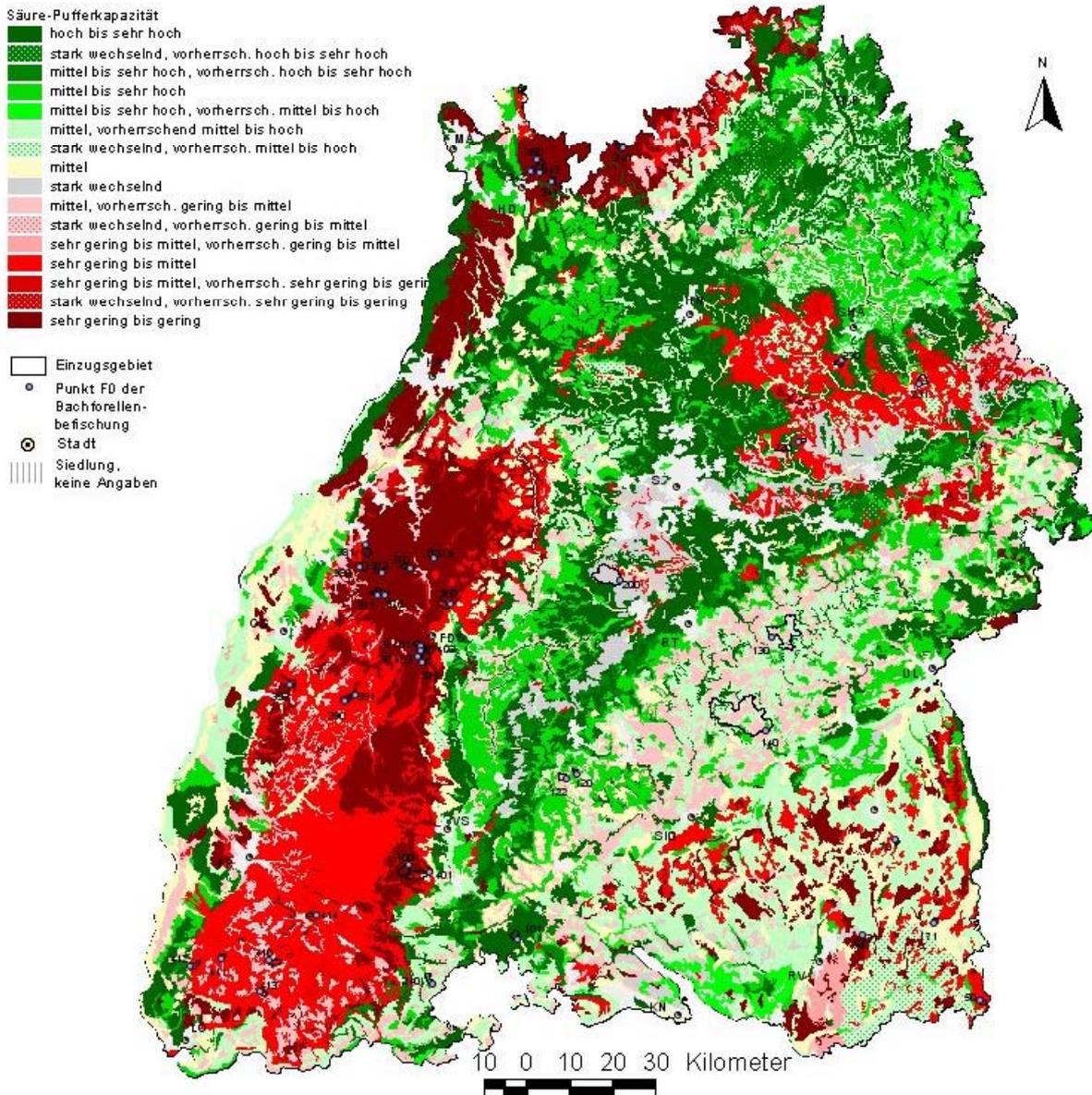


Abb. 5: Pufferkapazität der Böden Baden-Württembergs. Quelle: LGRB

**Wirkung und Entwicklung der versauerungsbedingten Schädigungen**

Die gelösten Inhaltsstoffe des Bachwassers wirken auf alle Lebewesen, die dauerhaft im Wasser leben. Zusätzlich zu den mit Bildern (Abb. 1 bis 3) dokumentierten Schäden können Al-Gehalte > 200 µg/l im

der Gehalte in Fischlebern von Bachforellen verschiedener Bäche des Nördlichen und Mittleren im Vergleich zum Südlichen Schwarzwald im Laufe des Untersuchungszeitraumes. Bei der Untersuchung im Jahre 1986/87 lagen die Al-Gehalte der Bachforellen des Nördlichen und Mittleren Schwarzwaldes deutlich höher als die des Südlichen Schwarzwaldes und mit

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Werten von 100 mg bis zu mehreren Hundert Milligramm pro Kilogramm Fischleber in einem Bereich, der zu Schäden bei den Populationen führte. Die Al-Gehalte der Bäche des Südlichen Schwarzwaldes und einzelner Bäche des Mittleren und Nördlichen Schwarzwaldes lagen unterhalb von 50 mg/kg. Im Laufe der folgenden rund 15 Jahre bis zur bislang letzten Untersuchung im Jahre 2000 verringerten sich die Schadstoffgehalte von Aluminium in Fischlebern in den ehemals stark belasteten Bächen – mit einzelnen Ausnahmen - auf ein Niveau deutlich unterhalb von 100 mg Al/kg Fischleber. Die Aluminiumgehalte liegen damit unwesentlich über dem landesweiten Hintergrundbereich von Bächen. Eine Gefährdung der Fisch- und Amphibienfauna ist bei diesen Gehalten nicht zu erwarten.

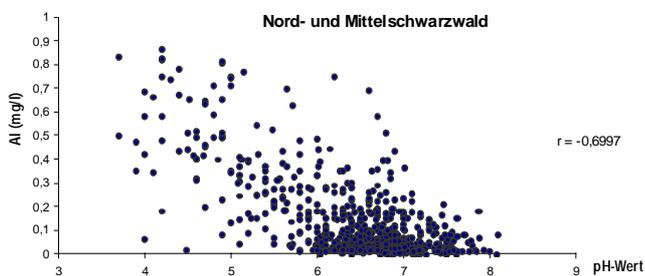


Abb. 6.: Die Beziehung der Aluminiumgehalte im Bachwasser von Odenwald- und Schwarzwaldbächen zum pH des Bachwassers (aus GEFAÖ 2001).

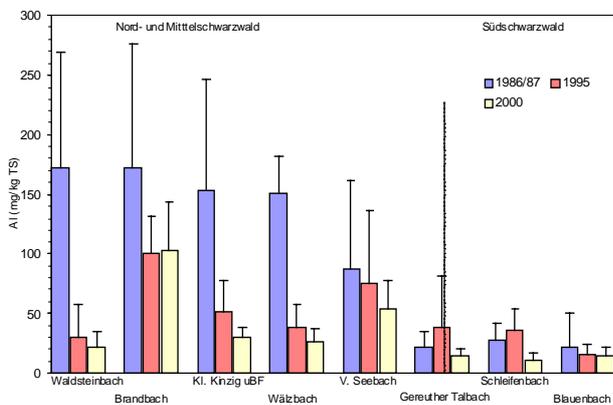


Abb. 7: Die Entwicklung der Aluminiumgehalte in Fischlebern verschiedener Herkunftsbäche aus den Untersuchungen von 1986/87 bis 2000 zeigt fast durchweg eine abnehmende Tendenz. Insbesondere in den Bächen des Nord- und Mittelschwarzwaldes, in denen die sauren Niederschläge wegen der geringen Pufferkapazitäten der Böden im Einzugsgebiet zu erhöhten Schwermetallgehalten im Bachwasser geführt hatten, profitieren von den Luftreinhaltemaßnahmen des Landes und des Bundes (aus GEFAÖ 2001).

Fische sind aber auch Reaktionsindikatoren, denn durch Säurestress kommt es insbesondere unter den Jungfischen zu starken Verlusten einzelner Jahrgänge und somit zu einem gestörten Altersaufbau der Fischpopulation. Dies drückt sich darin aus, dass zunächst der Anteil der adulten Tiere zunimmt (nicht die Gesamtzahl), weil der Anteil (und auch die Gesamtzahl) der Jungfische abnimmt. Dadurch kommt es zu einer überalterten Fischpopulation. Die Abbildung 8 zeigt dieses Ungleichgewicht zu Anfang der Untersuchungen und die Erholung des Fischbestandes am Beispiel eines Baches des Nördlichen Schwarzwaldes.

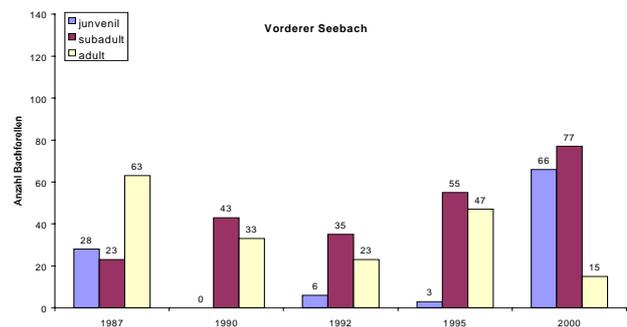


Abb. 8: Die Entwicklung von Bachforellenpopulationen in einem ehemals stark versauerten Bach des Nördlichen Schwarzwaldes. Die Gesamtzahl der Tiere hat in den letzten Jahren durchweg zugenommen und der Altersaufbau hat sich normalisiert (aus GEFAÖ 2001).

Dass sich die Altersstruktur der Fischpopulationen allgemein verbessert hat in den Bächen des Odenwaldes und des Schwarzwaldes zeigt die zusammenfassende Darstellung der biologischen Untersuchungen (Abb. 9). Die Entwicklung der Bachforellenpopulationen des Nördlichen und Mittleren Schwarzwaldes, sowie mit Einschränkung des Odenwaldes zeigt einen deutlichen Aufwärtstrend bei den Parametern Altersstruktur, aber auch der Besiedlungsdichte.

Dennoch können Säureschübe infolge von Starkregenereignissen und Schneeschmelze immer noch zu Beeinträchtigungen der Fischpopulationen führen. Bei den nicht versauerungsgefährdeten Bächen Baden-Württembergs ist die Strukturgröße und extreme Niedrigwasserstände oftmals das entscheidende Kriterium für die Untersuchungsparameter Besiedlungsdichte und Altersstruktur.

Gewässer	Befischungen	Bachforellendichte	Altersstruktur	Trend
Steinbach	84 85 86 <b>87</b> 88 89 90 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	V		
Bärenbach	84 85 86 <b>87</b> 88 89 90 91 <b>92</b> 93 94 95 96 97 98 99 <b>00</b>	III		
Wälzbach	84 85 86 <b>87</b> 88 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	III		
Vorderer Seebach	<b>84</b> 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Gereuther Talbach	<b>84</b> 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Kleine Kinzig Oberer Abschnitt	84 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	V		
Kleine Kinzig mittlerer Abschnitt	84 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Kleine Kinzig unterer Abschnitt	84 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Waldsteinbach	<b>84</b> 85 <b>86 87 88</b> 89 <b>90</b> 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Badmühlenbach	84 <b>85</b> 86 <b>87</b> 88 89 90 <b>91</b> 92 93 94 95 96 97 98 99 <b>00</b>	I		
Brandbach	84 <b>85</b> 86 <b>87</b> 88 89 90 <b>91</b> 92 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	II		
Rappengrund	84 <b>85</b> 86 <b>87</b> 88 89 90 <b>91</b> 92 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	III		
Bühlot	84 85 86 <b>87</b> 88 89 90 91 <b>92</b> 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	III		
Blauenbach	<b>84</b> 85 <b>86 87</b> 88 89 <b>90</b> 91 92 93 94 <b>95</b> 96 97 98 99 <b>00</b>	I		

Abb. 9: Zusammenfassende Darstellung der biologischen Untersuchungen an den Bächen des Odenwaldes, Nord-, Mittel- und Südschwarzwaldes, die im Jahr 1986/87 und im Jahr 2000 untersucht worden sind (Ius 2000).

Erläuterungen zur Abbildung: Spalte Befischungen: Befischungen nur in Jahren mit roten Zahlen; Spalte Bachforellendichte: Zahl der Bachforellen pro Hektar Bachfläche; I = > 8000, II = 3000- 8000, III = 1000 – 3000, IV = 500 – 1000, V = < 500; Spalte Altersstruktur: Eine rote und eine schwarze Forelle bedeuten eine beeinträchtigte Altersstruktur, bei der Jungfische fehlen oder unterrepräsentiert sind oder die Gesamtpopulation zu klein ist, um einen dauerhaften Reproduktionserfolg sicherzustellen, zwei schwarze Forellen bedeuten eine normale Fischpopulation; Spalte Trend: Symbole geben Auskunft über die Entwicklung der Individuendichte und Struktur der Bachforellenpopulation im Vergleich zu früheren Untersuchungen, grüner Pfeil senkrecht = deutlich verbessert, grüner Pfeil schräg = verbessert, grüner Pfeil waagrecht = keine wesentlichen Veränderungen bzw. kein Trend, gelber Punkt = Individuendichte für Trendaussage zu gering, eine Bewertung ist nicht möglich.

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

Bei den Amphibien weisen die säureempfindlichsten Entwicklungsstadien - die Eier und Larven - in allen stark sauren Gewässern eine deutliche Verringerung der Schädigungsraten auf (Abb. 10). Auch kann eine deutliche Verbesserung der Bestandesdichten von Amphibien im Zeitraum zwischen 1984 und 2002 (dem letzten Jahr der Untersuchungen) festgestellt werden. Damit konnte für die Amphibien ein ähnlicher Trend ermittelt werden wie für die Fische. Dies hat sich erst in den allerletzten Jahren so entwickelt. Die chemische Gewässergüte hat sich schon seit Anfang der 90er Jahre verbessert, die Erholung der Amphibienbestände ist aber erst mit einigen Jahren Zeitverzögerung gefolgt. Die Situation nähert sich dem Zustand unbelasteter Gewässer an.

Gewässer	Gewässergröße	Säurestufe		
		1987-1990	1996	2002
Buhlbachsee	1,3 ha	III		I-II
Herrnwiesersee	1,1 ha	III-IV	III-IV	II-III
Huzenbachersee	2,1 ha	II	I-II	I
Kaltenbachsee	0,4 ha	II-III		II-III
Poppelsee	0,5 ha	II-III		II
Schurmsee	1,4 ha	III-IV	III	II-III

Bewertung:

I = neutral bis kritisch sauer,

II = sehr stark sauer,

III = übermäßig sauer,

IV = extrem sauer

Abb. 10: Entwicklung der Säurestufen aufgrund von Untersuchungen der Amphibienpopulationen in Stillgewässern des Schwarzwaldes (BÖHMER & RAHMANN 2002, verändert):

### 4. Fazit

Wichtige und empfindliche biologische Kenngrößen zeigen deutlich positive Veränderungen:

1. Bestandesdichten und Altersstruktur der Fischbestände erholen sich insbesondere in den versauerungsgefährdeten Bächen.
2. Die Belastung durch Aluminium geht kontinuierlich zurück - in den meisten Bächen auf ein unschädliches Niveau.
3. Die Laicherfolge von Amphibien nehmen langsam wieder zu.

Damit haben sich die Überlebenschancen für Bachforellen und Amphibien im Laufe der letzten 20 Jahren deutlich verbessert. Dennoch sind die beobachteten

Parameter an vielen Bächen und Seen noch nicht in einem stabilen und unbedenklichen Zustand.

### 5. Literatur:

- BÖHMER, J. & H. RAHMANN (1992): Limnologische Untersuchungen zur Versauerung stehender Gewässer im Nordschwarzwald unter besonderer Berücksichtigung der Amphibienfauna. Umweltforschung in Baden-Württemberg. Ecomed-Verlag, Landsberg. 231S.
- BÖHMER, J. (2002): Untersuchungen des Säurezustandes von Stillgewässern des Schwarzwaldes und des Odenwaldes mittels Bioindikatoren (Amphibien). Abschlussbericht im Auftrag der LfU Karlsruhe, unveröffentlicht
- GEBHARDT, H., LINNENBACH, M., MARTHALER, R., NESS, A., RAPP, N. & H. SEGNER (1990): Untersuchungen zur Auswirkung von Gewässerversauerungserscheinungen auf Fische und Amphibien sowie Erarbeitung einschlägiger Bioindikationsverfahren. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 102 04 348/01/02. Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin.
- GEBHARDT, H. (1994): Ökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg – Auswirkungen der Gewässerversauerung auf Fische in Fließgewässern. In: Umweltministerium Baden-Württemberg (Hrsg.): Saurer Regen – Probleme für Wasser, Boden und Organismen: 251-282. Ecomed-Verlag, Landsberg
- GEFAÖ - GESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE (2001): Entwicklung der Gewässerversauerung in Baden-Württemberg - dargestellt am Beispiel der Bachforelle. Auswertung der Untersuchungsergebnisse aus den Jahren 1984 – 2001. Abschlussbericht eines Werkvertrages im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe, unveröffentlicht
- IUS – INSTITUT FÜR UMWELTSTUDIEN (2000): Untersuchung zur Fischfauna im Rahmen des Ökologischen Wirkungskatasters Baden-Württemberg. Abschlussbericht eines Werkvertrages im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Karlsruhe, unveröffentlicht
- LFU - (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (Hrsg.) (1985): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg, Jahresbericht

1984 der Landesanstalt für Umweltschutz (Institut für Ökologie und Naturschutz).

- LfU - (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (Hrsg.) (1986): Immissionsökologisches Wirkungskataster Baden-Württemberg, Jahresbericht 1985 der Landesanstalt für Umweltschutz (Institut für Ökologie und Naturschutz).
- LfU - (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (Hrsg.) (1994): Auswirkungen saurer Niederschläge auf Böden und Gewässer. Kurzbericht.
- LfU - (LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ) (2003): Entwicklung der Gewässerversauerung in Baden-Württemberg – dargestellt am Beispiel der Bachforelle. Abschlussbericht der Gesellschaft für angewandte Ökologie und Umweltplanung mbH im Auftrag der LfU Karlsruhe, unveröffentlicht.
- UBA - UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (1987): Gewässerversauerung in der Bundesrepublik Deutschland. - Umweltbundesamt-Texte 22/87, E. Schmidt Verlag Berlin.

# Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg

Burkhard Schneider, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

## 1. Einleitung

Das Thema Versauerung war schon in der Vergangenheit ein Themenbereich, der in der Landesanstalt für Umweltschutz abteilungsübergreifend bearbeitet wurde. So kommt bereits der erste Kurzbericht „Auswirkungen saurer Niederschläge auf Böden und Gewässer“ aus dem Jahre 1994, der unter Federführung des Grundwasserreferates erstellt wurde, zu der Schlussfolgerung, dass die Messaktivitäten abgestimmt und die Berichterstattung über die wasserwirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen der Versauerung fortgeführt werden müssen. Auch der Bericht „Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg“ aus dem Jahr 1998 beschränkt sich nicht auf die reinen Messwerte aus dem Grundwasser, sondern versucht die Gesamtzusammenhänge von der Niederschlagsbeschaffenheit über die Böden bis hin zu Austrag des Grundwasser in die Oberflächengewässer darzustellen.

Da das Thema Versauerung von allen Umweltmedien schon längere Zeit als Problem erkannt wurde, liegen auch Messergebnisse aus allen relevanten Umweltmedien vor. Diese Messwerte weisen allerdings unterschiedliche Qualität und unterschiedlichen Umfang auf. Das Thema eignet sich daher gut, um die Notwendigkeit und den Nutzen einer integrierten Bewertung darzustellen. Ausschlaggebend hierfür ist auch die Tatsache, dass eine isolierte Betrachtung eines Umweltmediums den gegenseitigen Abhängigkeiten nicht gerecht wird. Daher war es folgerichtig, dieses Thema im Jahr 2003 erneut abteilungsübergreifend anzugehen. Im folgenden werden die Datenlage und die Regionalisierungsansätze im Grundwasserbereich beschrieben. Die Datenauswertung und -bewertung soll im Laufe des Jahres erfolgen und ist nicht Bestandteil des Vortrags.

## 2. Datenlage im Grundwasserüberwachungsprogramm

Die LfU hat Mitte der 80'er Jahre begonnen, die Beschaffenheit des Grundwassers systematisch mit einem Überwachungsprogramm zu beobachten und zu bewerten. Seit Anfang der 90'er Jahre werden ca. 2.700 Messstellen jährlich im Herbst (01. September bis 15. Oktober) auf die relevanten Parameter untersucht. Hierzu zählt auch der pH-Wert. Die Verteilung der Grundwassermessstellen, die in Abb. 1 dargestellt ist,

umfasst dabei repräsentativ alle Grundwasserleiter des Landes Baden-Württemberg.

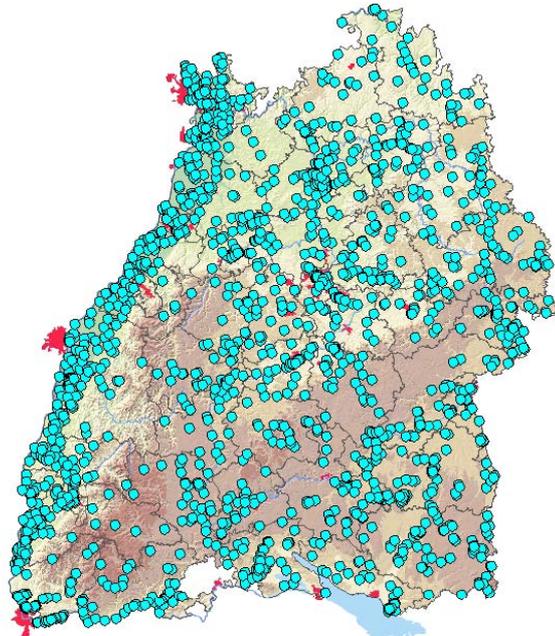


Abb.1 : Grundwassermessstellen der Herbstbeprobung

Die Auswertung der Ergebnisse aus dem Grundwasserüberwachungsprogramm für die versauerungsrelevanten Parameter waren die Basis für den Bericht zur „Grundwasserversauerung in Baden-Württemberg“, der Mitte der 90'er Jahre erstellt wurde. Dieser Bericht zeigt insbesondere, dass die Grundwasserversauerung kein flächendeckendes Problem darstellt. Als Konsequenz aus diesem Bericht wurde daher ein Intensivprogramm aufgestellt. Seit dem 1. August 1996 werden zusätzlich zu der Herbstbeprobung in allen versauerungsgefährdeten Bereichen des Landes 40 Grundwassermessstellen im zweimonatigen Abstand beprobt. Analysiert werden die versauerungsrelevanten Parameter Nitrat, Sulfat, Schwermetalle und pH-Wert. Die Verteilung dieser Versauerungsmessstellen, die repräsentativ alle versauerungsgefährdeten Gebiete des Landes erfassen, ist in Abb. 2 dargestellt.

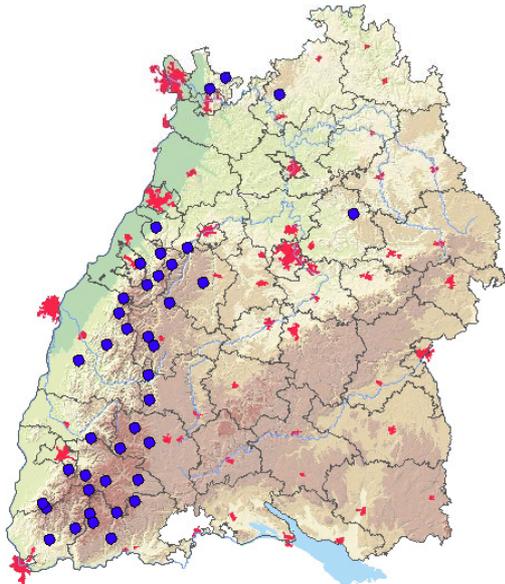


Abb.2: Versauerungsmessstellen in Baden-Württemberg

Mit diesen Untersuchungen liegt für das Grundwasser sowohl räumlich, als auch zeitlich eine sehr hohe Datendichte vor, die gezielt Auswertungen und Bewertungen zur Versauerung des Grundwassers erlaubt. An einzelnen Quellen reicht diese Datendichte über die zuvor genannten Zeiträume hinaus bis teilweise in die 50'er und 60'er Jahre des letzten Jahrhunderts zurück. Die Abbildungen 3 bis 6 zeigen die Datenlage für die Parameter Nitrat, Sulfat und pH-Wert für eine Quelle im Kristallin des Schwarzwaldes sowie zwei Quellen im Buntsandstein des Schwarzwaldes und Odenwaldes.

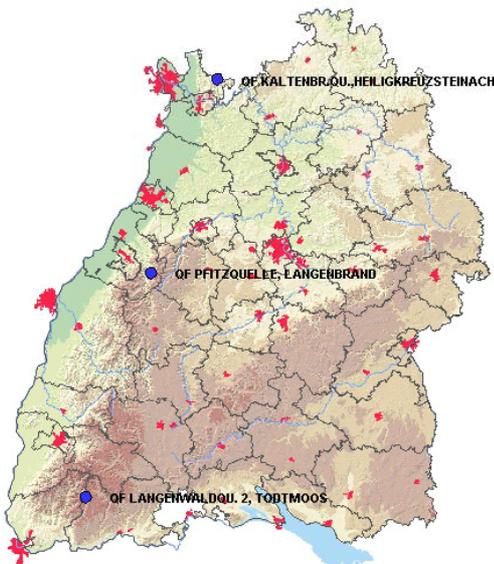


Abb.3: Lage der ausgewählten Quellen

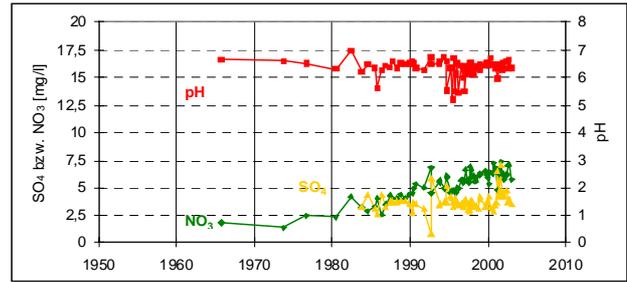


Abb.4: Langenwaldquelle, Kristallin Südschwarzwald

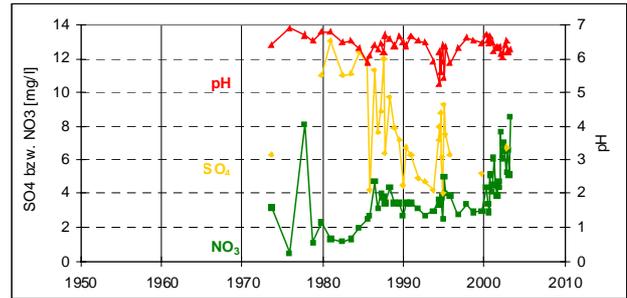


Abb.5: Pfitzquelle Buntsandstein Nordschwarzwald

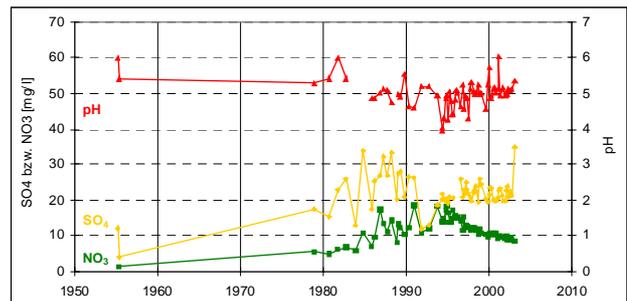


Abb.6: Kaltenbrunnen, Buntsandstein Odenwald

### 3. Regionalisierung

Auch wenn die Datenlage mit ca. 2.700 Messstellen im Grundwasserüberwachungsprogramm relativ dicht ist, ergibt sich für viele Fragestellungen die Notwendigkeit, die mit den Messungen gewonnenen Punktwerte auf die Fläche zu übertragen. Bereits seit Mitte der 90'er Jahre wurde aus diesem Grund zusammen mit der Universität Stuttgart ein Regionalisierungsverfahren für die Grundwasserwerte entwickelt. Das gewählte geostatistische Verfahren ist ein spezielles Kriging-Verfahren.

Das Kriging wird heute häufig zur Regionalisierung verwendet. Auch im „Pilotvorhaben zur integrierten ökologischen Umweltbeobachtung“ wurde auf der Basis einer Raumgliederung, die sich an naturräumlichen Einheiten orientiert, ein Kriging-Verfahren benutzt. Jedoch ist sowohl die verwendete Raumgliederung

## Medienübergreifende Umweltbeobachtung

rung als auch das dort verwendete Kriging-Verfahren für den Wasserbereich nur bedingt einsetzbar. Im Wasserbereich sind in erster Linie die hydrogeologischen Eigenschaften für die Grundwasserbeschaffenheit prägend. In Baden-Württemberg gibt es jedoch in einigen Gebieten deutliche Unterschiede zwischen den naturräumlichen Gliederungen und den hydrogeologischen Einheiten. In Abbildung 7 sind diese Unterschiede zwischen der Ökologischen Raumgliederung und der Hydrogeologie dargestellt. Neben diesen hydrogeologischen Eigenschaften hat auch die vorherrschende Landnutzung Einfluss auf die Beschaffenheit des Grundwassers. Daher wurde das Regionalisierungsverfahren für den Grundwasserbereich auf der Basis des Simple-Updating-Kriging entwickelt. Dieses Verfahren interpoliert wie alle Kriging-Verfahren die Messwerte einzelner Messstellen, berücksichtigt aber darüber hinaus auch noch die an dem zu bestimmenden Punkt vorherrschende Landnutzung und die jeweilige Hydrogeologie.

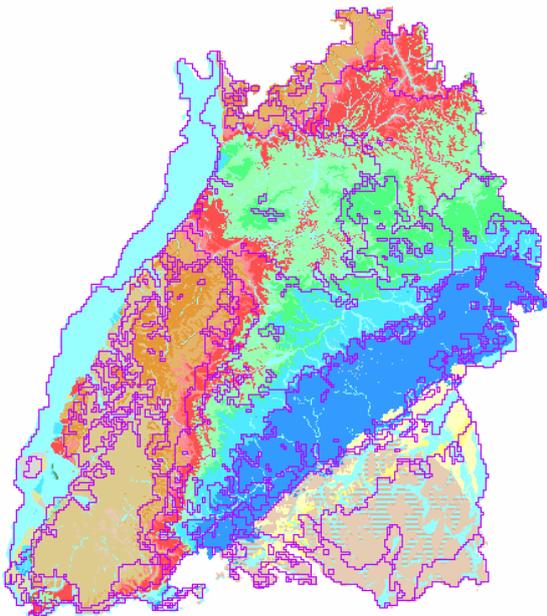


Abb.7: Ökologische Raumgliederung und Hydrogeologie

Im Rahmen der derzeit in der LfU laufenden abteilungsübergreifenden Auswertung zur Versauerung soll daher auch der Versuch unternommen werden, die für die verschiedenen Medien genutzten bzw. optimalen Regionalisierungsverfahren zusammenzuführen. Insbesondere ist die Frage zu prüfen, ob die vorhandenen Einzelmesswerte zunächst aus den verschiedenen Medien zusammenzufassen sind und damit eine einheitliche Regionalisierung durchgeführt wird oder aber ob die Messwerte der verschiedenen Bereiche zunächst regionalisiert werden und dann die regionalisierten Messwerte zu einer übergreifenden Bewertung

verwendet werden. Abb. 8 zeigt die regionale Verteilung des pH-Wertes im Grundwasser aufgrund der Beprobungsergebnisse 2002 mit dem Simple-Updating-Kriging.

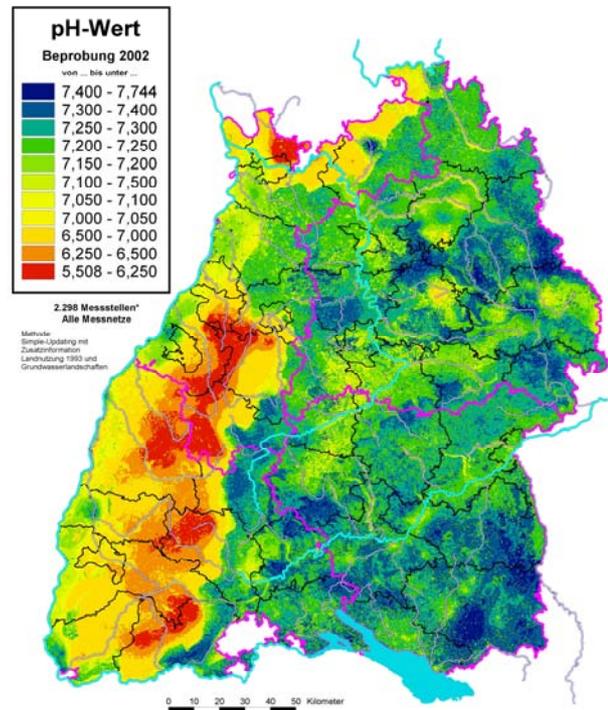


Abb.8: pH-Wert Beprobung 2002